

## Tabla de Contenido

<b>6</b>	<b>Diagnóstico Ambiental-Línea Base</b> .....	<b>6-1</b>
6.1	Línea Base Física.....	6-1
6.1.1	Línea Base Física Superficial .....	6-1
6.1.1.1	Climatología .....	6-1
6.1.1.2	Ruido Ambiental .....	6-38
6.1.1.3	Geología.....	6-63
6.1.1.4	Geotecnia .....	6-80
6.1.1.5	Sismicidad .....	6-113
6.1.1.6	Geomorfología.....	6-120
6.1.1.7	Vulcanismo.....	6-150
6.1.1.8	Edafología y Calidad del Suelo .....	6-151
6.1.1.9	Uso de Suelo.....	6-201
6.1.1.10	Uso de suelo según la cobertura vegetal.....	6-202
6.1.1.11	Conflictos de Uso .....	6-204
6.1.1.12	Calidad del Aire .....	6-205
6.1.1.13	Hidrología y Calidad de Agua .....	6-219
6.1.1.14	Paisaje.....	6-394
6.1.2	Línea Base Física Subterránea .....	6-398
6.1.2.1	Hidrogeología.....	6-398
6.1.2.2	Calidad de Agua Subterránea.....	6-447
6.1.2.3	Conclusiones.....	6-471
6.1.2.4	Agua Subterránea .....	6-472

## Tablas

Tabla 6-1	Estaciones Meteorológicas Regionales Cercanas al Área del Proyecto.....	6-3
Tabla 6-2	Estaciones Meteorológicas Locales Cercanas al Área del Proyecto .....	6-4
Tabla 6-3	Información Climatológica Existente (1964-2019) .....	6-5
Tabla 6-4	Valores de las Correlaciones y Ecuaciones para Rellenar la Estación El Labrado .....	6-10
Tabla 6-5	Precipitación Estación M0141 (1964 -2015).....	6-10
Tabla 6-6	Precipitación Estación M0417 (1975-2015).....	6-11
Tabla 6-7	Precipitación Estación PLL001 (2006-2009) .....	6-12
Tabla 6-8	Precipitación Estación PLL003 (2006 -2019) .....	6-13
Tabla 6-9	Precipitación Estación PLL005 (2006-2009) .....	6-14
Tabla 6-10	Precipitación Estación PLL006 (2006-2013) .....	6-15
Tabla 6-11	Precipitación Estación PLL009 (2006 -2014) .....	6-16
Tabla 6-12	Temperatura Estación M0141 (1982-2014).....	6-17
Tabla 6-13	Temperatura Estación PLL003 (1964 -2019*) .....	6-18

Tabla 6-14	Temperatura Estación PLL009 (2005 -2015) .....	6-19
Tabla 6-15	Temperatura Estación PLL010 (2012-2016) .....	6-20
Tabla 6-16	Humedad Estación M0141 (1963-2014) .....	6-21
Tabla 6-17	Humedad Estación PLL003 (2005-2019*) .....	6-22
Tabla 6-18	Humedad Estación PLL009 (2005-2015*) .....	6-23
Tabla 6-19	Humedad Estación PLL010 (2012-2016) .....	6-24
Tabla 6-20	Nubosidad Estación M0141 (1982-2014) .....	6-25
Tabla 6-21	Nubosidad Estación M1111 (2000-2014) .....	6-25
Tabla 6-22	Radiación Solar Estación PLL003 (2005-2019).....	6-26
Tabla 6-23	Radiación Solar Estación PLL009 (2005-2015).....	6-27
Tabla 6-24	Radiación Solar Estación PLL010 (2012-2016).....	6-28
Tabla 6-25	Velocidad del Viento Estación PLL003 (2005 -2019) .....	6-29
Tabla 6-26	Velocidad del viento Estación PLL009 (2005-2015).....	6-30
Tabla 6-27	Velocidad del Viento Estación PLL010 (2012 -2016) .....	6-31
Tabla 6-28	Evapotranspiración Potencial Estación M1111 (2001-2012).....	6-32
Tabla 6-29	Evapotranspiración de Referencia Estación PLL003 (1964-2019).....	6-33
Tabla 6-30	Determinación de LKeq para Usos de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales .....	6-40
Tabla 6-31	Equipos Utilizados durante el Monitoreo 2015-2020 para Uso de Suelos Industrial y Agrícola Residencial .....	6-40
Tabla 6-32	Equipos Utilizados durante el Muestreo 2020 para Ruido Ambiental para Uso de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales el Estado .....	6-41
Tabla 6-33	Parámetros Meteorológicos Medidos <i>in situ</i> durante el Monitoreo 2015-2020 para Uso de los Suelos Industrial y Agrícola Residencial.....	6-41
Tabla 6-34	Parámetros Meteorológicos Medidos <i>in situ</i> durante el Muestreo de 2 de Julio de 2020 para Uso de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales el Estado .....	6-42
Tabla 6-35	Ubicación de los Puntos de Monitoreo de Ruido durante el Periodo 2015-2020 para Uso de los Suelos Industrial y Agrícola Residencial .....	6-51
Tabla 6-36	Ubicación de Punto de Muestreo de Ruido durante el Periodo 2020 para Uso de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales el Estado .....	6-53
Tabla 6-37	Niveles de Ruido durante el Monitoreo de 2015 hasta 2020 .....	6-55
Tabla 6-38	Resultados de las 96 Muestras en el Área de la Rampa durante Julio de 2020.....	6-59
Tabla 6-39	Calidad Geotécnica y Valoración .....	6-84
Tabla 6-40	Descripción de la Zona Geotécnica .....	6-84
Tabla 6-41	Fotografías Procedimientos Trabajos de Campo .....	6-87
Tabla 6-42	Fotografías determinación de densidad de campo.....	6-89
Tabla 6-43	Características Físicas de los Suelos. Determinaciones de Campo .....	6-91
Tabla 6-44	Densidad de los Suelos .....	6-95
Tabla 6-45	Humedad Promedio de los Suelos .....	6-95

Tabla 6-46	Tipos de Suelos .....	6-95
Tabla 6-47	Resumen de las Estadísticas de Clasificación de Masas Rocosas .....	6-101
Tabla 6-48	Requisitos Mínimos de Compactación.....	6-108
Tabla 6-49	Propiedades de la Masa de Roca.....	6-110
Tabla 6-50	Cargas de Tracción Permitidas en Anclajes de Roca .....	6-111
Tabla 6-51	Coeficientes Laterales de Presión del Suelo .....	6-112
Tabla 6-52	Eventos de Terremotos Históricos Regionales.....	6-114
Tabla 6-53	Parámetros de Falla para Fallas Regionales Significativas.....	6-117
Tabla 6-54	Espectros Uniformes de Peligros.....	6-118
Tabla 6-55	Aceleraciones Máximas de Tierra Calculadas PSHA .....	6-119
Tabla 6-56	Unidades del Paisaje Geomorfológico.....	6-121
Tabla 6-57	Clasificación de las Pendientes .....	6-122
Tabla 6-58	Estabilidad Geomorfológica y Riesgo Físico .....	6-134
Tabla 6-59	Características de las Fotografías Aéreas Adquiridas (IGM) .....	6-136
Tabla 6-60	Formas de Relieve y Tipos de Morfometría.....	6-136
Tabla 6-61	Principales Formas de Relieve en el Área geográfica.....	6-143
Tabla 6-62	Zonas de Susceptibilidad a Deslizamiento .....	6-145
Tabla 6-63	Descripción de la Clasificación de Susceptibilidad a Erosión .....	6-148
Tabla 6-64	Ficha Técnica del Volcán Sangay.....	6-150
Tabla 6-65	Codificación y Localización de los Puntos de Muestreo de Suelos (PMS) en el Área Geográfica. ....	6-152
Tabla 6-66	Materiales e Insumos para la Descripción de Perfiles.....	6-160
Tabla 6-67	Materiales e Insumos para las Barrenaciones.....	6-161
Tabla 6-68	Materiales e Insumos para la Toma de Muestras Inalteradas de Suelos.....	6-161
Tabla 6-69	Materiales e Insumos para la Toma de Muestras Alteradas de Suelos .....	6-162
Tabla 6-70	Materiales e Insumos para las Pruebas de Campo (pruebas de infiltración) .....	6-162
Tabla 6-71	Codificación y Localización de las Submuestras de Calidad de Suelo .....	6-163
Tabla 6-72	Codificación y Localización de las Excavaciones para la Descripción de Perfiles de Suelos en el Área geográfica.....	6-170
Tabla 6-73	Codificación y Localización de las Barrenaciones para el Mapeo de Suelo .....	6-171
Tabla 6-74	Resultados de los Análisis Químicos de los Parámetros de Calidad de Suelos para los 13 Puntos de Monitoreo de Suelos (PMS) en el Proyecto Loma Larga .....	6-177
Tabla 6-75	Tipos de Suelos Clasificados según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo* Asociados a la Pendiente Principal en el Proyecto Loma Larga .....	6-185
Tabla 6-76	Resultados de Laboratorio de Parámetros Edafológicos .....	6-187
Tabla 6-77	Evaluación de las Variables Usadas para la Determinación de la Capacidad de Uso en Función de los 18 Perfiles de Suelos del Proyecto Loma Larga.....	6-193
Tabla 6-78	Determinación de las Clases de Capacidad de Uso de la Tierra (CUT) para los 18 Perfiles del Área geográfica.....	6-195

Tabla 6-79	Porcentajes (valores promedios) de partículas primarias (arena, limo y arcilla) según tipo de suelo (basados en los datos de 18 perfiles de suelos) y por horizonte .....	6-197
Tabla 6-80	Densidad aparente (valores promedio en g cm-3) de los suelos (basados en los datos de 18 perfiles de suelos) organizados por horizontes (valores entre paréntesis corresponde a los valores de la desviación estándar) .....	6-199
Tabla 6-81	Porosidad (valores porcentuales promedio) de los suelos (basados en los datos de 18 perfiles de suelos) organizados por horizontes .....	6-200
Tabla 6-82	Valores promedio de la conductividad hidráulica saturada (Ksat) para la profundidad dominante de las raíces por tipo de suelo basados en los datos de 18 perfiles de suelos .....	6-200
Tabla 6-83	Superficies de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo.....	6-203
Tabla 6-6-84	Matriz de Interpretación del Conflicto de Uso del Suelo .....	6-204
Tabla 6-85	Superficies de Conflictos de Uso del Suelo .....	6-205
Tabla 6-86	Tipo de Medición.....	6-205
Tabla 6-87	Resumen de Criterios para Muestreo en Sitio .....	6-207
Tabla 6-88	Descripción de Equipos Utilizados.....	6-207
Tabla 6-89	Ubicación de los Puntos de Muestreo de Calidad de Aire.....	6-209
Tabla 6-90	Resultados de Muestreo de Calidad de Aire .....	6-211
Tabla 6-91	Información Sobre las Estaciones de Monitoreo Automáticas Seleccionadas para la Medición de Caudal dentro del PLL .....	6-223
Tabla 6-92	Fotografías de los Vertederos Utilizados para Medir el Caudal en las Estaciones de Monitoreo de Referencia Ubicadas dentro del PLL .....	6-225
Tabla 6-93	Información sobre las Estaciones de Control Seleccionadas para la Medición de Caudal para el EsIA del PLL.....	6-226
Tabla 6-94	Fotografías de los Puntos de Aforo Utilizados para Medir el Caudal en las Estaciones de Control para el EsIA Ubicadas dentro del PLL .....	6-228
Tabla 6-95	Información sobre las Estaciones de Monitoreo Seleccionadas para la Medición de Caudal Fuera del PLL (escala regional) .....	6-233
Tabla 6-96	Parámetros Usados para la Calibración del Modelo HEC-HMS .....	6-237
Tabla 6-97	Unidades Hidrográficas.....	6-241
Tabla 6-98	Niveles de las Unidades Hidrográficas del Área Geográfica.....	6-245
Tabla 6-99	Características Físicas de las Unidades Hidrográficas Analizadas.....	6-245
Tabla 6-100	Parámetros de Forma de las Unidades Hidrográficas Analizadas .....	6-247
Tabla 6-101	Coeficientes de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E) Obtenido de las Calibraciones del Modelo HEC-HMS* .....	6-248
Tabla 6-102	Caudales Extremos Mínimos Mensuales 7Q10 para las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL en m <sup>3</sup> /s .....	6-294
Tabla 6-103	Caudales Extremos Mínimos Mensuales 7Q10 para las Estaciones de Control del EsIA Ubicadas Dentro del PLL en m <sup>3</sup> /s .....	6-295
Tabla 6-104	Caudales Extremos Máximos para Diferentes Periodos de Retorno para las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL en m <sup>3</sup> /s .....	6-296

Tabla 6-105	Caudales Extremos Máximos para Diferentes Periodos de Retorno para las Estaciones de Control del EsIA Ubicadas Dentro del PLL en m <sup>3</sup> /s .....	6-297
Tabla 6-106	Caudales Ecológicos Mensuales para las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL en m <sup>3</sup> /s .....	6-297
Tabla 6-107	Caudales Ecológicos Mensuales para las Estaciones de Control del EsIA Ubicadas Dentro del PLL en m <sup>3</sup> /s .....	6-298
Tabla 6-108	Ubicación de los Puntos de Muestreo de Aguas Superficiales .....	6-303
Tabla 6-109	Frecuencia de Muestreo de Calidad de Agua Superficial .....	6-322
Tabla 6-110	Grupos de Parámetros y Criterios de Calidad de Agua (CCA) Considerados en el Estudio .....	6-324
Tabla 6-111	Descripción de Frascos Usados para la Recolección de Muestras por Laboratorio .....	6-328
Tabla 6-112	Descripción de Equipos Utilizados.....	6-331
Tabla 6-113.	Descripción de Equipos Utilizados en ANAVANLAB.....	6-334
Tabla 6-114.	Descripción de Equipos Utilizados en ALS.....	6-337
Tabla 6-115	Resumen de los Resultados de las Muestras de Agua Superficial .....	6-353
Tabla 6-116	Valoración del Paisaje Natural.....	6-397
Tabla 6-117	Rangos de Permeabilidad.....	6-400
Tabla 6-118	Unidades Litológicas por Permeabilidad Intergranular .....	6-400
Tabla 6-119	Unidades Litológicas por Permeabilidad por Fracturamiento.....	6-400
Tabla 6-120	Definición Práctica de Clases de Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos ....	6-403
Tabla 6-121	Análisis de la Vulnerabilidad de Acuíferos a la Contaminación.....	6-403
Tabla 6-122	Ubicación y Característica de los Piezómetros .....	6-407
Tabla 6-123	Características principales de los piezómetros monitoreados. Datum WGS 84. ....	6-416
Tabla 6-124	Resumen de los Resultados de las Pruebas Hidráulicas en 2016 y 2017 .....	6-419
Tabla 6-125	Conductividad hidráulica promedio de las pruebas tipo Packer por estructuras, litología y categorías de alteración .....	6-425
Tabla 6-126	La Conductividad Hidráulica (Kh) de los Diversos Tipos de Roca Encontrada Alrededor del PLL .....	6-425
Tabla 6-127	Valores medidos en los sitios de monitoreo seleccionados dentro de la zona de influencia del PLL. Datum WGS 84. ....	6-430
Tabla 6-128	Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de quebradas. Datum WGS 84.....	6-433
Tabla 6-129	Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de suelos. Datum WGS 84. ....	6-435
Tabla 6-130	Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de agua subterránea (piezómetros). Datum WGS 84. ....	6-436
Tabla 6-131	Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de quebrada designados como manantiales (solo se presentan en la tabla los orígenes de los manantiales). Datum WGS 84. ....	6-436
Tabla 6-132	Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de humedales cuyos valores presentan anomalías. Datum WGS 84. ....	6-438

Tabla 6-133	Resultados de Laboratorio de las Aguas Subterráneas de Loma Larga (2017) .....	6-449
Tabla 6-134	Química Prevista de la Calidad del Agua de Drenaje de la Mina .....	6-461
Tabla 6-135	Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2018) .....	6-463
Tabla 6-136	Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2019) .....	6-467
Tabla 6-137	Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2019) .....	6-469
Tabla 6-138	Resultados de Laboratorio de las Aguas Subterráneas de Loma Larga (2017) .....	6-475
Tabla 6-139	Características de los Piezómetros Convencionales .....	6-486
Tabla 6-140	Características de los Piezómetros de Calidad de Agua .....	6-488
Tabla 6-141	Química Prevista de la Calidad del Agua de Drenaje de la Mina .....	6-494
Tabla 6-142	Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2018) .....	6-497
Tabla 6-143	Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2019) .....	6-501
Tabla 6-144	Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2019) .....	6-505

## Figuras

Figura 6-1	Información Climatológica Existente (1964-2019) .....	6-6
Figura 6-2	Diagrama de Actividades para Extensión de Datos de Clima y Cálculo de ETo. Tomada de (Halcon Data, 2018) .....	6-8
Figura 6-3	Climatología de Temperatura del Periodo Sin Extender (gris) y el Periodo Extendido de Datos (negro) para la Estación PLL003 .....	6-9
Figura 6-4	Climatología de Precipitación del Periodo Sin Extender (gris) y el Periodo Extendido de Datos (negro) para la Estación PLL003 .....	6-9
Figura 6-5	Histograma de Precipitación Mensual Estación M0141 (1964-2015) .....	6-11
Figura 6-6	Histograma de Precipitación Mensual Estación M0417 (1975-2015) .....	6-12
Figura 6-7	Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL001 (2006-2009) .....	6-13
Figura 6-8	Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL003 (2006-2019) .....	6-14
Figura 6-9	Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL005 (2006-2009) .....	6-15
Figura 6-10	Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL006 (2006-2013) .....	6-16
Figura 6-11	Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL009 (2006-2014) .....	6-17
Figura 6-12	Diagrama de Cajas de Temperatura Media, Máxima y Mínima Diaria Clasificada por Meses Estación M0141 (1982-2014) .....	6-18
Figura 6-13	Diagrama de Cajas de Temperatura Media, Máxima y Mínima Diaria Clasificada por Meses Estación PLL003 (1964-2019) .....	6-19
Figura 6-14	Diagrama de Cajas de Temperatura Media, Máxima y Mínima Diaria Clasificada por Meses Estación PLL009 (2005-2015*) .....	6-20
Figura 6-15	Diagrama de Cajas de Temperatura Media, Máxima y Mínima Diaria Clasificada por Meses Estación PLL010 (2005-2015*) .....	6-21
Figura 6-16	Histograma de Humedad Relativa de la Estación PLL003 (2005-2019*) .....	6-22
Figura 6-17	Histograma de Humedad Relativa de la Estación PLL009 (2005-2015*) .....	6-23

Figura 6-18	Histograma de Humedad Relativa de la Estación PLL010 (2012-2016) .....	6-24
Figura 6-19	Histograma de Nubosidad de la Estación M0141 (1982-2014) .....	6-25
Figura 6-20	Histograma de Nubosidad de la Estación M1111 (2000-2014) .....	6-26
Figura 6-21	Histograma de Radiación Solar de la Estación PLL003 (2005-2019) .....	6-27
Figura 6-22	Histograma de Radiación Solar de la Estación PLL009 (2005-2015) .....	6-28
Figura 6-23	Histograma de Radiación Solar de la Estación PLL010 (2012-2016) .....	6-29
Figura 6-24	Rosa de los Vientos Estación PLL003 (2005-2019) .....	6-30
Figura 6-25	Histograma de Velocidad del Viento de la Estación PLL009 (2005-2015) .....	6-31
Figura 6-26	Histograma de Velocidad del Viento de la Estación PLL010 (2012-2016) .....	6-32
Figura 6-27	Histograma de Evapotranspiración Potencial de la Estación M1111 (2001-2012) .....	6-33
Figura 6-28	Histograma de Evapotranspiración de Referencia de la Estación PLL003 (1982-2019) .....	6-34
Figura 6-29	Tipos de Clima .....	6-35
Figura 6-30	Isotermas .....	6-36
Figura 6-31	Isoyetas .....	6-37
Figura 6-32	Ubicación del Sonómetro .....	6-47
Figura 6-33	Comportamiento Diurno de Presión Sonora en Campamento Pinos .....	6-57
Figura 6-34	Comportamiento Nocturno de Presión Sonora en Campamento Pinos .....	6-57
Figura 6-35	Comportamiento Nocturno de Presión Sonora San Gerardo .....	6-58
Figura 6-36	Comportamiento Nocturno de Presión Sonora Chumblín .....	6-58
Figura 6-37	Comportamiento de las Variables LA90 y Laeq Diurno Rampa .....	6-62
Figura 6-38	Comportamiento de las Variables LA90 y Laeq Nocturno Rampa .....	6-62
Figura 6-39	Mayores Terrenos de Ecuador .....	6-66
Figura 6-40	Geología Regional .....	6-67
Figura 6-41	Planos de Falla Geológica de dirección Norte Sur, asociados a la Falla Regional Río Falso .....	6-68
Figura 6-42	Columna Estratigráfica del Sector. ....	6-71
Figura 6-43	Geología del Área de Geográfica del PLL .....	6-72
Figura 6-44	Afloramiento de Dacita .....	6-73
Figura 6-45	Afloramiento de Dacita .....	6-73
Figura 6-46	Flujo de Lava Andesítica Hornblendica .....	6-74
Figura 6-47	Afloramiento de Toba .....	6-74
Figura 6-48	Zonación de Alteración en un Depósito de Alta Sulfuración .....	6-76
Figura 6-49	Sección Esquemática de un Depósito de Alta Sulfuración .....	6-76
Figura 6-50	Sección Transversal del Depósito de Loma Larga, Mirando hacia el Noreste .....	6-78
Figura 6-51	Sección Longitudinal del Depósito de Loma Larga, Mirando hacia el Este .....	6-79
Figura 6-52	Estratigrafía de Sobrecarga y Ubicaciones de los Pozos de Prueba dentro del Sitio de la Mina .....	6-82

Figura 6-53	Ubicación y Orientación de las Perforaciones Geotécnicas .....	6-101
Figura 6-54	Dominios Estructurales .....	6-103
Figura 6-55	Ubicación de la Disposición General de las Instalaciones de la Planta .....	6-106
Figura 6-56	Eventos Históricos Regionales de Terremotos.....	6-116
Figura 6-57	(Cascada) Flujos Andesíticos de los Vestigios del Edificio Antiguo del Quimsacocha (río Cristal) .....	6-124
Figura 6-58	Vestigios del Edificio Volcánico (dentro del área de implantación) .....	6-124
Figura 6-59	Coladas de Lavas Antiguas Formando Colinas Bajas de Pendientes Moderadas a Abruptas y Superficies Onduladas en el Contorno de la Caldera de Quimsacocha .....	6-125
Figura 6-60	Coladas de Lavas Antiguas (dentro del área de implantación) .....	6-126
Figura 6-61	Flujos Dacíticos Formando Domos Alargados Erosionados (Cerro Casco) en el Contorno de la Caldera de Quimsacocha.....	6-127
Figura 6-62	Flujos Dacíticos (dentro del área de implantación).....	6-127
Figura 6-63	Hondonada Pantanosa al Sur de la Caldera de Quimsacocha .....	6-129
Figura 6-64	Hondonadas Pantanosas de Origen Glaciar-Preglaciar (dentro del área de implantación).....	6-129
Figura 6-65	Fondo de Valle Glaciar (Quebrada Rumiguaycu).....	6-130
Figura 6-66	Fondo de Valles Glaciares (dentro del área de implantación).....	6-130
Figura 6-67	Humedal y/o Almohadilla dentro de la Caldera de Quimsacocha .....	6-131
Figura 6-68	Humedales y/o Almohadillas (dentro del área de implantación) .....	6-131
Figura 6-69	Porcentaje de las Geoformas presentes en el Área Geográfica .....	6-132
Figura 6-70	Vista ESE desde el Área de Depósito de Loma Larga .....	6-138
Figura 6-71	Vista SE desde la Estación Meteorológica través del Páramo Colinado .....	6-138
Figura 6-72	Vista Norte a través del Área del Depósito de Loma Larga y el Páramo Inclinado Suave a Moderado a Pendientes Pronunciadas de la Línea de la Cresta que Exhibe la Caída.....	6-139
Figura 6-73	Vista NE desde el Área de la Planta de Proceso Propuesta a través de la Meseta de Glaciar Suavemente Inclinado .....	6-139
Figura 6-74	Vista hacia el Norte a través del Área de Depósito Mineral .....	6-140
Figura 6-75	Vista hacia el Norte a través de la Ruta de Acceso a las Perforaciones de Exploración .....	6-140
Figura 6-76	Sendero de Exploración al Área de Perforación;.....	6-141
Figura 6-77	Vista SW desde el Área de la Planta de Proceso Propuesta a través de la Meseta Glacial Suavemente Ondulante .....	6-141
Figura 6-78	Vista Norte a través de la Zona Superior Propuesta FTSE, Valle Glacial Suavemente Inclinado en las Cabeceras del Arroyo Cristal .....	6-142
Figura 6-79	Vista Este Aguas Abajo Río Cristal.....	6-142
Figura 6-80	Geomorfología del Proyecto Loma Larga .....	6-144
Figura 6-81	Esquema de Elaboración de Mapas a Partir de Información Base .....	6-145
Figura 6-82	Zonas de Susceptibilidad a Deslizamientos de Tierra.....	6-147

Figura 6-83	Mapa de Susceptibilidad por Erosión .....	6-149
Figura 6-84	Muestreo de Calidad de Suelo.....	6-156
Figura 6-85	Diseño de Muestreo para la Descripción de Perfiles de Suelos en el Proyecto Loma Larga con Fines de Clasificación de Suelos.....	6-158
Figura 6-86	Variables Usadas para la Determinación de las Clases de Uso de la Tierra .....	6-159
Figura 6-87	Valores de los Parámetros que Determinan las Clases de Capacidad de Uso de Tierras para la Serranía Ecuatoriana.....	6-160
Figura 6-88	Valores de Ciertos Parámetros de Calidad de Suelos que para Ciertos Puntos (PMS) Sobrepasan los Valores Máximos Permisibles .....	6-184
Figura 6-89	Mapa de Suelos según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo para el Proyecto Lama Larga.....	6-186
Figura 6-90	Clase textural de los tres tipos de suelos encontrados en el área geográfica .....	6-198
Figura 6-91	Ubicación de Puntos de Muestreo de Calidad de Aire .....	6-208
Figura 6-92	Estaciones de Monitoreo Seleccionadas para la Medición del Caudal dentro del PLL.....	6-220
Figura 6-93	Estaciones de Monitoreo Seleccionadas para la Medición del Caudal* .....	6-222
Figura 6-94	Inventario de los Datos Observados, Extendidos y Rellenados de las Estaciones de Caudal Seleccionadas Dentro y Fuera del PLL (escala regional) .....	6-235
Figura 6-95	Unidades Hidrográficas.....	6-243
Figura 6-96	Caudal Observado y Simulado de la Estación de Monitoreo PLLH003 Ubicada dentro del PLL.....	6-249
Figura 6-97	Correlaciones Obtenidas para las Estaciones de Control para el EsIA y las Estaciones de Referencia dentro del PLL .....	6-251
Figura 6-98	a) Comparación del Relleno de Datos de Caudal Obtenido Mediante el Método de Áreas y la Modelación HEC-HMS para la Estación MA1.3, y b) Comparación del Relleno de Datos con los Aforos Instantáneos de Caudal en la Estación MA1.3.....	6-252
Figura 6-99	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH002 durante el Periodo 1964-2020 .....	6-253
Figura 6-100	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH003 durante el Periodo 1964-2020 .....	6-254
Figura 6-101	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH004 durante el Periodo 1964-2020 .....	6-254
Figura 6-102	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH005 durante el Periodo 1964-2020 .....	6-255
Figura 6-103	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH006 Bajo durante el Periodo 1964-2020 .....	6-256
Figura 6-104	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH007 durante el Periodo 1964-2020 .....	6-256
Figura 6-105	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH008 durante el Periodo 1964-2020 .....	6-257
Figura 6-106	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH009 durante el Periodo 1964-2020 .....	6-258

Figura 6-107	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH010 durante el Periodo 1964-2020 .....	6-258
Figura 6-108	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B1 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-259
Figura 6-109	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B2 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-260
Figura 6-110	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B3 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-260
Figura 6-111	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MA1.1+1.2 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-261
Figura 6-112	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MA1,3 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-262
Figura 6-113	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MA2 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-262
Figura 6-114	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAK durante el Periodo 2008-2020 .....	6-263
Figura 6-115	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAR durante el Periodo 2008-2020 .....	6-264
Figura 6-116	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAP durante el Periodo 2008-2020 .....	6-264
Figura 6-117	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MACCP durante el Periodo 2008-2020 .....	6-265
Figura 6-118	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAQAN durante el Periodo 2008-2020 .....	6-266
Figura 6-119	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAQR durante el Periodo 2008-2020 .....	6-266
Figura 6-120	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MARC durante el Periodo 2008-2020 .....	6-267
Figura 6-121	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MARF durante el Periodo 2008-2020 .....	6-267
Figura 6-122	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MA5 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-268
Figura 6-123	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B4 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-269
Figura 6-124	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B5 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-269
Figura 6-125	Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B6 durante el Periodo 2008-2020 .....	6-270
Figura 6-126	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH002 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-271
Figura 6-127	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH003 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-271
Figura 6-128	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH004 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95% .....	6-272

Figura 6-129	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH005 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-273
Figura 6-130	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH006 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-273
Figura 6-131	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH007 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%. .....	6-274
Figura 6-132	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH008 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%. .....	6-275
Figura 6-133	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH009 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%. .....	6-275
Figura 6-134	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH010 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%. .....	6-276
Figura 6-135	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B1 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-277
Figura 6-136	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B2 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-277
Figura 6-137	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B3 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-278
Figura 6-138	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MA1.1+1.2 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-279
Figura 6-139	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MA1.3 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-279
Figura 6-140	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MA2 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-280
Figura 6-141	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAK para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-281
Figura 6-142	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAR para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-281
Figura 6-143	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAP para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-282
Figura 6-144	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MACCP para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-283
Figura 6-145	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAQAN para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-284
Figura 6-146	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAQR para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-284
Figura 6-147	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MARC para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-285
Figura 6-148	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MARF para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-285
Figura 6-149	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MA5 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-286
Figura 6-150	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B4 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-287

Figura 6-151	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B5 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-287
Figura 6-152	Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B6 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 % .....	6-288
Figura 6-153	Curvas Duración de la Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL (PLLH002 a PLLH010) .....	6-289
Figura 6-154	Curvas Duración de las Estaciones de Control para el EsIA (B1 a MACCP) .....	6-290
Figura 6-155	Curvas Duración de las Estaciones de Control para el EsIA (MAQAN a B6) .....	6-290
Figura 6-156	Gráfico de Cajas de los Coeficientes de Escorrentía Anuales de las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL .....	6-291
Figura 6-157	Gráfico de Cajas de los Coeficientes de Escorrentía Anuales de las Estaciones de Control para el EsIA Ubicadas dentro del PLL .....	6-292
Figura 6-158	Gráfico de Cajas del Balance Hídrico Anual de las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL .....	6-293
Figura 6-159	Gráfico de Cajas del Balance Hídrico Anual de las Estaciones de Control para el EsIA Ubicadas Dentro del PLL .....	6-294
Figura 6-160	Fotografías de los Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua Ubicadas Dentro del PLL .....	6-320
Figura 6-161	Puntos de Muestreo de Calidad de Agua Superficial .....	6-321
Figura 6-162	Diagrama de Flujo para Análisis de Control de Calidad .....	6-343
Figura 6-163	Ejemplo de Diagrama de Caja para Análisis de Valores Atípicos con cada uno de sus Elementos .....	6-345
Figura 6-164	Ejemplo de Valores Atípicos (círculo rojo) en Análisis de Cajas .....	6-346
Figura 6-165	Ejemplo de Diagrama de Caja para Análisis Espacial con cada uno de sus Elementos .....	6-347
Figura 6-166	Agrupación de Puntos de Muestreo por Rango Intercuartílico .....	6-347
Figura 6-167	Curva de No Excedencia de Caudal para la Cuenca Quinahuaycu .....	6-349
Figura 6-168	Curva de No Excedencia de Caudal para la Cuenca Rumiguaycu .....	6-349
Figura 6-169	Curva de No Excedencia de Caudal para la Cuenca Alumbre .....	6-350
Figura 6-170	Curva de No Excedencia de Caudal para la Cuenca Cristal .....	6-350
Figura 6-171	Diagramas de Caja de Parámetros Físicoquímicos .....	6-361
Figura 6-172	Diagramas de Caja de Parámetros Aniones y Mo Metálicos .....	6-368
Figura 6-173	Diagramas de Caja de Parámetros Orgánicos y Microbiológicos .....	6-373
Figura 6-174	Diagramas de Caja de Parámetros Cationes .....	6-385
Figura 6-175	Diagramas de Caja de Parámetros Cationes .....	6-393
Figura 6-176	Categorización del Paisaje del PLL .....	6-395
Figura 6-177	Valoración GOD para Vulnerabilidad de Acuíferos .....	6-402
Figura 6-178	Ubicación Hidrogeológico Local del PLL .....	6-405
Figura 6-179	Sondeos y Piezómetros en el Proyecto Loma Larga .....	6-408
Figura 6-180	Ubicación de las estaciones de monitoreo de caudales base .....	6-410

Figura 6-181	Cuadrícula de Elementos Finitos y Geología Simulada de la Primera Capa del Modelo .....	6-411
Figura 6-182	Mapa de la zona de estudio y ubicación de sitios monitoreados. ....	6-414
Figura 6-183	Sonda Multiparamétrica AquaTROLL500 .....	6-415
Figura 6-184	Mapa de niveles piezométricos del PLL .....	6-417
Figura 6-185	Modelo Conceptual Hidrogeológico de la Mina Loma Larga .....	6-427
Figura 6-186	Comparación entre niveles piezométricos simulados y observados dentro del PLL. ....	6-428
Figura 6-187	Valores de conductividad hidráulica simulada con el modelo hidrogeológico vs la observada en campo dentro del PLL. ....	6-429
Figura 6-188	Comparación de los valores de conductividad medidos en los sitios de monitoreo y la altitud. La barra gris indica el umbral encontrado entre 44 y 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , una anomalía en valores de EC se identifica por encima del umbral y que permite identificar manantiales y zona seep.....	6-432
Figura 6-189	Mapa de la zona de estudio con los sitios correspondientes a Manantiales y Zona Seep.....	6-437
Figura 6-190	Identificación de valores atípicos en base a los valores de EC y altitud dentro de la zona de influencia del PLL. La barra gris indica el umbral encontrado entre 44 y 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , una anomalía en valores de EC se identifica por encima del umbral y que permite identificar manantiales y zona seep. La línea roja entrecortada representa la altitud a la que se ubica la zona seep de acuerdo al memorando técnico "Soporte del EIA sobre geoquímica y agua subterránea de Loma Larga" presentado por ITASCA.....	6-438
Figura 6-191	Esquema de la zona de descarga de aguas subterráneas de la zona de influencia del proyecto minero "Loma Larga". Las líneas roja y negra indican la ubicación y profundidad a escala de los piezómetros LLDHG009A y LLDHG009, respectivamente.....	6-440
Figura 6-192	Sección Transversal de Elevación Simulada de la Tabla de Agua a lo largo de la Vida de la Mina .....	6-442
Figura 6-193	Simulación de las Tazas de Ingreso de Agua Previstas a la Mina Subterránea en el PLL .....	6-443
Figura 6-194	Cono de Depresión para la Mina Subterránea en el PLL al Final de la Vida Útil de la Mina (año 15-peor caso) .....	6-444
Figura 6-195	Sección Ampliada de las Aguas Subterráneas en el Año 15 (peor caso) para el PLL.....	6-445
Figura 6-196	Reducción Prevista del Flujo Base para los Ríos Principales dentro del Área de Dominio del Modelo Matemático.....	6-446
Figura 6-197	Simulación de las Tazas de Ingreso de Agua Previstas a la Mina Subterránea en el PLL .....	6-447
Figura 6-198	Diagrama de Piper de las Aguas Subterráneas Muestreadas en los Seis Piezómetros de Monitoreo .....	6-459
Figura 6-199	Toma de Muestras de Aguas Subterráneas en los Piezómetros de Monitoreo .....	6-469
Figura 6-200	Diagrama de Piper de las Aguas Subterráneas Muestreadas en los Seis Piezómetros de Monitoreo .....	6-485
Figura 6-201	Diseño de los Piezómetros Convencionales .....	6-487

Figura 6-202	Diseño de los Piezómetros para Calidad de Agua Subterránea .....	6-489
Figura 6-203	Muestreo con Bomba y Bailer .....	6-490
Figura 6-204	Diseño de los Piezómetros de Cuerda Vibrante .....	6-491
Figura 6-205	Descarga de datos mediante software de Geokon.....	6-492
Figura 6-206	Ubicación de los Piezómetros.....	6-493
Figura 6-207	Toma de Muestras de Aguas Subterráneas en los Piezómetros de Monitoreo .....	6-505

## 6 Diagnóstico Ambiental-Línea Base

---

### 6.1 Línea Base Física

El proyecto Loma Larga está conformado por las concesiones mineras Cerro Casco (Código 101580), Río Falso (Código 101577) y Cristal (Código 102195), cuyo titular minero es DPMECUADOR SA (antes, INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC) y (en adelante, la compañía o DPME), abarca una extensión de 7960 ha.

A través del presente “Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental del proyecto Loma Larga bajo régimen de Gran Minería para las fases de Explotación y Beneficio”, la compañía pretende licenciar 2147,16 ha correspondientes al área geográfica (área operativa) del Proyecto en donde se ejecutarán las actividades respectivas para las fases de explotación y beneficio.

Se entiende al área geográfica o área referencial del proyecto, obra o actividad como el área en donde se desarrollará el levantamiento de información de línea base, que será construida al menos en base a los siguientes insumos: certificado de intersección; coordenadas específicas de actividades e infraestructura del Proyecto, obra o actividad; jurisdicción político-administrativa; y, sistemas hidrográficos.

#### 6.1.1 Línea Base Física Superficial

##### 6.1.1.1 *Climatología*

Para la realización de la línea base de clima se utilizaron estaciones regionales de dos instituciones, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (en adelante INAMHI) y la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Saneamiento y Gestión Ambiental del cantón Cuenca (en adelante, ETAPA) que cuentan con datos históricos de distintas variables climáticas. La información del INAMHI fue adquirida por la Compañía (las facturas constan en el Anexo C. Respaldos Línea Base, C.1 Componente Físico C.1.12 Factura Información Hidrología). La información de ETAPA fue adquirida directamente a la empresa pública en formato de anuarios hidrometeorológicos, que se encuentran grabados en una serie de varios CD-ROM. Adicional a las estaciones regionales, se utilizaron estaciones de un periodo de registro más corto, pero ubicadas dentro de la zona del proyecto Loma Larga (en adelante, PLL). A las primeras se les llamará regionales, y a las segundas, locales, dentro del presente informe. En este sentido, las estaciones regionales servirán para validar los registros obtenidos en las locales. La información de las estaciones locales fue obtenida por la Compañía y el Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA)-Universidad de Cuenca. La información sobre los datos que toman las estaciones, su ubicación y el periodo de monitoreo constan en la Tabla 6-1, Tabla 6-2, Tabla 6-3 y en la Figura 6-1.

Página en blanco

**Tabla 6-1 Estaciones Meteorológicas Regionales Cercanas al Área del Proyecto**

Código de la Estación	Nombre de la Estación	Tipo de Estación		Institución	Resolución	Parámetros (*resolución mensual)	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Altitud (msnm)	Distancia desde la estación a la infraestructura (los límites de la implantación del proyecto) (km)	Justificar el uso de datos de la estación escogida, relacionada con la ubicación del proyecto
							Este (m)	Norte (m)			
M1111	Chanlud	M	Meteorológica	INAMHI	Diaria	T, ET, RH*, CI	718334,49	9703226,59	3336	43,92	Estaciones regionales servirán para validar y rellenar los registros obtenidos en las estaciones locales y extender las series ya que cuentan con un registro más largo de mediciones y presentan una mejor correlación (regresión lineal) con la estación PLL003. Para la precipitación se decidió utilizar las estaciones regionales que cuentan con datos desde 1964.
M0141	El Labrado	M	Meteorológica	INAMHI	Diaria	T, RH*, CI	713976,07	9697403,57	3335	36,78	
M0417	Piscícola Chirimachay	PV	Pluviométrica	INAMHI	Diaria	P	702940,31	9692812,96	3270	29,15	
M0418	Cumbe	PV	Pluviométrica	INAMHI	Diaria	P	720611,68	9658682,37	2720	22,36	
M0419	Girón	PV	Pluviométrica	INAMHI	Diaria	P	705462,87	9649800,93	2130	14,31	
M0422	Hda. Santa Lucía	PV	Pluviométrica	INAMHI	Diaria	P	693483,1	9689540,45	1310	25,83	
M0427	Sayausí Matadero	PV	Pluviométrica	INAMHI	Diaria	P	713612,00	9682688,67	2780	23,98	
M0428	Pedernales	PV	Pluviométrica	INAMHI	Diaria	P	682159,37	9656045,06	3450	16,51	
M0429	Surrucucho (Llulluchis)	PV	Pluviométrica	INAMHI	Diaria	P	707441,26	9687091,93	2800	24,73	
ETA002	Machángara DJ Chulco	PV	Pluviométrica	ETAPA	Diaria	P, H**	720694,32	9694821,11	3000	37,93	
ETA003	El Labrado	PV	Pluviométrica	ETAPA	Diaria	P	714262,35	9698681,12	3400	38,06	
ETA004	Chanlud	PV	Pluviométrica	ETAPA	Diaria	P	714734,47	9708081,10	3680	46,95	
ETA005	Matadero en Sayausí	PV	Pluviométrica	ETAPA	Diaria	P	714691,70	9681829,71	2715	24,02	
ETA009	Yanuncay en Pucán	PV	Pluviométrica	ETAPA	Diaria	P	703191,88	9674350,06	3044	11,33	
ETA010	Cancán	PV	Pluviométrica	ETAPA	Diaria	P	689472,27	9676122,79	3680	14,65	
ETA012	Tarqui DJ Cumbe	PV	Pluviométrica	ETAPA	Diaria	P, H**	716350,06	9664029,74	2622	17,75	
ETA014	Portete	PV	Pluviométrica	ETAPA	Diaria	P	716350,06	9664029,74	2622	17,75	
T = Temperatura, ET = Evapotranspiración, RH = Humedad Relativa, CI = Nubosidad, P = Precipitación * Valores mensuales ** Estaciones combinadas, pluviométrica e hidrológica.											

Fuente: INAMHI, ANUARIOS METEOROLÓGICOS 1964-2019. ETAPA, ANUARIOS METEOROLÓGICOS 1998-2009  
 Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

**Tabla 6-2 Estaciones Meteorológicas Locales Cercanas al Área del Proyecto**

Código de la Estación	Nombre de la Estación	Institución	Tipo de Estación		Fecha de Instalación – Fin del periodo analizado	Parámetros	Resolución	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Altitud (msnm)	Distancia desde la estación a la infraestructura (los límites de la implantación del proyecto) (km)	Justificar el uso de datos de la estación escogida, relacionada con la ubicación del proyecto
								Este (m)	Norte (m)			
PLL001	Bermejós	iDRHICA	M	Meteorológica	20/10/2006 – 06/08/2009	T, RH, P	Diaria	695677,55	9662222,83	3827	1,69	Estacion de un periodo de registro más corto, pero ubicada dentro de la zona del proyecto minero
PLL003	Zhurucay	iDRHICA	M	Meteorológica	05/01/2011 – 28/11/2017	T, RH, WS, Rs	Diaria	696646,63	9660916,61	3792	1,68	La estación es representativa del clima de la zona del Proyecto debido a la buena correlación obtenida en las distintas variables con las estaciones locales, que es causa de la ubicación de la estación en una zona de cumbre
					01/12/2010 – 28/11/2017	P						
PLL009	Quimsacocha 1	iDRHICA	M	Meteorológica	09/08/2005 - 23/10/2015	T, RH, WS, Rs	Diaria	698178,52	9663411,51	3766	0	Con excepción de Quimsacocha 1 que tiene un largo periodo de datos, el resto corresponde a estaciones de un periodo de registro más corto, pero ubicadas dentro de la zona del proyecto minero
					11/12/2006 – 21/02/2014	P						
PLL010	Calluancay	iDRHICA	M	Meteorológica	15/03/2012 – 02/11/2016	T, RH, WS, Rs	Diaria	696646,99	9661135,02	3828	1,69	
PLL005	Calluancay	iDRHICA	M	Meteorológica	20/10/2006 – 26/11/2008	P	Diaria	697736,22	9661330,42	3761	1,10	
PLL006	Jordanita	iDRHICA	M	Meteorológica	05/06/2008 – 04/06/2013	P	Diaria	698211,63	9659748,22	3709	2,62	
T = Temperatura, RH = Humedad Relativa, WS = Velocidad del viento, Rs = Radiación solar, P = Precipitación. La Estación PLL009 es de marca Campbell Sci lo cual cumple con las especificaciones técnicas de una estación regional según la OMM												

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. Departamento de Recursos Hídricos y Calidad Ambiental de la Universidad de Cuenca(iDRHICA) Base de Datos de Clima, 2010-2019

Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

Considerando que el análisis climatológico requiere de datos completos (al menos 10 años para que sea estadísticamente representativo) sobre precipitación, temperatura, humedad relativa, nubosidad, heliofanía, velocidad y dirección del viento, la Tabla 6-3 muestra la disponibilidad de información climatológica. En relación a la nubosidad existe información únicamente en las estaciones manuales del INAMHI (M1111 y M0141). No existe caracterización de la heliofanía en las estaciones del INAMHI de la zona. Dentro de las estaciones que se encuentran en el área geográfica del PLL se realiza la medición de la radiación solar que es una variable que mide directamente la energía solar que ingresa al ecosistema. La radiación solar, nubosidad (fracción de la bóveda celeste que se ve cubierta de nubes) y heliofanía (representa la duración del brillo solar u horas de sol) están directamente relacionada entre sí, cabe mencionar que la radiación solar es una variable cuantitativa que describe de mejor manera y directa la energía que ingresa al ecosistema. Adicionalmente para el cálculo de la ET se usa de manera directa la radiación solar. En este sentido, en este informe al existir mediciones directas y cuantitativas de radiación solar se usó esta variable para caracterizar la energía solar que ingresa al ecosistema para las estaciones del PLL.

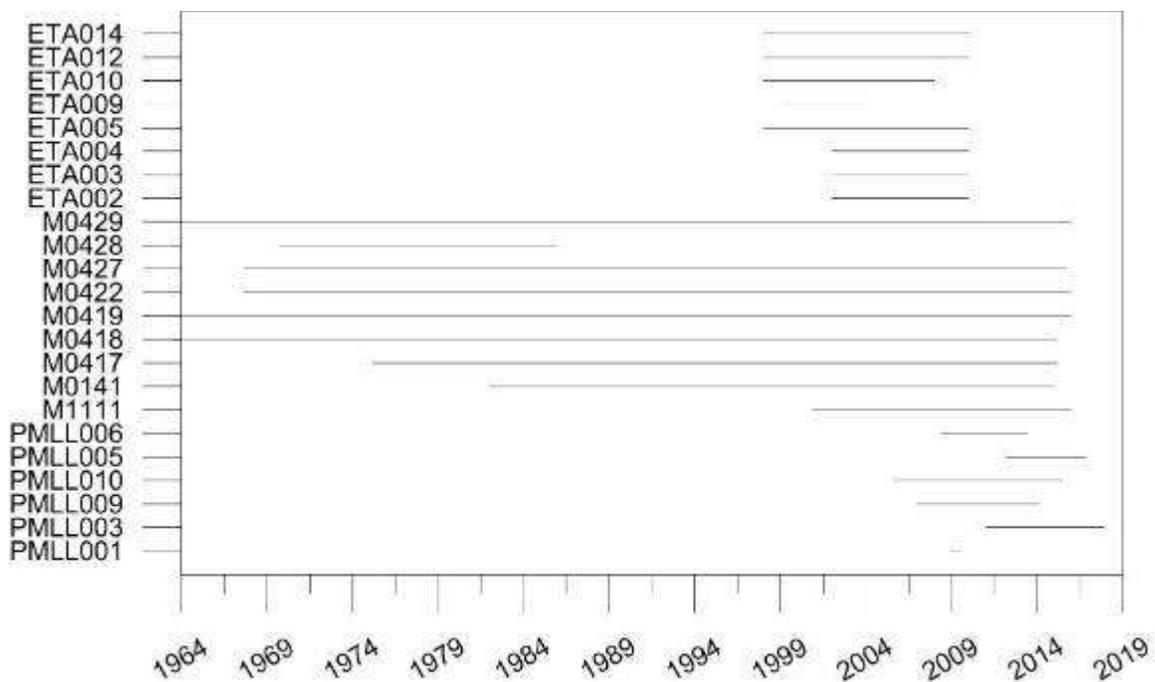
**Tabla 6-3 Información Climatológica Existente (1964-2019)**

Estación	Código	T	RH	P	ET	Rs	WS	CI
Bermejós	PLL001	x	x	x				
Zhurucay	PLL003	x	x	x		x	x	
Quimsacochoa 1	PLL009	x	x	x		x	x	
Calluancay	PLL010	X	X			X	X	
Calluancay	PLL005	x	x	x		x	x	
Jordanita	PLL006			x				
Chanlud*	M1111	x	x	x	x			x
El Labrado**	M0141	x	x	x			x	x
Piscícola Chirimachay	M0417		x					
Cumbe	M0418		x					
Girón	M0419		x					
Hacienda. Santa. Lucía	M0422		x					
Sayausi_Matadero	M0427		x					
Pedernales	M0428		x					
Surrucucho (Llulluchis)	M0429		x					
Machángara DJ Chulco	ETA002		x					
El Labrado ETAPA	ETA003		x					
Chanlud ETAPA	ETA004		x					
Sayausi_Matadero ETAPA	ETA005		x					
Yanuncay en Pucán	ETA009		x					

Estación	Código	T	RH	P	ET	Rs	WS	CI
Cancán	ETA010		x					
Tarqui DJ Cumbe	ETA012		x					
Portete	ETA014		x					

T = Temperatura, RH = Humedad Relativa, P = Precipitación, ET = Evapotranspiración, Rs = Radiación Solar, WS = Velocidad del Viento, CI = Nubosidad  
 \*ET está disponible en 2001-2012  
 \*\*RH está disponible en 1963-2014

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019. INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019. ETAPA, Anuarios Meteorológicos 1998-2009  
 Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-1 Información Climatológica Existente (1964-2019)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINECDPMECUADOR SA, Base de Datos de Clima, 2005-2016., iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019., INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019, ETAPA, Anuarios Meteorológicos 1998-2009  
 Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

### 6.1.1.1 Metodología

Para el estudio se utilizó datos de estaciones regionales y locales. En general, las regionales cuentan con un registro más largo de mediciones. Debido a esto, cuando fue posible, se las utilizó para rellenar datos en las estaciones locales y para extender las series hacia atrás en el tiempo. La posibilidad de realizar este proceso depende de la variable y de que la correlación sea buena. Esto se detalla a continuación.

En el caso de las estaciones locales, se decidió elegir una de ellas como estación de referencia para la climatología local. Debido a que la estación PLL003 es la que más variables registra y cuenta con un periodo más largo de monitoreo, se decidió tomarla como referencia. Además, no hay gran variabilidad espacial en las variables climáticas entre las estaciones locales (Halcon Data, 2018). Este informe consta en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.7 Halcon Data 2018.

Se rellenó datos de precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en el periodo 2011-2019 mediante regresión lineal simple. Se analizó la correlación con cada una de las estaciones locales para determinar la que mejor se correlaciona con PLL003 para cada variable en cada periodo. Un resumen de estos resultados, la estación usada, la ecuación de relleno y el periodo de relleno, constan en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos.

Se debe mencionar que, en el caso de las variables distintas a precipitación, se calcularon las regresiones lineales para rellenar datos diariamente, mientras que, para precipitación, las correlaciones fueron a escala mensual. Es por esto que los datos de precipitación rellenados mensualmente tuvieron que ser disgregados a diario con el siguiente procedimiento:

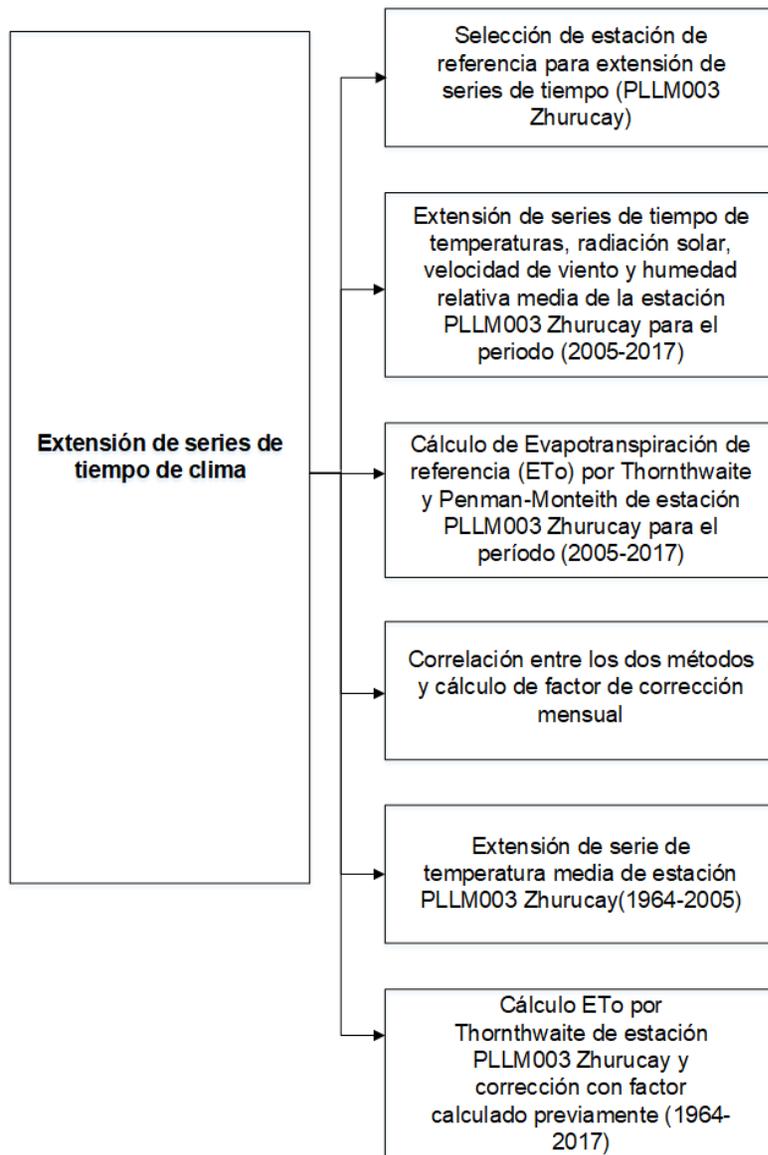
1. Se identificó una estación de precipitación de referencia para realizar la disgregación de la estación objetivo. La estación de referencia es una estación de la zona que tiene el mismo tipo de lluvia y que tiene información diaria del mes.
2. Para cada mes que se debe disgregar, la lluvia mensual en la estación objetivo (estación de referencia) se calculó con los porcentajes diarios de lluvia en relación a la precipitación total mensual registrada.
3. Los mismos porcentajes de distribución diaria fueron aplicados a la estación objetivo para calcular la lluvia diaria a partir de la lluvia mensual rellenada. Una vez rellenados estos datos, se utilizó la serie de precipitación para rellenar los datos de precipitación de las otras estaciones locales, igualmente, mediante regresión lineal simple. Estas ecuaciones constan en la sección de resultados, y los periodos de relleno constan en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos. La metodología se describe en las Figuras 4 y 5 del informe de Halcon Data., 2018.

Además del relleno de datos en el periodo 2011-2019, se realizó una extensión de la serie de datos hacia atrás para distintas variables, hasta 1964, esto se hizo solamente para la estación local de referencia (PLL003) y estos datos fueron utilizados también para el componente de hidrología superficial. El procedimiento fue distinto para la precipitación que, para las otras variables, el cual se detalla a continuación.

Para las variables distintas a precipitación, se trató de otra manera tres periodos. El primero, desde el 2005 al 2011, en el cual se extendieron las series de temperatura, radiación solar, velocidad de viento y humedad relativa utilizando la estación PLL010. El segundo, desde 1982 hasta el 2005, en el que se extendió la temperatura utilizando una regresión lineal con la estación regional M0141, que fue la que mejor correlación presentó de entre todas las estaciones regionales. Finalmente, el tercero, entre 1964 y 1981, para el cual se extendió la temperatura con el año promedio calculado para el periodo 1982-2017. Para el periodo entre 1964 y 2005 solamente se rellenó temperatura debido a que las otras variables de las estaciones regionales no muestran correlación con las estaciones locales. Estos datos se usaron para calcular evapotranspiración de referencia utilizando los métodos de Thorntwaite y Penman-Monteith, como se detalla en Halcon Data., 2018.. El proceso de extensión de estas series de datos se detalla en la Figura 6-2. Entre 2005 y 2011 se trabajó con correlaciones diarias, mientras que antes de 2005 se utilizaron correlaciones mensuales, los datos fueron disgregados diariamente mediante el procedimiento descrito anteriormente.

Para la precipitación se decidió utilizar las estaciones regionales que cuentan con datos desde 1964, la más antigua. Primero, se procedió a identificar la estación que presenta una mejor correlación con PLL003; se determinó que son las estaciones M0141 y M0417. Sin embargo, estas estaciones presentan vacíos en su serie, por lo que se procedió primeramente a rellenarlas usando correlaciones entre sí. Una vez que se tuvo las series de datos rellenadas desde 1964, se procedió a calcular una regresión lineal múltiple entre estas dos estaciones, que fueron las que mejor correlación presentó con PLL003. Utilizando la ecuación de regresión, se obtuvo la serie para PLL003 entre 1964 y 2019. Con esta serie, se procedió a rellenar los

datos de las demás estaciones locales. Este proceso se realizó mediante correlaciones mensuales y los datos fueron disgregados diariamente con el procedimiento descrito con anterioridad.



**Figura 6-2 Diagrama de Actividades para Extensión de Datos de Clima y Cálculo de ETo. Tomada de (Halcon Data, 2018)**

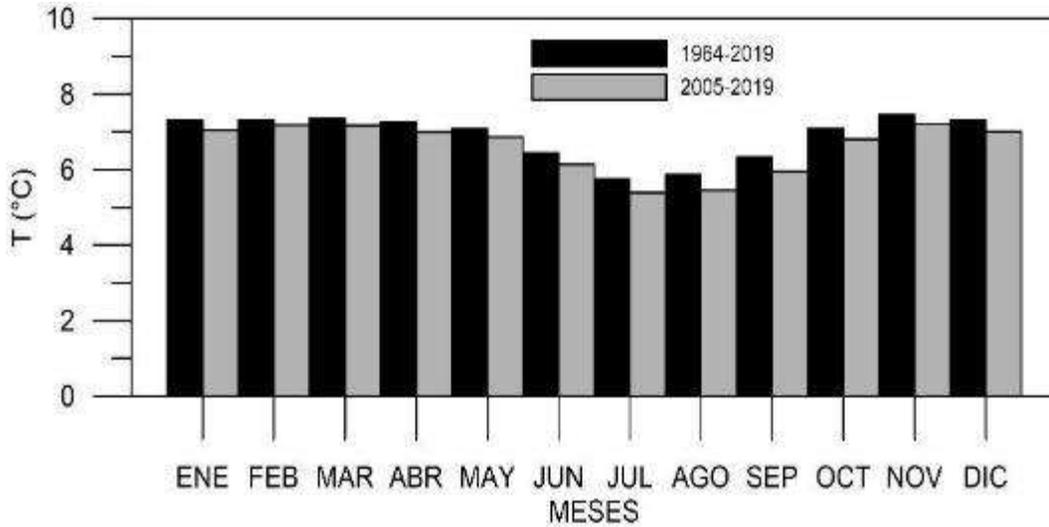
Fuente: (Halcon Data, 2018)

Elaboración: Mario Córdova, 2020

#### 6.1.1.1.2 Análisis de Resultados

##### Evaluación de la Extensión de Datos

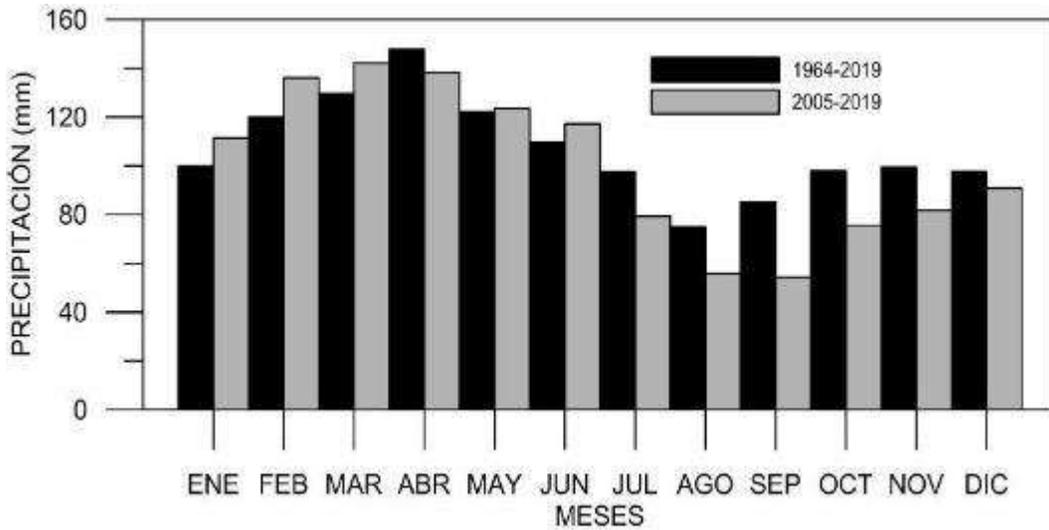
Para evaluar la extensión de los datos, se muestra en la Figura 6-3 la climatología de temperatura para la estación PLL003 para el periodo sin extensión (2005-2019) comparado con el periodo extendido (1964-2019). Al obtenerse la misma climatología, se puede concluir que el método utilizado para extender los datos es válido.



**Figura 6-3 Climatología de Temperatura del Periodo Sin Extender (gris) y el Periodo Extendido de Datos (negro) para la Estación PLL003**

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019, IDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

Se realizó el mismo procedimiento con precipitación, el cual se muestra en la Figura 6-4, donde se observa la validez de la extensión de los datos hasta 1964.



**Figura 6-4 Climatología de Precipitación del Periodo Sin Extender (gris) y el Periodo Extendido de Datos (negro) para la Estación PLL003**

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019, IDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

Para analizar los resultados, se tabuló y se realizó figuras para cada variable y cada estación, como se muestra a continuación. Cabe indicar que solo se muestran datos de las estaciones regionales, que fueron incluidas en los cálculos de correlación para extensión y relleno de datos de las estaciones locales, en específico, para PLL003, que a su vez se utilizó para rellenar las demás estaciones locales. Los datos de las demás estaciones constan en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.9 Estaciones regionales no usadas.

Del mismo modo, es importante recalcar que la información climatológica base utilizada es muy extensa, por lo que la misma no se presenta dentro de este capítulo, pero se puede observar a detalle en la base de datos presente en el Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.6 Base de Datos Climatología.

### Precipitación

La estación M0141, ubicada en El Labrado, cuenta con mediciones de precipitación entre 1964 y 2015. En periodos en los que la precipitación no estaba disponible, se rellenaron utilizando la estación M0417 (Piscícola Chirimachay), que fue la que mejores valores de correlación presentó. Se generó una ecuación de relleno para cada uno de los meses del año, como se muestra en la Tabla 6-4. Más detalles se pueden encontrar en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno, extensión de datos, y en la base de datos (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.6 Base de Datos Climatología).

**Tabla 6-4 Valores de las Correlaciones y Ecuaciones para Rellenar la Estación El Labrado**

Mes	R2	Ecuaciones
Enero	0,5	$M0141 = 0,5747 * M0417 + 31,004$
Febrero	0,66	$M0141 = 0,6671 * M0417 + 33,395$
Abril	0,41	$M0141 = 0,5018 * M0417 + 68,752$
Mayo	0,42	$M0141 = 0,3749 * M0417 + 67,002$
Junio	0,55	$M0141 = 0,6081 * M0417 + 30,27$
Julio	0,56	$M0141 = 0,6382 * M0417 + 31,281$
Agosto	0,75	$M0141 = 0,7419 * M0417 + 15,734$
Septiembre	0,56	$M0141 = 0,5123 * M0417 + 26,631$
Octubre	0,5	$M0141 = 0,6222 * M0417 + 30,714$
Noviembre	0,7	$M0141 = 0,6593 * M0417 + 25,417$
Diciembre	0,65	$M0141 = 0,8581 * M0417 + 11,496$

Nota: no existen valores para marzo debido a que en ese mes no existieron vacíos

Fuente: (Halcon Data, 2018)

Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

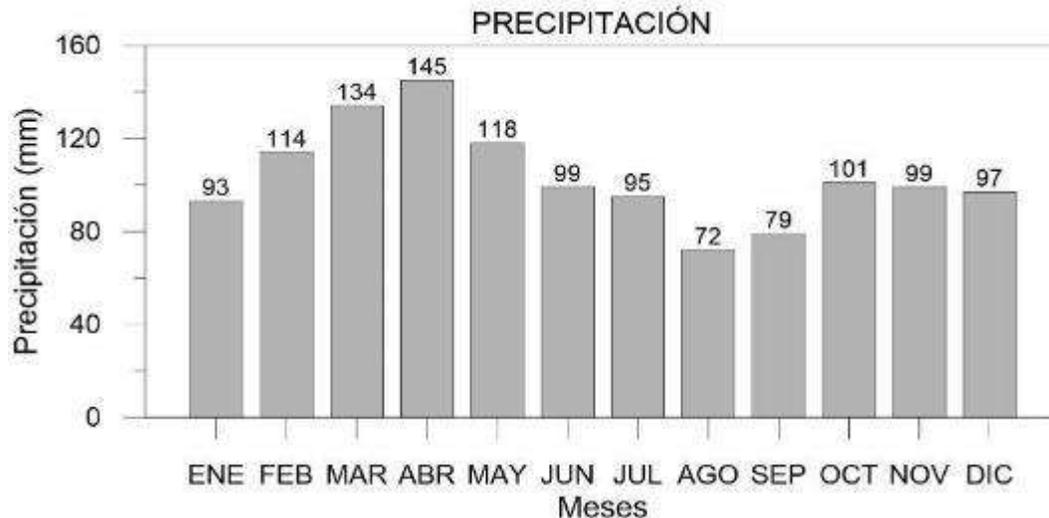
En promedio, la precipitación anual media es de 1246 mm (Tabla 6-5). Los datos de media y total general no se muestran para los mínimos y máximos mensuales debido a que no tienen un sentido físico; tienen dos picos de precipitación: el primero, entre marzo y abril, y el segundo, entre octubre y diciembre, y una época relativamente seca en agosto (Figura 6-5). La estación muestra una estacionalidad poco marcada con precipitaciones distribuidas durante todo el año.

**Tabla 6-5 Precipitación Estación M0141 (1964 -2015)**

Nombre de la Estación: El Labrado														
Precipitación (mm)														
Series de Datos (1964-2015)														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med	Total
Media	93	114	134	145	118	99	95	72	79	101	99	97	104	1246
Mínimo	28,4	36,3	27,5	36,8	55,1	30,3	35,3	21,9	22,5	36,1	26,3	21,2	-	-

<b>Nombre de la Estación: El Labrado</b>														
<b>Precipitación (mm)</b>														
<b>Series de Datos (1964-2015)</b>														
	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Med</b>	<b>Total</b>
Máximo	171,2	223,9	257,5	264,4	223,7	209,3	164,1	143,2	214,1	207,5	287,3	210,9	-	-

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-5 Histograma de Precipitación Mensual Estación M0141 (1964-2015)**

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

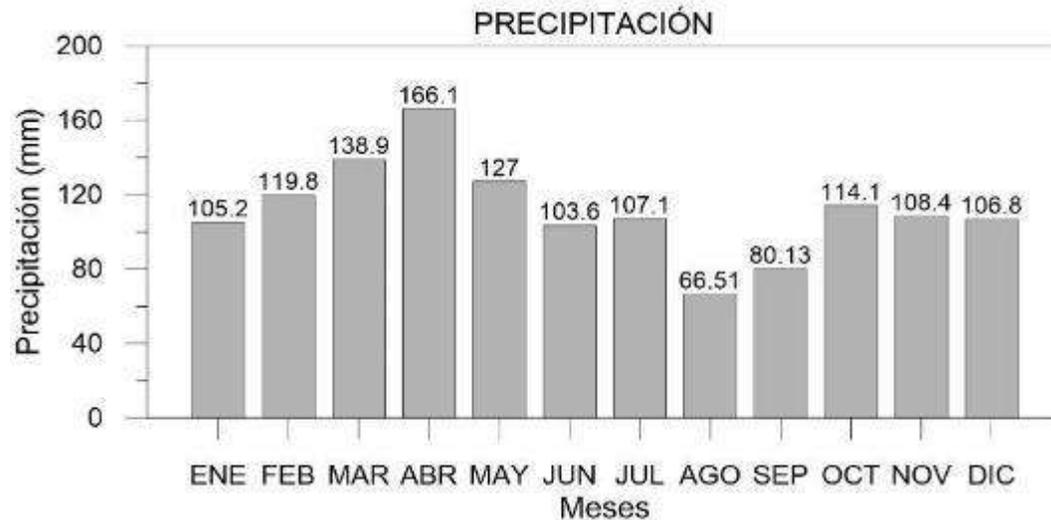
La estación M0417, ubicada en Piscícola Chirimachay, cuenta con mediciones de precipitación entre 1975 y el 2015 y fue rellenada mediante correlación con la estación M0141; el valor de R2 fue de 0,51 y la ecuación usada fue  $M0417 = 0,5441 * M0141 + 41,697$ . Más detalles constan en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos.

En promedio, la precipitación anual es de 1343,52 mm (Tabla 6-6). Tiene dos picos de precipitación; el primero, entre marzo y mayo, y el segundo, entre octubre y diciembre, y una época seca entre agosto y septiembre (Figura 6-6). La estación muestra una estacionalidad poco marcada con precipitaciones distribuidas durante todo el año. La climatología es muy parecida a la de la estación M0141, con volúmenes anuales similares y coincidencia entre las épocas húmedas y secas.

**Tabla 6-6 Precipitación Estación M0417 (1975-2015)**

<b>Nombre de la Estación: Piscícola Chirimachay</b>														
<b>Precipitación (mm)</b>														
<b>Series de Datos (1975-2015)</b>														
	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Med</b>	<b>Total</b>
Media	105,17	119,75	138,94	166,07	127,04	103,56	107,05	66,51	80,13	114,05	108,4	106,85	111,96	1343,52
Mín.	17,7	37,7	24	69,7	0	40,7	18,1	12,6	21,4	44,3	38,6	1,9	-	-
Máx.	269,9	337,5	423,6	490,3	262,2	244,7	375,5	156,7	192,7	352,9	422,9	231,4	-	-

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-6 Histograma de Precipitación Mensual Estación M0417 (1975-2015)**

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

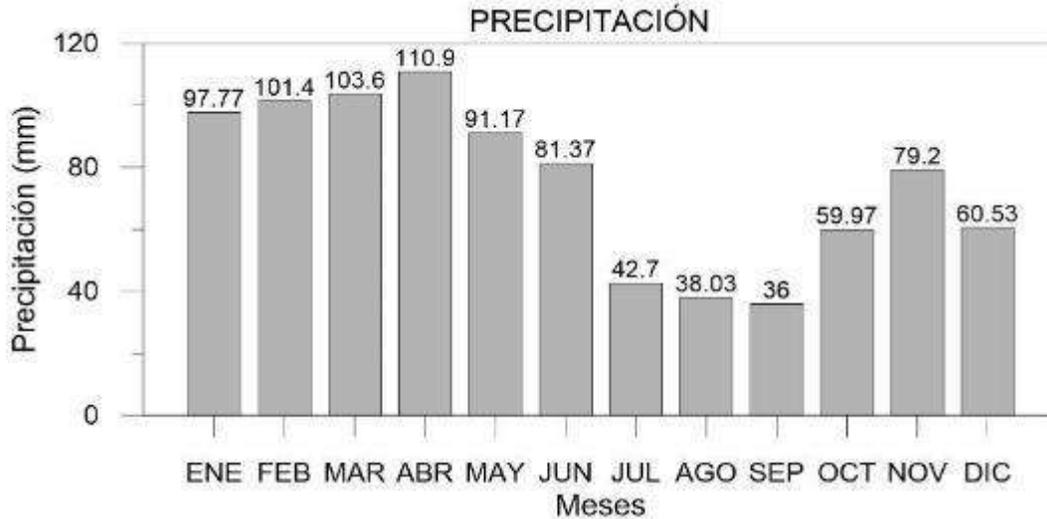
La estación PLL001, ubicada en Bermejos (unidad hidrográfica Bermejos), cuenta con mediciones de precipitación entre el 2006 y el 2009. En periodos en los que la precipitación no estaba disponible, se rellenaron utilizando la estación PLL003. El valor de R2 fue de 0,85 y la ecuación fue  $PLL001 = 0,5655 * PLL03 + 19,061$ . Más detalles se pueden encontrar en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos, y en la base de datos (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.6 Base de Datos Climatología).

En promedio, la precipitación anual es de 902,66 mm (Tabla 6-7). Tiene dos picos de precipitación: el primero, entre enero y mayo, y el segundo, en noviembre, y una época seca entre julio y septiembre (Figura 6-7).

**Tabla 6-7 Precipitación Estación PLL001 (2006-2009)**

Nombre de la Estación: Bermejos														
Precipitación (mm)														
Series de Datos (2006-2009)														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med	Total
Media	97,77	101,43	103,63	110,87	91,17	81,37	42,7	38,03	36	59,97	79,2	60,53	75,22	902,66
Mínimo	68,4	35,2	98,7	90,8	69,1	63,3	28,8	23,7	18	29,7	42,5	41,9	-	-
Máximo	115,4	176,2	109,8	132,6	133,8	108,6	54	53	65,6	81,6	105,8	91,2	-	-

Fuente: INV Minerales Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-7 Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL001 (2006-2009)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, 2020

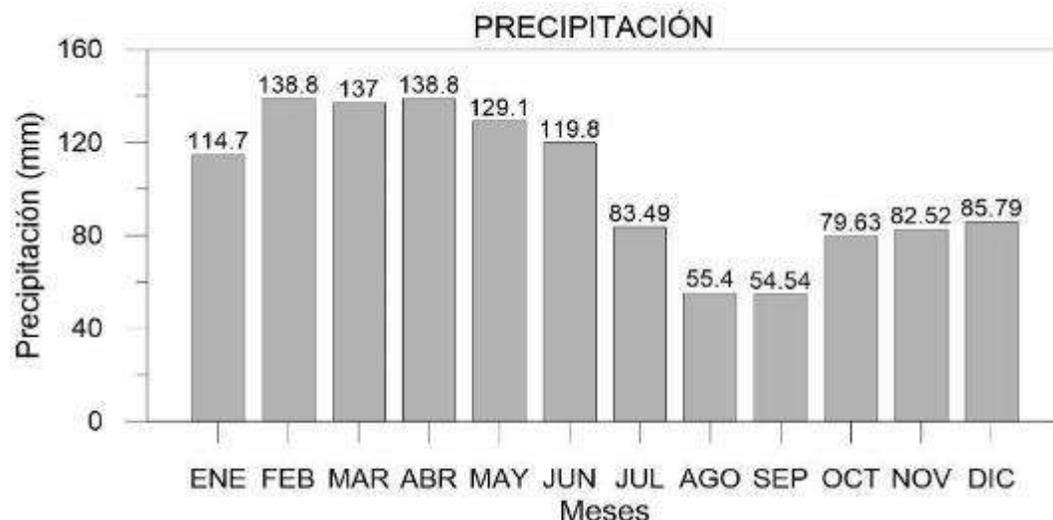
La estación PLL003, ubicada en Zhurucay (unidad hidrográfica Cristal), cuenta con mediciones de precipitación entre el 2011 y el 2019. En periodos en los que la precipitación no estaba disponible, se rellenaron utilizando la estación PLL009, que fue la que mejores valores de correlación presentó. El valor de  $R^2 = 0,7$  y la ecuación utilizada fue  $PLL003 = 0,9971 * PLL009 + 8,4424$ . La serie de datos fue además extendida hacia atrás desde 1964, mediante una regresión lineal múltiple con las estaciones regionales; el valor de  $R^2$  fue  $0,57$  y la ecuación fue  $PLL003 = 0,3461 * M0141 + 0,4648 * M0417 + 17,566$ . Más detalles se pueden encontrar en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos, y en la base de datos (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.6 Base de Datos Climatología). En este sentido, al tener correlación con estaciones regionales, se demuestra que los valores están bien medidos y siguen la dinámica de precipitación regional, validando la información local usada para este estudio y las demás secciones del EsIA.

En promedio, la precipitación anual es de 902,66 mm (Tabla 6-8). Tiene dos picos de precipitación: el primero, entre febrero y mayo, y el segundo, entre octubre y diciembre, y una época relativamente seca entre agosto y septiembre (Figura 6-8). La estación muestra una estacionalidad poco marcada similar a las estaciones regionales con precipitaciones distribuidas durante todo el año.

**Tabla 6-8 Precipitación Estación PLL003 (2006 -2019)**

Nombre de la Estación: Zhurucay														
Precipitación (mm)														
Series de Datos (2006-2019)														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med	Total
Media	99,86	119,94	129,66	147,90	122,25	109,54	97,62	74,85	85,09	97,91	99,43	97,72	106,81	1281,77
Mín.	38,60	40,20	52,80	62,90	47,50	57,20	29,60	22,40	13,70	13,60	27,70	39,20	-	-
Máx.	195,30	256,80	239,30	517,50	250,00	266,90	232,70	140,20	278,40	253,40	313,90	201,10	-	-

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-8 Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL003 (2006-2019)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

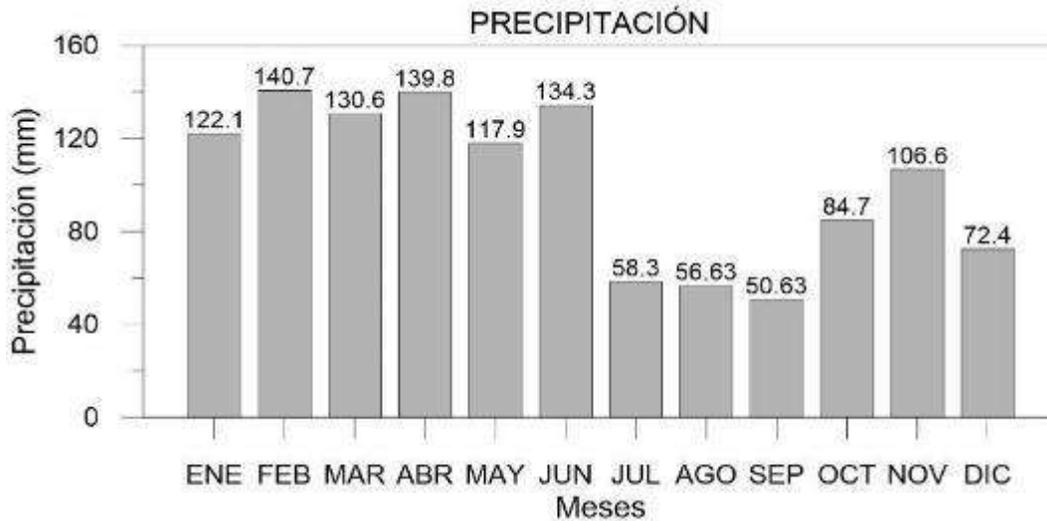
La estación PLL005, ubicada en Calluancay (unidad hidrográfica Rumiguaycu), cuenta con mediciones de precipitación entre el 2006 y el 2009. En periodos en los que la precipitación no estaba disponible, se rellenaron utilizando la estación PLL003. El valor de  $R^2 = 0,85$  y la ecuación fue  $PLL005 = 0,8789 * PLL003 + 14,264$ . Más detalles se pueden encontrar en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos, y en la base de datos (Anexo C. Respaldos Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.6 Base de Datos Climatología).

En promedio, la precipitación anual es de 1214,6 mm (Tabla 6-9). Tiene dos picos de precipitación: el primero, entre enero y junio, y el segundo, entre octubre y noviembre, y una época relativamente seca entre julio y septiembre (Figura 6-9). La climatología de precipitación es similar a la estación de referencia PLL003 debido a la alta correlación existente entre esta y todas las estaciones locales.

**Tabla 6-9 Precipitación Estación PLL005 (2006-2009)**

Nombre de la Estación: Calluancay														
Precipitación (mm)														
Series de Datos (2006-2009)														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med	Total
Media	122,07	140,67	130,6	139,83	117,9	134,27	58,3	56,63	50,63	84,7	106,6	72,4	101,22	1214,6
Mínimo	76,4	31,6	117,8	125,1	91,5	83,2	27,6	22,1	13,7	31,7	52,2	50	-	-
Máximo	153	260,9	137,4	148,4	166,8	215,2	92,4	81,4	98,6	113,8	145,4	104,2	-	-

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-9 Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL005 (2006-2009)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINECDPMECUADOR SA, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

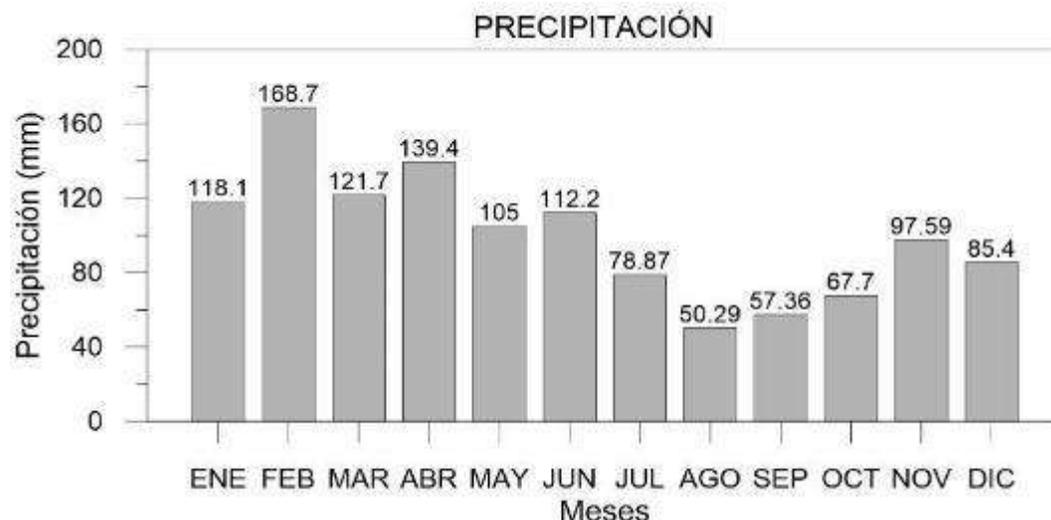
La estación PLL006, ubicada en Jordanita (unidad hidrográfica Alumbre), cuenta con mediciones de precipitación entre el 2006 y el 2013. En periodos en los que la precipitación no estaba disponible, se rellenaron utilizando la estación PLL003. El valor de  $R^2 = 0,8$  y la ecuación fue  $PLL006 = 0,9331 * PLL003 + 11,446$ . Más detalles se pueden encontrar en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos, y en la base de datos (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.6 Base de Datos Climatología).

En promedio, la precipitación anual es de 1202,23 mm (Tabla 6-10). Tiene dos picos de precipitación: el primero, entre febrero y abril, y el segundo, en noviembre, y una época relativamente seca entre agosto y septiembre (Figura 6-10). La climatología de precipitación es similar a la estación de referencia PLL003 debido a la alta correlación existente entre esta y todas las estaciones locales.

**Tabla 6-10 Precipitación Estación PLL006 (2006-2013)**

Nombre de la Estación: Jordanita														
Precipitación (mm)														
Series de Datos (2006-2013)														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med	Total
Media	118,06	168,7	121,69	139,41	104,99	112,19	78,87	50,29	57,36	67,7	97,59	85,4	100,19	1202,23
Mínimo	22,1	41,8	69,4	42,8	12,9	57,4	32,3	1,5	12,6	13,8	30,7	37,6	-	-
Máximo	202,6	281,6	149,3	201,2	161,4	227,2	139,6	84,8	104	114,5	160	140,6	-	-

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-10 Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL006 (2006-2013)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016

Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL009, ubicada en Quimsacocha (unidad hidrográfica Quinuahuaycu), cuenta con mediciones de precipitación entre el 2006 y el 2014. En periodos en los que la precipitación no estaba disponible, se rellenaron utilizando la estación PLL003. El valor de  $R^2 = 0,81$  y la ecuación fue  $PLL009 = 0,7497 * PLL003 + 13,53$ . Más detalles se pueden encontrar en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos, y en la base de datos (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.6 Base de Datos Climatología).

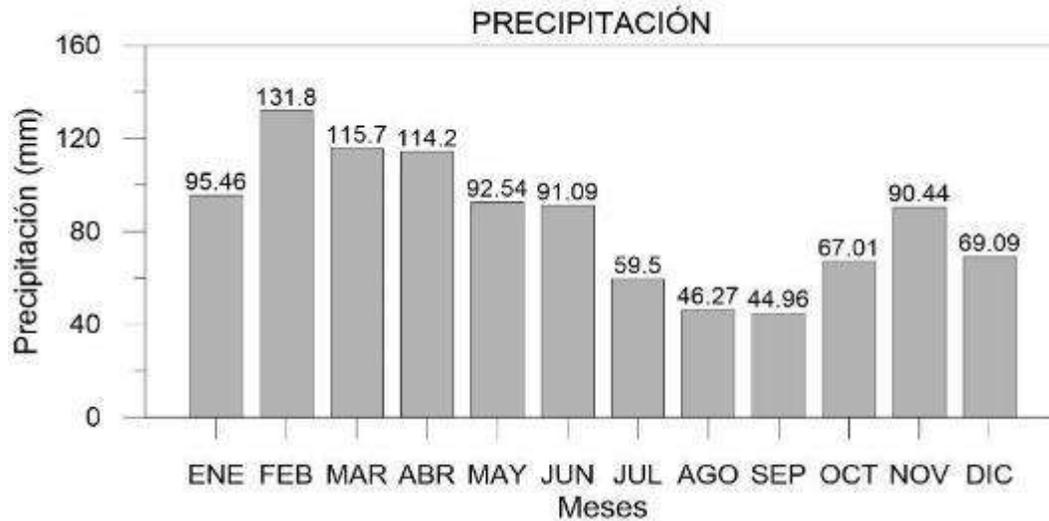
En promedio, la precipitación anual es de 1018,07 mm (Tabla 6-11). Tiene dos picos de precipitación: el primero, entre febrero y abril, y el segundo, en noviembre, y una época relativamente seca entre agosto y septiembre (Figura 6-11). La climatología de precipitación es similar a la estación de referencia (PLL003) debido a la alta correlación existente entre esta y todas las estaciones locales.

**Tabla 6-11 Precipitación Estación PLL009 (2006 -2014)**

Nombre de la Estación: Quimsacocha1														
Precipitación (mm)														
Series de Datos (2006-2014)														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med	Total
Media	95,46	131,79	115,71	114,21	92,54	91,09	59,5	46,27	44,96	67,01	90,44	69,09	84,84	1018,07
Mínimo	29,7	28,4	68,2	44,6	56	44,2	27,7	20,6	10,6	21	23,4	45,5	-	-
Máximo	162,8	192,3	148,8	161,2	152,5	201,9	101,1	75,9	105,8	122,5	138,2	112,8	-	-

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016

Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-11 Histograma de Precipitación Mensual Estación PLL009 (2006-2014)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

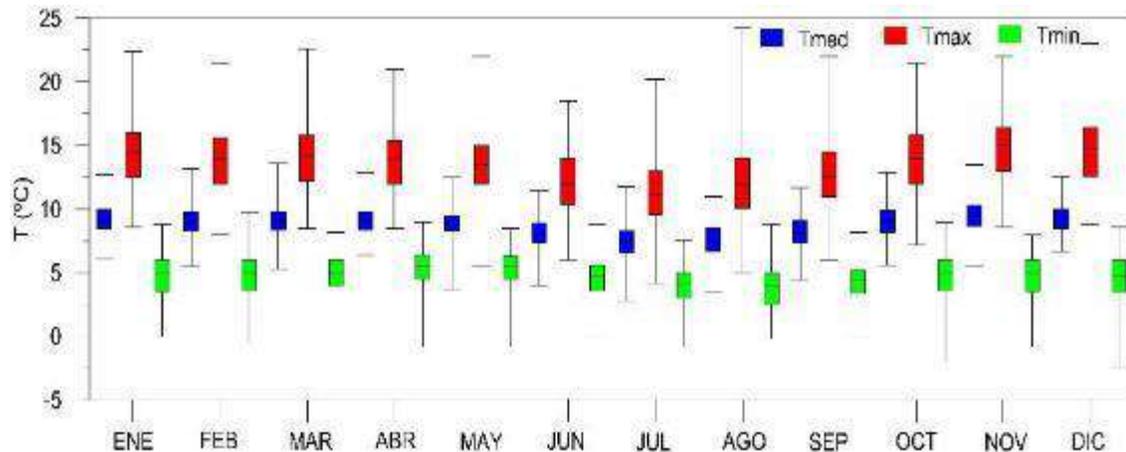
### Temperatura

La estación M0141, ubicada en El Labrado, cuenta con mediciones de temperatura entre 1982 y 2014. En promedio, la temperatura media es 8,72 °C, con un valor promedio de máximas de 21,75 °C y un promedio de mínimas de -0,73 °C (Tabla 6-12). Hay poca estacionalidad de temperatura, con valores levemente más bajos entre junio y agosto (Figura 6-12). Los valores mínimo y máximo mostrados en la tabla son el mínimo y máximo absoluto para cada mes en el periodo de medición. Se hizo el cálculo de esta manera debido a que, al ser estas condiciones extremas, cualquier diseño que se haga debe considerar estos valores de temperatura en el rango. Esto se hizo para todas las estaciones.

**Tabla 6-12 Temperatura Estación M0141 (1982-2014)**

Nombre de la Estación: El Labrado													
Temperatura (°C)													
Series de Datos (1982-2014)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Media	9,25	9,08	9,13	9,11	8,92	8,12	7,42	7,5	8,22	9,09	9,49	9,33	8,72
Mínimo	0	-0,5	-0,4	-0,8	-0,8	0	-0,8	-0,2	0	-2	-0,8	-2,5	-0,73
Máximo	22,4	21,5	22,6	21	22	18,5	20,2	24,3	22	21,5	22	23	21,75

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-12 Diagrama de Cajas de Temperatura Media, Máxima y Mínima Diaria Clasificada por Meses Estación M0141 (1982-2014)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL003, ubicada en Zhurucay (unidad hidrográfica Cristal), cuenta con mediciones de temperatura entre el 2011 y el 2019. Los datos faltantes entre 2011-2019 fueron rellenados utilizando la estación PLL010,  $R^2 = 0,88$  y la ecuación fue  $PLL003 = 0,915 * PLL010 + 0,9314$ . Los datos de temperatura media entre 2005 y 2011 fueron extendidos usando la estación PLL009,  $R^2 = 0,84$  y la ecuación fue  $PLL003 = 0,9785 * PLL009 + 0,3584$ . Mientras que la extensión entre 1964 y 2005 fue realizada con la estación M0141,  $R^2 = 0,56$  y la ecuación fue  $PLL003 = 0,6258 * PLL003 + 1,8532$ . En este sentido, al tener correlación con estaciones regionales, se demuestra que los valores están bien medidos y siguen la dinámica de precipitación regional, validando la información local usada para este estudio y las demás secciones del EsIA.

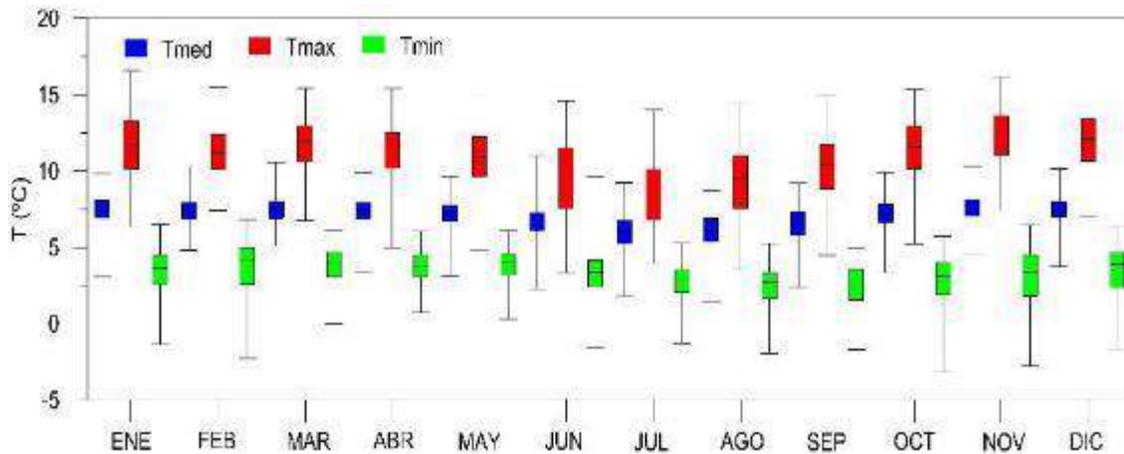
En promedio, la temperatura media es  $7,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con un valor promedio de máximas de  $15,28\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un promedio de mínimas de  $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Tabla 6-13). Hay poca estacionalidad de temperatura, con valores levemente más bajos entre junio y agosto (Figura 6-13).

**Tabla 6-13 Temperatura Estación PLL003 (1964 -2019\*)**

Nombre de la Estación: Zhurucay													
Temperatura (°C)													
Series de Datos (1964-2019*)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Media	7,42	7,4	7,45	7,36	7,2	6,56	5,96	6,05	6,51	7,21	7,57	7,43	7,01
Mínimo	-1,35	-2,29	-0,02	0,74	0,3	-1,62	-1,28	-1,97	-1,72	-3,16	-2,79	-1,67	-1,40
Máximo	16,58	15,48	15,42	15,44	15,04	14,61	13,98	14,54	14,89	15,36	16,12	15,88	15,28

\* Las temperaturas mínima y máxima están entre 2011 y 2019

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-13 Diagrama de Cajas de Temperatura Media, Máxima y Mínima Diaria Clasificada por Meses Estación PLL003 (1964-2019)**

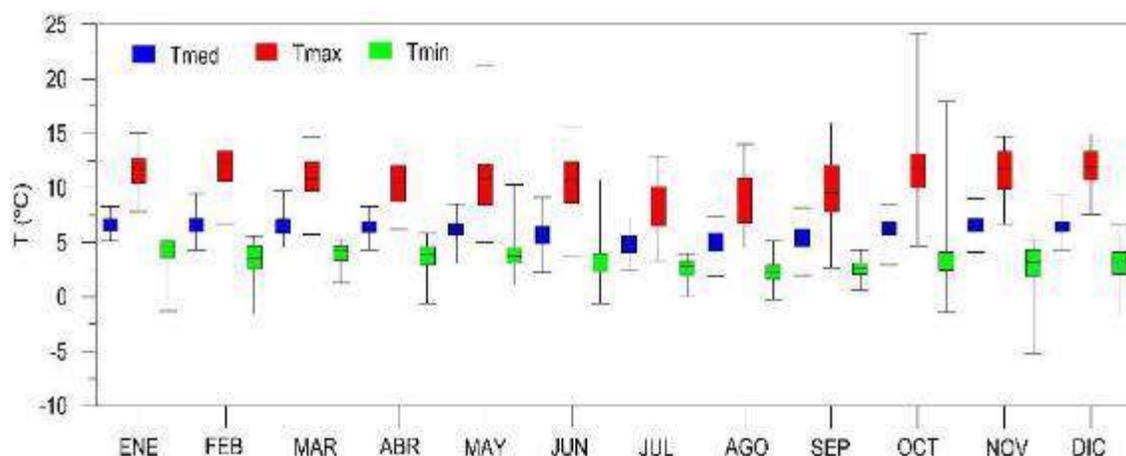
Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL009, ubicada en Quimsacocha (unidad hidrográfica Quinuahuaycu), cuenta con mediciones de temperatura entre el 2005 y el 2015. En promedio, la temperatura media es 6,05 °C, con un valor promedio de máximas de 16,185 °C y un promedio de mínimas de -0,815 °C (Tabla 6-14). Hay poca estacionalidad de temperatura, con valores levemente más bajos entre junio y agosto (Figura 6-14).

**Tabla 6-14 Temperatura Estación PLL009 (2005 -2015)**

Nombre de la Estación: Quimsacocha1													
Temperatura (°C)													
Series de Datos (2005-2015) *													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Media	6,68	6,59	6,57	6,37	6,18	5,57	5	4,89	5,51	6,23	6,57	6,44	6,05
Mínimo	-1,3	-1,6	1,3	-0,6	1,1	-0,61	0,06	-0,28	0,6	-1,45	-5,3	-1,7	-0,815
Máximo	15,1	16,2	14,6	14,9	21,2	15,6	12,9	14	15,95	24,17	14,7	14,9	16,185
*Valores mínimo y máximo son entre 2005-2008													

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, 2020



**Figura 6-14 Diagrama de Cajas de Temperatura Media, Máxima y Mínima Diaria Clasificada por Meses Estación PLL009 (2005-2015\*)**

\*Valores mínimo y máximo son entre 2005-2008

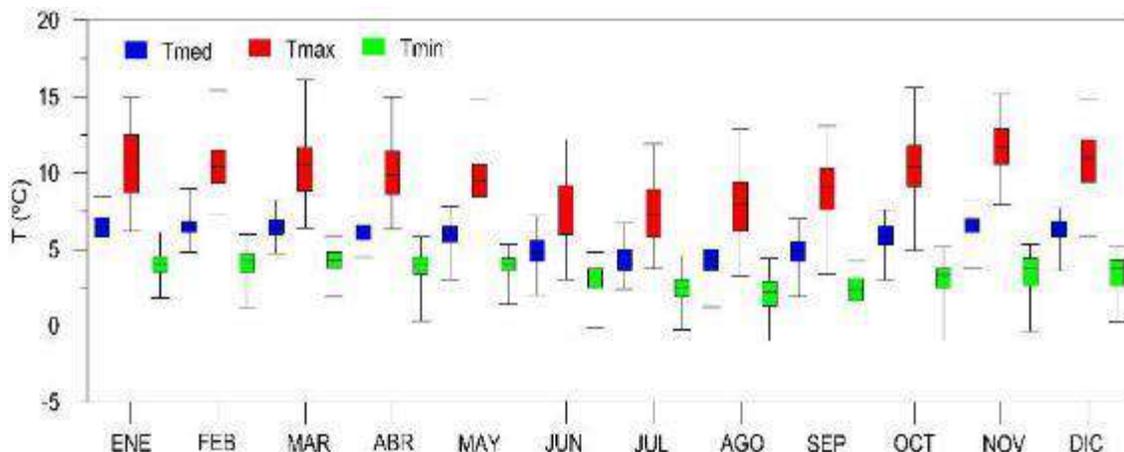
Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL010, ubicada en Calluancay (unidad hidrográfica Rumiguaycu), cuenta con mediciones de temperatura entre el 2012 y el 2016. En promedio, la temperatura media es 5,69 °C, con un valor promedio de máximas de 14,3 °C y un promedio de mínimas de 0,3 °C (Tabla 6-15). Hay poca estacionalidad de temperatura, con valores levemente más bajos entre junio y agosto (Figura 6-15). La climatología de temperatura es similar a la estación de referencia PLL003 debido a la alta correlación existente entre esta y todas las estaciones locales.

**Tabla 6-15 Temperatura Estación PLL010 (2012-2016)**

Nombre de la Estación: Calluancay													
Temperatura (°C)													
Series de Datos (2012-2016)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Media	6,44	6,46	6,43	6,16	5,96	4,79	4,29	4,26	4,83	5,85	6,53	6,27	5,69
Mínimo	1,8	1,1	1,9	0,3	1,4	-0,1	-0,3	-1	0	-1	-0,4	0,2	0,3
Máximo	14,9	15,4	16,1	15	14,8	12,2	11,9	12,9	13,1	15,6	15,2	14,8	14,3

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-15 Diagrama de Cajas de Temperatura Media, Máxima y Mínima Diaria Clasificada por Meses Estación PLL010 (2005-2015\*)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

### Humedad Relativa

La estación M0141, ubicada en El Labrado, cuenta con mediciones de humedad relativa entre 1963 y el 2014. En promedio, la humedad relativa es 89,46 % (Tabla 6-16). Hay muy poca variabilidad en el año, con valores de humedad promedio siempre cercanos al 90 %, los meses con valores ligeramente menores son octubre, noviembre y diciembre (Tabla 6-16). La estación M0141 cuenta solamente con mediciones de humedad promedio, por lo que no se muestran máximos y mínimos en la tabla, a diferencia de lo mostrado para humedad en las otras estaciones.

**Tabla 6-16 Humedad Estación M0141 (1963-2014)**

Nombre de la Estación: El Labrado													
Humedad Relativa (%)													
Series de Datos (1964-2019)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Promedio	88,54	89,72	89,76	90,24	90,70	91,41	91,64	90,20	89,64	87,39	86,45	87,80	89,46

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINECDPMECUADOR SA, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL003, ubicada en Zhurucay (unidad hidrográfica Cristal), cuenta con mediciones de humedad relativa entre 2011 y el 2019. Los datos faltantes fueron rellenos utilizando una correlación con la estación PLL010, con valores de  $R^2 = 0,94$  y la ecuación  $PLL003 = 0,9053 * PLL010 + 9,3406$ . Los datos entre 2005 y 2011 fueron extendidos utilizando una correlación con la estación PLL009, con  $R^2 = 0,93$  y la ecuación  $PLL003 = 1,1343 * PLL009 - 14,517$ . En promedio, la humedad relativa es 90,95 %, el promedio de las máximas es 100 % y el promedio de las mínimas es 25,10 % (Tabla 6-17). Hay muy poca variabilidad en el año en humedad relativa promedio con valores siempre cercanos al 90 %, la humedad máxima es 100 % para todos los meses, la humedad mínima muestra más variabilidad, con mínimos en mayo y otro entre octubre y diciembre (Figura 6-16). Los valores mínimo y máximo mostrados en la tabla son el mínimo y máximo absoluto para cada mes en el periodo de medición. Se hizo el cálculo de esta manera debido a que, al ser estas condiciones extremas, cualquier diseño que se haga debe considerar estos valores de humedad relativa en el rango. Esto se hizo para todas las estaciones.

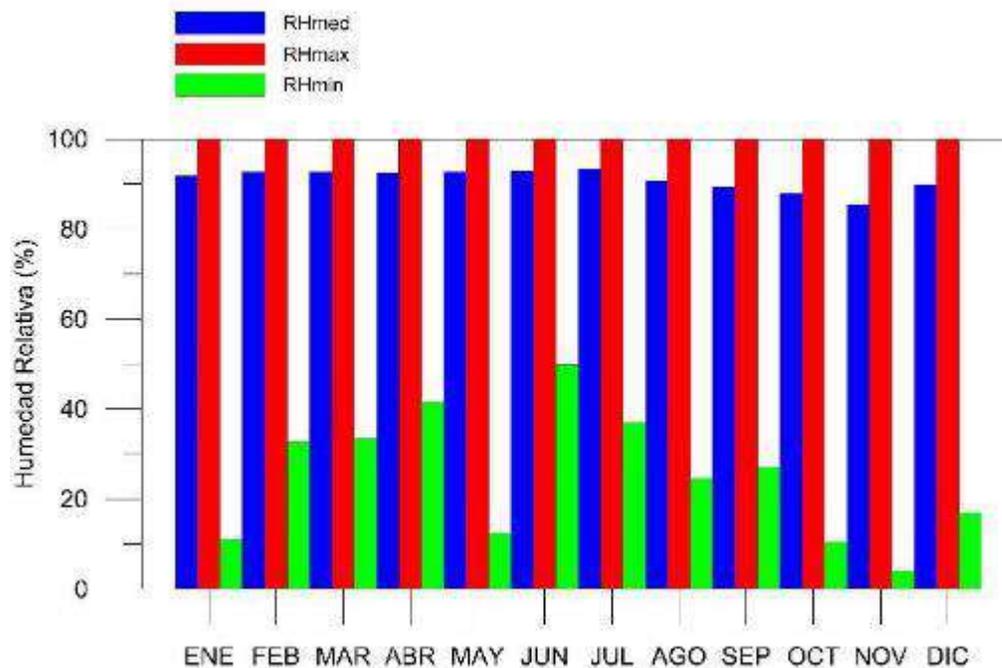
**Tabla 6-17 Humedad Estación PLL003 (2005-2019\*)**

Nombre de la Estación: Zhurucay													
Humedad Relativa (%)													
Series de Datos (2005-2019*)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Promedio	91,77	92,60	92,58	92,48	92,63	92,89	93,26	90,70	89,36	87,90	85,43	89,83	90,95
Mínimo	11,08	32,69	33,47	41,60	12,40	49,86	37,01	24,54	27,19	10,41	3,93	16,97	25,10
Máximo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00

\*Los datos de máxima y mínima están disponibles entre 2011-2018

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019

Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-16 Histograma de Humedad Relativa de la Estación PLL003 (2005-2019\*)**

\*Los datos de máxima y mínima están disponibles entre 2011-2018

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019

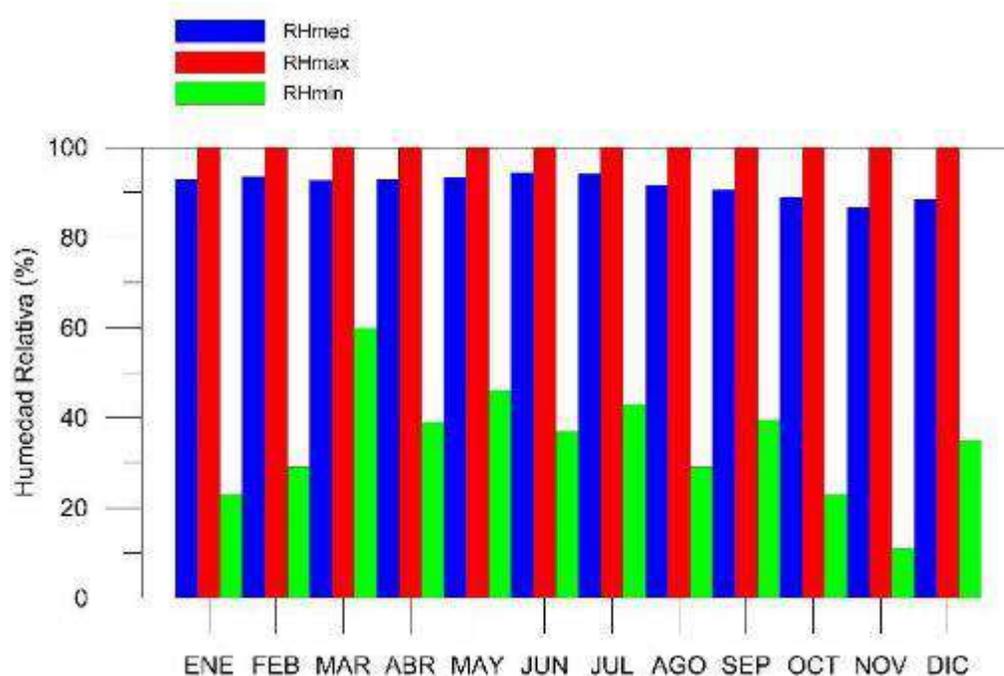
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL009, ubicada en Quimsacocha (unidad hidrográfica Quinuahuaycu), cuenta con mediciones de humedad relativa entre 2005 y el 2015. En promedio, la humedad relativa es 91,66 %, el promedio de las máximas es 100 % y el promedio de las mínimas es 33,52 % (Tabla 6-18). Hay muy poca variabilidad en el año en humedad relativa promedio con valores siempre cercanos a 90 %; la humedad máxima es 100 % para todos los meses; la humedad mínima muestra más variabilidad, con valores más altos entre marzo y julio (Figura 6-17). La climatología de humedad relativa es similar a la estación de referencia PLL003 debido a la alta correlación existente entre esta y todas las estaciones locales.

**Tabla 6-18 Humedad Estación PLL009 (2005-2015\*)**

<b>Nombre de la Estación: Quimsacocha1</b>													
<b>Humedad Relativa (%)</b>													
<b>Serie de Datos (2005-2015*)</b>													
	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Med</b>
Promedio	92,97	93,41	92,69	92,96	93,22	94,3	94,16	91,51	90,57	89,04	86,64	88,45	91,66
Mínimo	15,56	49,65	52,39	19,80	60,23	52,67	39,65	27,79	28,65	14,67	23,32	17,83	33,52
Máximo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
*Los datos de máxima y mínima están disponibles entre 2005-2008													

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-17 Histograma de Humedad Relativa de la Estación PLL009 (2005-2015\*)**

\*Los datos de máxima y mínima están disponibles entre 2005-2008

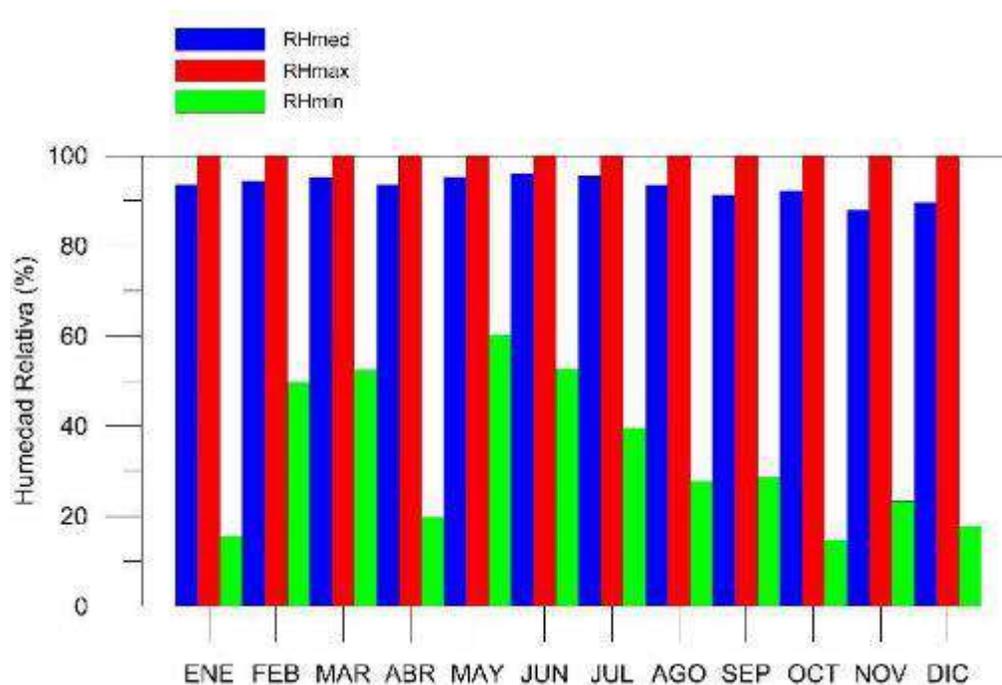
Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL010, ubicada en Calluancay (unidad hidrográfica Rumiguaycu), cuenta con mediciones de humedad relativa entre 2012 y el 2016. En promedio, la humedad relativa es 93,14 %, el promedio de las máximas es 100 % y el promedio de las mínimas es 30,96 % (Tabla 6-19). Hay muy poca variabilidad en el año en humedad relativa promedio con valores siempre cercanos a 90 %; la humedad máxima es 100 % para todos los meses; la humedad mínima muestra más variabilidad, con valores más bajos en abril y entre octubre y enero (Figura 6-18). La climatología de humedad relativa es similar a la estación de referencia PLL003 debido a la alta correlación existente entre esta y todas las estaciones locales.

**Tabla 6-19 Humedad Estación PLL010 (2012-2016)**

Nombre de la Estación: Calluancay													
Humedad Relativa (%)													
Series de Datos (2012-2016)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Promedio	93,48	94,27	95,13	93,59	95,2	95,97	95,59	93,4	91,28	92,24	87,98	89,6	93,14
Mínimo	23,00	29,00	60,00	39,00	46,00	37,00	0,00	29,00	39,50	23,00	11,00	35,00	30,96
Máximo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-18 Histograma de Humedad Relativa de la Estación PLL010 (2012-2016)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

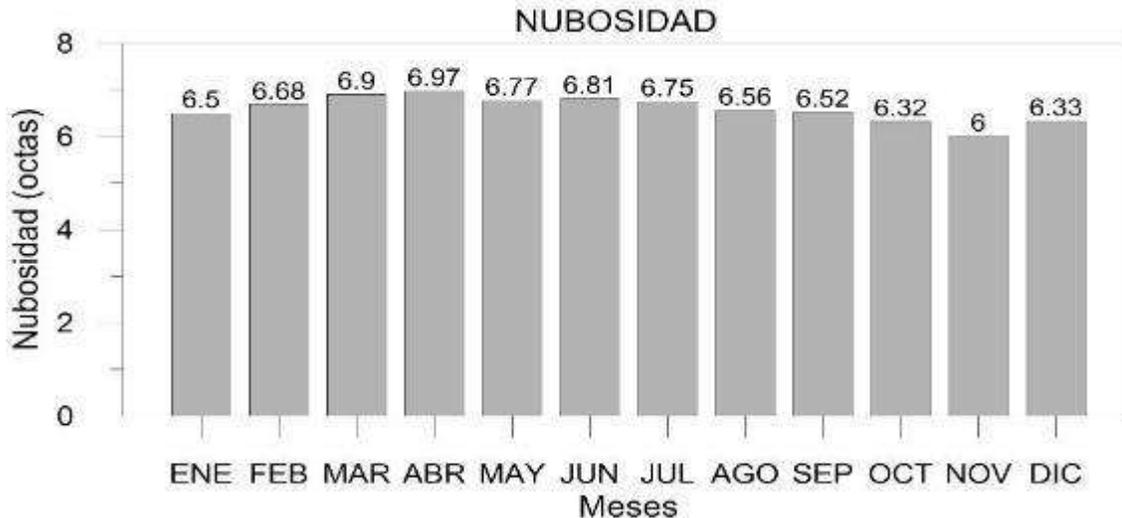
### Nubosidad y Radiación Solar

La estación M0141 cuenta con valores de nubosidad entre 1982 y el 2014, medidos en octas. El promedio es 6,59 (Tabla 6-20). Los valores mensuales no varían considerablemente en el año, se observan valores ligeramente menores entre octubre y diciembre (Figura 6-19). Esto coincide con lo observado en la estación de referencia local, PLL003, en donde se advierten valores máximos de radiación en noviembre, que se corresponden con el mínimo de nubosidad observado.

**Tabla 6-20 Nubosidad Estación M0141 (1982-2014)**

<b>Nombre de la Estación: El Labrado</b>												
<b>Nubosidad (octas)</b>												
<b>Serie de Datos (1982-2014)</b>												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
6,5	6,68	6,9	6,97	6,77	6,81	6,75	6,56	6,52	6,32	6	6,33	6,59

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-19 Histograma de Nubosidad de la Estación M0141 (1982-2014)**

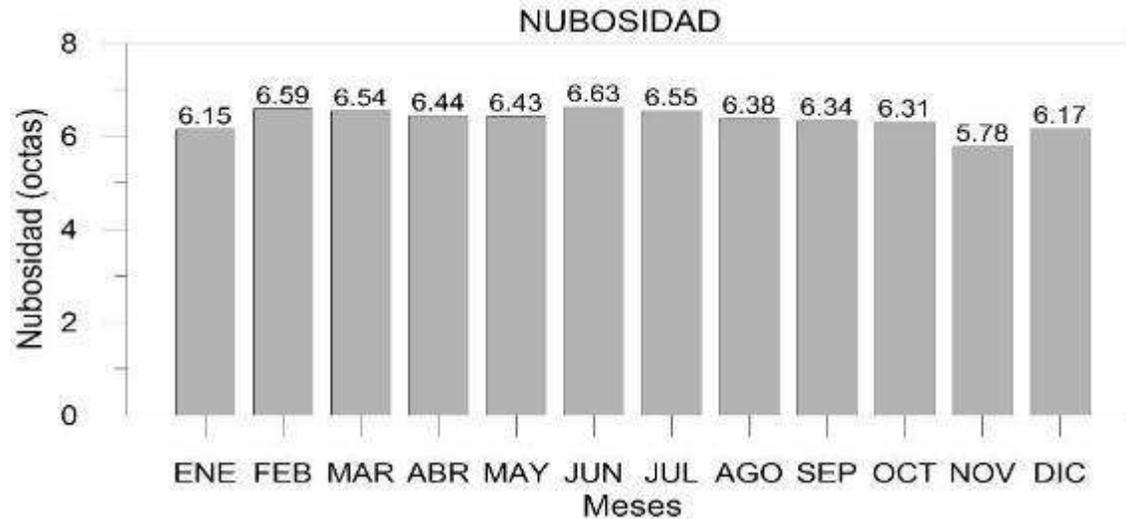
Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación M1111 cuenta con valores de nubosidad entre el 2000 y el 2014 medidos en octas. El promedio es 6,36 (Tabla 6-21). Los valores mensuales no varían considerablemente en el año, se observan valores ligeramente menores en noviembre (Figura 6-20). Esto coincide con lo observado en la estación de referencia local, PLL003, en donde se advierten valores máximos de radiación en noviembre, que se corresponden con el mínimo de nubosidad observado.

**Tabla 6-21 Nubosidad Estación M1111 (2000-2014)**

<b>Nombre de la Estación: Chanlud</b>												
<b>Nubosidad (octas)</b>												
<b>Serie de Datos (2000-2014)</b>												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
6,15	6,59	6,54	6,44	6,43	6,63	6,55	6,38	6,34	6,31	5,78	6,17	6,36

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-20 Histograma de Nubosidad de la Estación M1111 (2000-2014)**

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

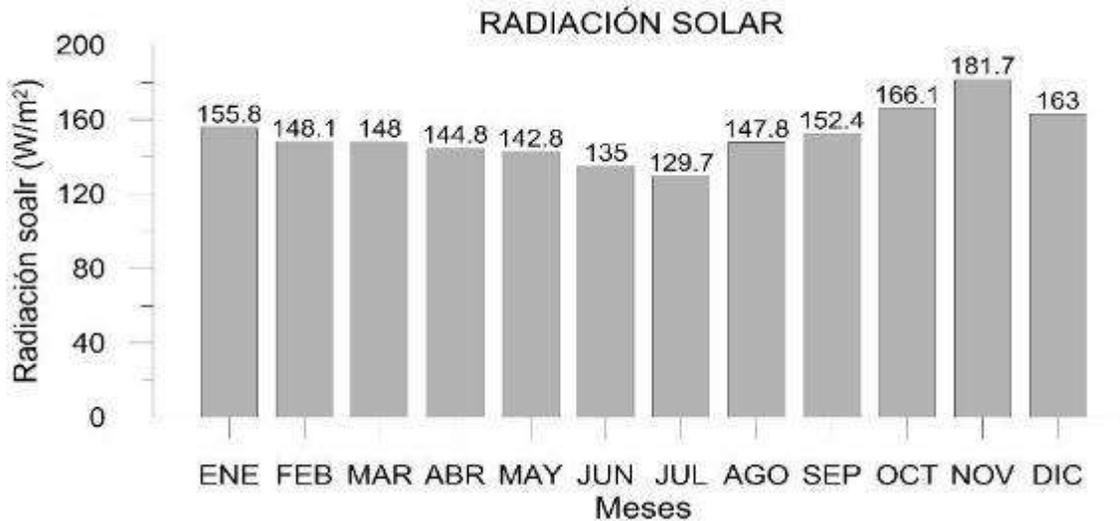
La estación PLL003 no tiene observaciones de nubosidad y heliofanía debido a que cuenta con mediciones de Radiación Solar entre 2011 y 2019. Los datos faltantes fueron rellenados utilizando la estación PLL010 con  $R^2 = 0,55$  y  $PLL003 = 1,1929*PLL010 - 0,0528$ . Los datos entre 2005 y 2011 fueron extendidos utilizando PLL009, con  $R^2 = 0,82$  y la ecuación  $PLL003 = 0,9058*PLL009 + 0,0315$ . Más detalles constan en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos, y en la base de datos (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.6 Base de Datos Climatología).

El valor promedio es  $151,25 \text{ W/m}^2$  (Tabla 6-22). No se observa una estacionalidad pronunciada en esta variable, aunque hay un mínimo centrado en julio y un máximo centrado en noviembre (Figura 6-21).

**Tabla 6-22 Radiación Solar Estación PLL003 (2005-2019)**

<b>Nombre de la Estación: Zhurucay</b>												
<b>Radiación Solar (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>												
<b>Serie de Datos (2005-2019)</b>												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
155,77	148,09	148,02	144,78	142,75	134,99	129,65	147,84	152,36	166,08	181,68	162,97	151,25

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-21 Histograma de Radiación Solar de la Estación PLL003 (2005-2019)**

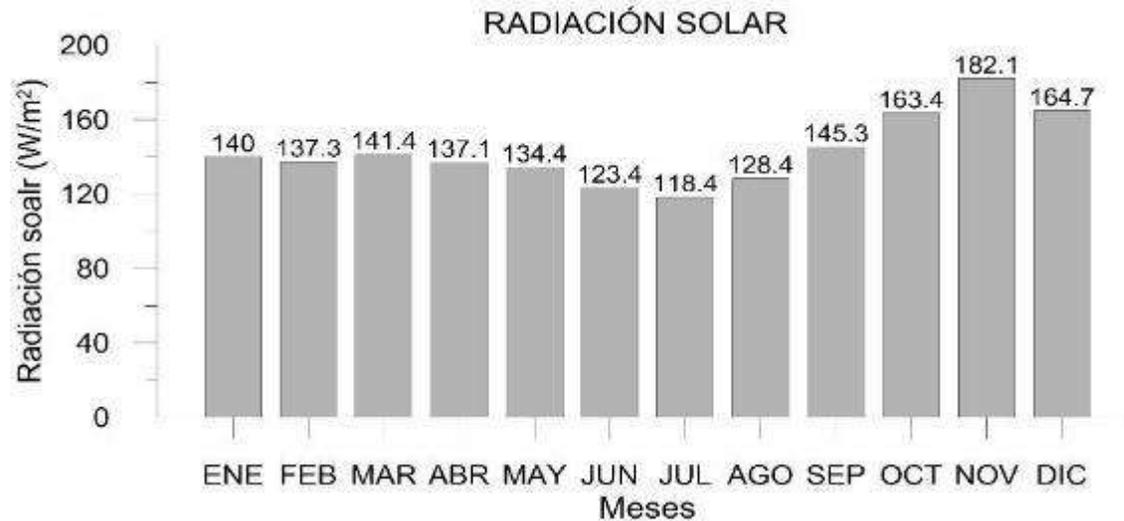
Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL009 también cuenta con mediciones de radiación solar entre 2005 y 2015. El valor promedio es 143 W/m<sup>2</sup> (Tabla 6-23). No se observa una estacionalidad pronunciada en esta variable, aunque hay un mínimo centrado en julio y un máximo centrado en noviembre (Figura 6-22). Estos valores y esta estacionalidad son similares a los observados en la estación PLL003.

**Tabla 6-23 Radiación Solar Estación PLL009 (2005-2015)**

Nombre de la Estación: Quimsacocha1												
Radiación Solar (W/m <sup>2</sup> )												
Series de Datos (2005-2015)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
140,01	137,35	141,36	137,08	134,42	123,41	118,41	128,4	145,33	163,44	182,08	164,73	143,00

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-22 Histograma de Radiación Solar de la Estación PLL009 (2005-2015)**

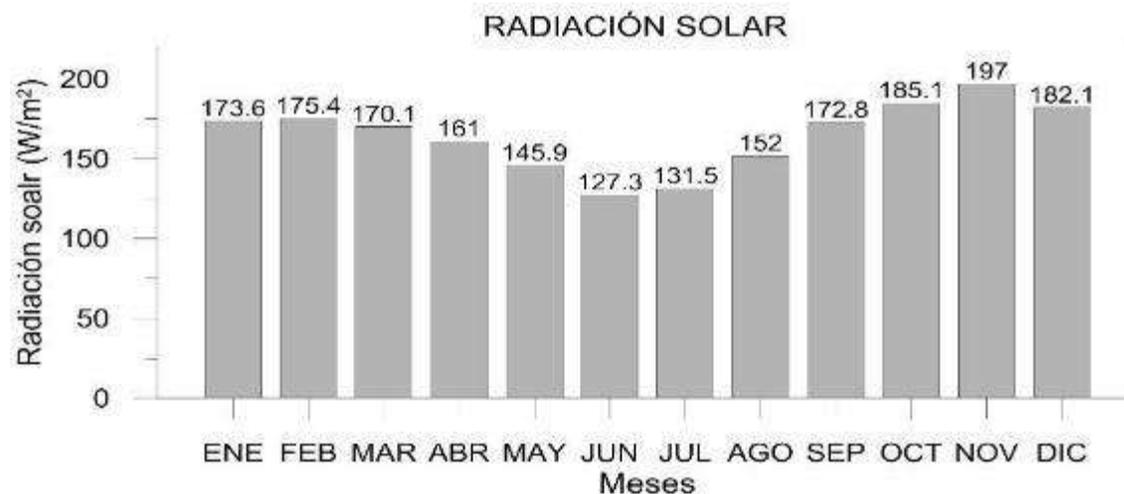
Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINECDPMECUADOR SA, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL010 cuenta con mediciones de radiación solar entre 2012 y 2016. El valor promedio es 164,49 W/m<sup>2</sup> (Tabla 6-24). No se observa una estacionalidad pronunciada en esta variable, aunque hay un mínimo centrado en junio y un máximo centrado en noviembre (Figura 6-23). Estos valores y esta estacionalidad son similares a los observados en la estación PLL003.

**Tabla 6-24 Radiación Solar Estación PLL010 (2012-2016)**

Nombre de la Estación: Calluacay												
Radiación Solar (W/m <sup>2</sup> )												
Series de Datos (2012-2016)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
173,61	175,41	170,13	161,04	145,87	127,31	131,47	151,97	172,84	185,07	196,98	182,12	164,49

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



### Figura 6-23 Histograma de Radiación Solar de la Estación PLL010 (2012-2016)

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

#### Velocidad y Dirección del Viento

Los datos de velocidad del viento solo están disponibles en las estaciones locales, sin embargo, datos de esta variable de las estaciones regionales no serían útiles debido a que es una variable que tiene un comportamiento gobernado no solamente por la climatología a gran escala, sino muy fuertemente también por condiciones locales (por ej.: topografía, rugosidad, vegetación, orientación de los valles). Debido a esto, es adecuado el análisis con datos de las estaciones locales. Datos de dirección del viento están mayormente disponibles en la estación PLL003, gracias a la ubicación de la estación, que está cerca de las cumbres más altas; estos datos son representativos de la zona del Proyecto.

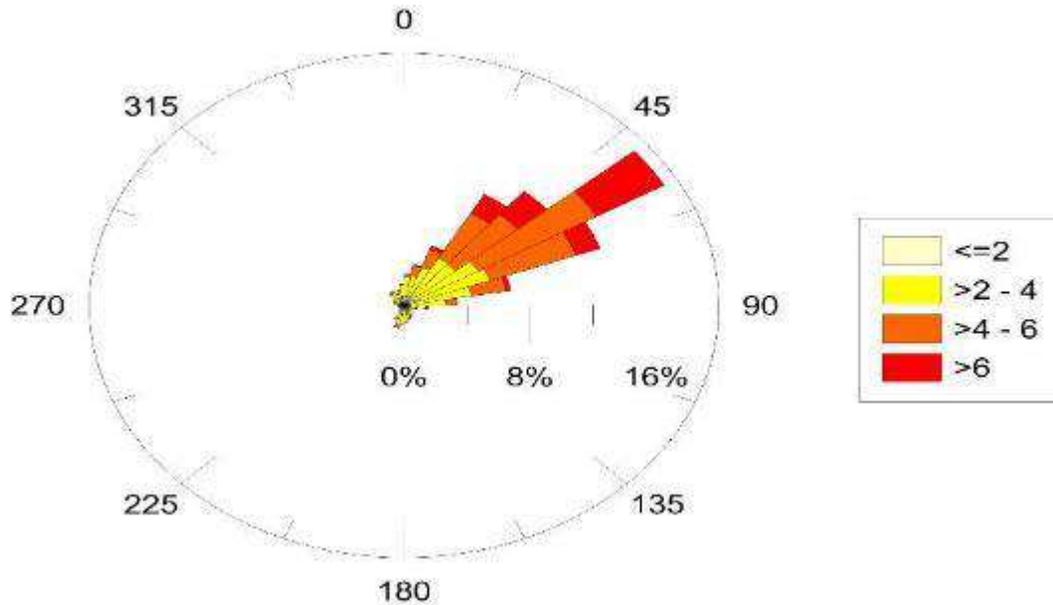
La estación PLL003 cuenta con datos de velocidad y dirección del viento entre 2011 y 2019. Los datos faltantes fueron rellenos utilizando la estación PLL010, con  $R^2 = 0,79$  y la ecuación  $PLL003 = 0,4439*PLL010 + 0,7285$ . Los datos se extendieron entre 2005 y 2011 con la estación PLL009 que está muy cercana a la estación PLL003,  $R^2 = 0,69$  y  $PLL003 = 0,5662*PLL009 + 1,2758$ . Más detalles constan en el Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.8 Ecuaciones, periodos de relleno y extensión de datos.

El promedio anual de la velocidad el viento es de 3,66 m/s. Hay una estacionalidad con velocidades de viento más altas registradas entre junio y septiembre (Tabla 6-25). En la rosa de los vientos de la estación PLL003 se puede observar que hay una dirección predominante del viento proveniente del noreste (Figura 6-24).

Tabla 6-25 Velocidad del Viento Estación PLL003 (2005 -2019)

<b>Nombre de la Estación: Zhurucay</b>												
<b>Velocidad del Viento (m/s)</b>												
<b>Series de datos (2005-2019)</b>												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
3,35	3,12	3,09	3,24	3,48	4,3	4,8	4,74	4,31	3,22	2,96	3,26	3,66
1kt = 0,514791 m/s = 1,85325												

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-24 Rosa de los Vientos Estación PLL003 (2005-2019)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019

Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL009 cuenta con datos de velocidad del viento entre 2005 y 2015. El promedio anual es 4,26 m/s (Tabla 6-26). Se observa una estacionalidad con valores más altos que en el resto del año, y mayores a 5 m/s entre junio y septiembre (Figura 6-25).

**Tabla 6-26 Velocidad del viento Estación PLL009 (2005-2015)**

<b>Nombre de la Estación: Quimsacocha1</b>												
<b>Velocidad del Viento (m/s)</b>												
<b>Series de datos (2005-2015)</b>												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
4,08	3,54	3,45	3,6	4,12	5,06	5,92	5,41	5,12	3,69	3,48	3,65	4,26
1kt = 0,514791 m/s = 1,85325												

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016

Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-25 Histograma de Velocidad del Viento de la Estación PLL009 (2005-2015)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

La estación PLL010 cuenta con datos de velocidad del viento entre 2012 y 2016. El promedio anual es 7,08 m/s (Tabla 6-27). Se observa una estacionalidad con valores más altos que en el resto del año, y mayores a 8 m/s entre junio y septiembre (Figura 6-26).

**Tabla 6-27 Velocidad del Viento Estación PLL010 (2012 -2016)**

<b>Nombre de la Estación: Calluacay</b>												
<b>Velocidad del Viento (m/s)</b>												
<b>Serie de datos (2012-2016)</b>												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
6,16	6,1	5,43	5,96	7,08	8,88	9,64	9,08	8,15	5,79	5,58	7,09	7,08
1kt = 0,514791 m/s = 1,85325												

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-26 Histograma de Velocidad del Viento de la Estación PLL010 (2012-2016)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

### Evapotranspiración Potencial (ETP) y de Referencia (ET)

La estación M1111 cuenta con mediciones de ETP para el periodo comprendido entre el 2001 y el 2012; esta variable es medida utilizando un tanque evaporímetro. El promedio anual es de 57,48 mm/mes (Tabla 6-28). La estacionalidad de esta variable está caracterizada por un mínimo centrado en junio (Figura 6-27).

**Tabla 6-28 Evapotranspiración Potencial Estación M1111 (2001-2012)**

<b>Nombre de la Estación: Chanlud</b>														
<b>Evapotranspiración (mm)</b>														
<b>Series de Datos (2001-2012)</b>														
	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Med</b>	<b>Total</b>
Promedio	65,63	56,25	56,38	50,35	51,83	40,9	52,33	52,48	54,3	66,9	70,44	71,99	57,48	689,78

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-27 Histograma de Evapotranspiración Potencial de la Estación M1111 (2001-2012)**

Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos 1964-2019

Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

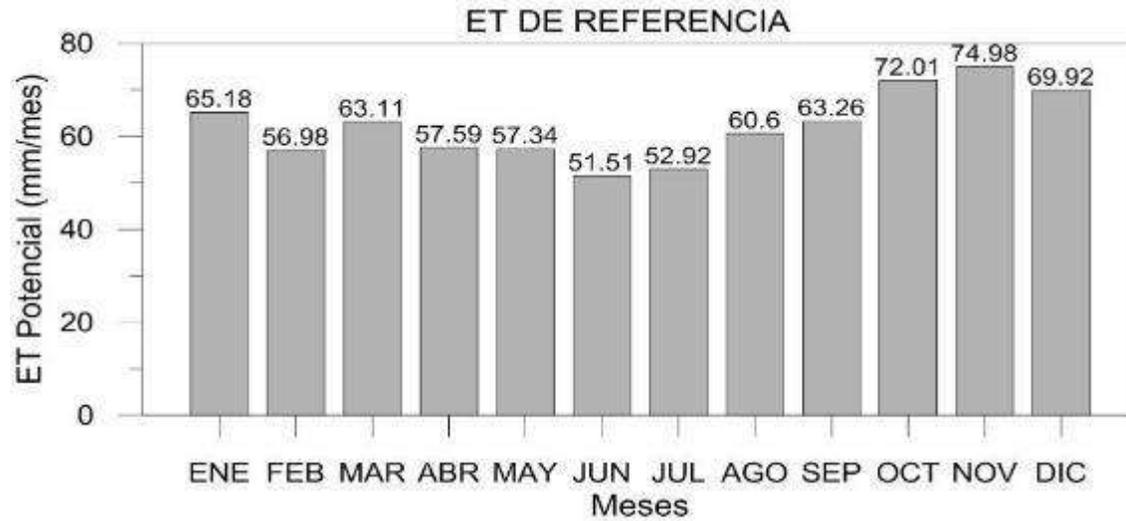
La estación PLL003 cuenta con mediciones que permiten calcular la ET de referencia para el periodo comprendido entre 1964 y el 2019. Como se detalló en la sección de metodología en lo referente a extensión y relleno de datos, para el periodo previo al 2005, donde se cuenta solamente con datos de temperatura, se utilizó el método de Thornthwaite para el cálculo de la ET de referencia; el método está descrito en Sentelhas et al. (2010). Entre 2005 y 2019, que se cuenta con todas las variables disponibles, se utilizó el método de Penman-Monteith, detallado en el documento FAO 56 (Allen et al., 1998). El promedio anual es de 62,12 mm/mes (Tabla 6-29). La estacionalidad de esta variable está caracterizada por un mínimo centrado en junio (Figura 6-28).

**Tabla 6-29 Evapotranspiración de Referencia Estación PLL003 (1964-2019)**

Nombre de la Estación: Zhurucay														
Evapotranspiración (mm)														
Series de Datos (1964-2019)														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med	Total
Promedio	65,18	56,98	63,11	57,59	57,34	51,51	52,92	60,60	63,26	72,01	74,98	69,92	62,12	745,40

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019

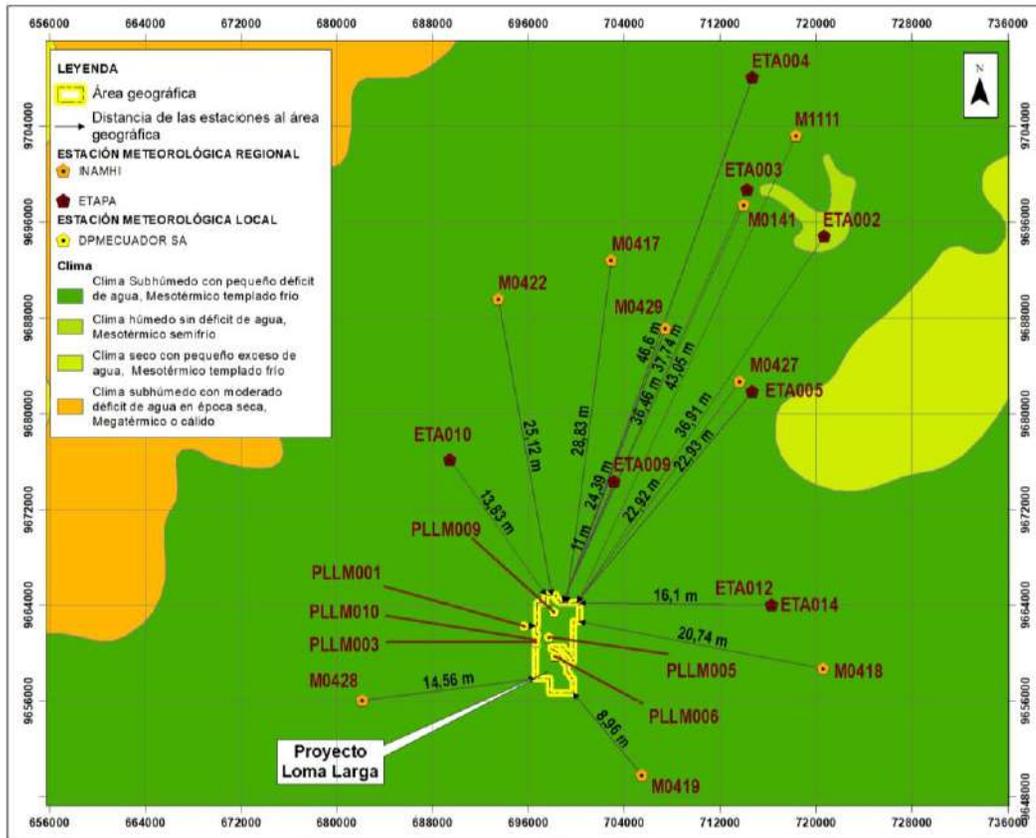
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020



**Figura 6-28 Histograma de Evapotranspiración de Referencia de la Estación PLL003 (1982-2019)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de Datos de Clima, 2005-2016. iDRHICA Base de Datos de Clima, 2010-2019  
Elaboración: Mario Córdova, julio 2020

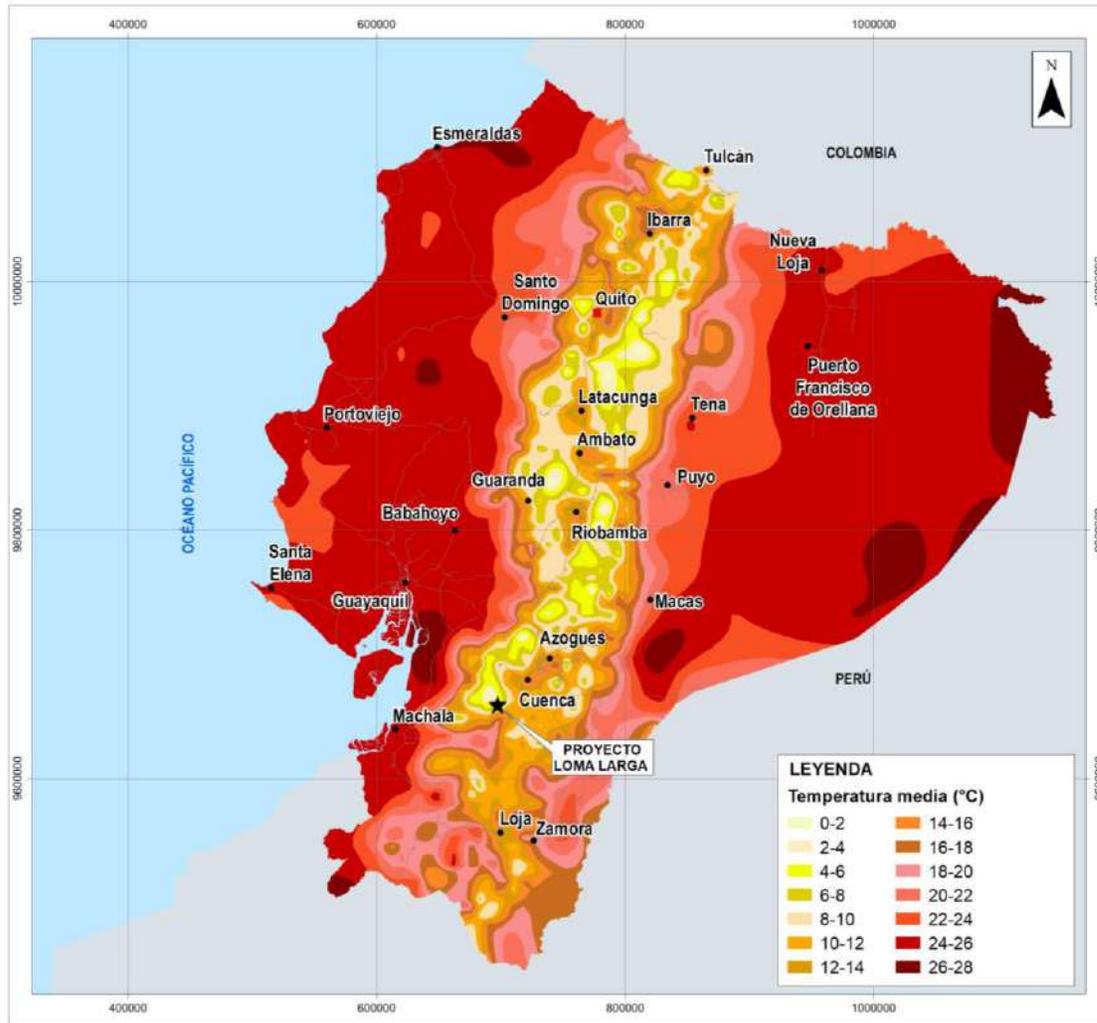
## Clasificación Climática



**Figura 6-29 Tipos de Clima**

Fuente: Mapa de Tipos de Clima del Ecuador, INAMHI, escala 1:100 000, 2017  
 Elaboración: Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-1-A Tipos de Clima).

El tipo de clima correspondiente a la zona, según el mapa de tipos de clima del INAMHI, que es realizado utilizando la clasificación climática según Thornthwaite que tiene su origen en la clasificación de Köppen, es Clima Subhúmedo con pequeño déficit de agua-Mesotérmico templado frío (Figura 6-29). De acuerdo con lo observado en la estación PLL003 considerada como la más representativa de la zona, la temperatura de todos los meses es menor a 10° (Tabla 6-13). Utilizando el criterio de Köppen, se identifica que la zona corresponde a un tipo de Clima E: clima polar o hecostotérmico, caracterizado por el hecho de que la temperatura del mes más cálido es menor a 10 °C. Específicamente, es un clima ETH: clima alpino, debido a que la vegetación es predominantemente de hierbas, la temperatura del mes más cálido está entre 0 y 10 °C, y es un clima correspondiente a una región alta de montaña (Köppen, 2011).

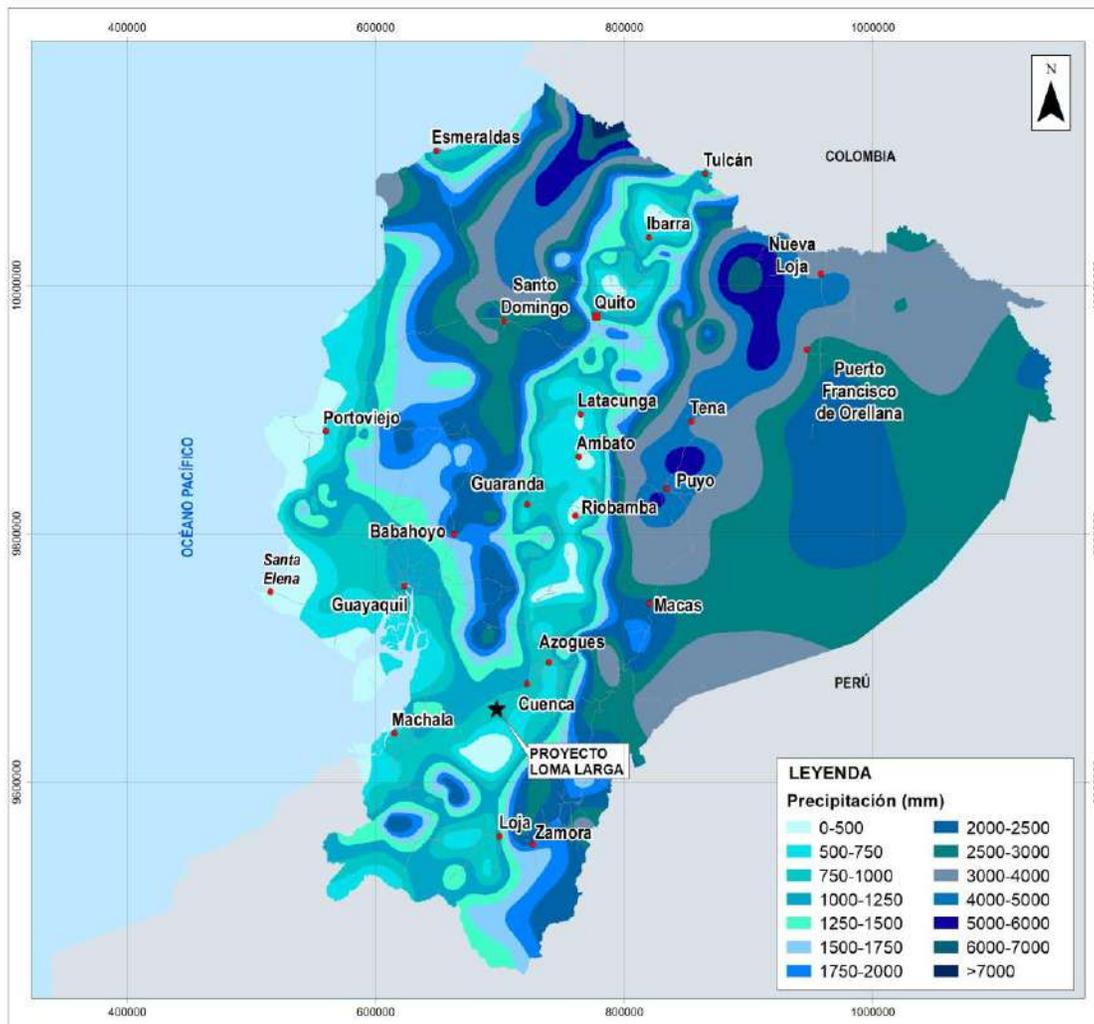


**Figura 6-30 Isotermas**

Fuente: INAMHI, Escala 1:100 000, 2017

Elaboración: Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-1-C Isoterma).

Según el mapa de isotermas del INAMHI, el Proyecto está ubicado sobre una zona cuya temperatura está entre 12,91 y 16,67 °C. Sin embargo, la temperatura promedio anual observada en la estación PLL003, considera 7,01 °C como referencia para la zona. Por esto, las isotermas del INAMHI sobrestiman la temperatura de la zona.



**Figura 6-31 Isoyetas**

Fuente: INAMHI, Escala 1:100 000, 2017  
Elaboración: Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-1-D Isoyetas).

Según el mapa de isoyetas del INAMHI, el Proyecto está ubicado sobre una zona cuya precipitación anual está entre 880,7 y 979,2 mm. Esto coincide con lo observado en la estación PLL003, en donde la precipitación anual es 902,6 mm.

### 6.1.1.1.3 Conclusiones

En general, se determinó que la estación PLL003 Zhurucay es representativa del clima de la zona del Proyecto debido a la buena correlación obtenida en las distintas variables con las estaciones locales, que es causa de la ubicación de la estación en una zona de cumbre, lo que hace que el clima registrado en el sitio sea representativo de las condiciones de la zona, y significa, además, que no hay mucha variabilidad

entre los registros de las estaciones locales. Adicionalmente, el hecho de tener una buena correlación con estaciones regionales demuestra que los valores están bien medidos y siguen la dinámica de precipitación regional validando la información local usada para este estudio y las demás secciones del EsIA. Se cuenta con datos para la estación dentro de un periodo mayor a 10 años para todas las variables, lo que permite concluir que estos datos son representativos del clima del lugar. Todas las regresiones utilizadas en el estudio para relleno y extensión de datos fueron por lo menos aceptables ( $R^2 > 0,5$ ), y casi todas las regresiones entre las estaciones locales fueron buenas ( $R^2 > 0,7$ ).

La precipitación anual para esta estación es de 902,66 mm, con dos épocas lluviosas: la primera, entre febrero y mayo, y la segunda, entre octubre y diciembre, además de una relativamente seca entre agosto y septiembre, lo que coincide con varias publicaciones científicas realizadas en la zona (Padrón et al., 2020, 2015). (Padrón et al., 2020, 2015). Adicionalmente las estaciones muestran una estacionalidad de la precipitación poco marcada lo cual coincide con lo descrito por Célleri et al (2007) para las estaciones de páramo de la cuenca del río Paute. (Célleri, Willems, Buytaer, & Feyen, 2007) La temperatura promedio es de 7,01 °C, y puede fluctuar entre -3 °C y cerca de los 17 °C; la temperatura muestra una estacionalidad leve con valores mínimos entre junio y agosto que coinciden con la época seca. La humedad relativa promedio es alta, con valores cercanos al 90 % durante todo el año, sin embargo, en la humedad relativa mínima se reconoce una relación con la época seca y también con valores bajos entre octubre y noviembre, que coincide con los valores máximos de radiación en la zona. La radiación solar tiene baja estacionalidad, pero se observa un valor máximo centrado en noviembre, que coincide con los mínimos de humedad relativa registrados en la zona. El viento en la región está caracterizado por máximos en el periodo seco, es decir, entre junio y septiembre, además de tener una prevalencia los vientos que soplan desde el noreste. Estos registros climáticos coinciden con publicaciones científicas realizadas en la zona (Carrillo-Rojas et al., 2019, 2016; Córdova et al., 2015). Finalmente, la ET de referencia es de 62,12 mm/mes en promedio, también se observa un mínimo en la época seca entre junio y julio, lo cual coincide con un estudio publicado en la zona (Córdova et al., 2015).

De acuerdo con la clasificación del INAMHI, el tipo de clima es “subhúmedo con pequeño déficit de agua-Mesotérmico templado frío.” La clasificación basada en los datos medidos en la zona corresponde a “clima alpino”. El mapa de isotermas sobrestima la temperatura de la zona por más de 5 °C, y el mapa de isoyetas coincide con lo observado en la zona.

### **6.1.1.2 Ruido Ambiental**

#### **6.1.1.2.1 Metodología**

El Acuerdo Ministerial 097-A (en adelante, A.M. 097-A) dentro del Anexo V, emite los niveles máximos de emisión de ruido y la metodología a aplicarse para la medición para fuentes fijas y móviles; el objetivo del texto es preservar la salud y bienestar de las personas y del medio ambiente, estableciendo diferentes directrices y lineamientos que permiten realizar el monitoreo de los niveles de presión sonora, además de establecer niveles máximos permisibles de ruido.

Sobre la base de:

- > Plan de Desarrollo Cantonal y Ordenamiento Territorial de San Gerardo (GAD San Gerardo, 2015), se definen las categorías de ordenación del terreno: Área minera
- > Tomo 2: Propuesta, Modelo Estratégico de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT Cuenca, 2015) se define el Uso de Suelo: rural, Nivel de Uso: **conservación** y Categoría de Ordenación: **Espacios naturales de importancia ecológica previstos para proyectos estratégicos por el Estado a la concesión minera Loma Larga Quimsacocha** (actualmente proyecto estratégico Loma Larga, cuyo titular minero es DPMECUADOR SA). En el Anexo A. Documentos Legales, A.62, se adjunta la Certificación de proyecto estratégico.

En función de lo cual se aplican las siguientes metodologías:

- > Industrial (ID1/ID2) y agrícola residencial (AR) en el área del campamento Pinos y localidades del área de influencia del PLL. La información que se hace referencia a continuación corresponde al PMA de la fase de exploración avanzada del PLL y ha sido incluida en los informes trimestrales de cumplimiento ambiental de las áreas mineras Cerro Casco y Río Falso, y Cristal; presentados al entonces llamado MAE desde el 2015 hasta el 2020. Para el caso de uso de suelo industrial (ID1/ID2), según el A.M. 097-A, Anexo 5, los valores de los niveles máximos permisibles de emisión sonora para el horario diurno son de 65 dB y nocturno de 55 dB; mientras que, para el caso de uso de suelo agrícola residencial, los límites son de 65 dB y 45 dB para horario diurno y nocturno respectivamente. Para estos usos del suelo se utilizó el método Leq 15s para medir el ruido total y el residual, que se basó en tomar y reportar cinco mediciones de quince segundos cada una, en horario diurno (desde las 07:01 hasta las 21:00) y nocturno (desde las 21:01 hasta las 07:00) en cada estación de monitoreo. El ruido emitido por la fuente emisora es fluctuante, por lo que se ha empleado el método indicado debido a que abarca la mayor cantidad de variaciones de ruido. En el Anexo 5 del A.M. 097-A existen diferentes consideraciones al momento de muestrear fuentes fijas de ruido, y se especifica que para que los datos sean válidos es necesario que la diferencia entre los valores extremos (NPS mínimo y el NPS máximo) sea menor o igual a 4 dB. Con la finalidad de validar los niveles de ruido durante las mediciones y facilitar el análisis, se reportó el NPS mínimo (L<sub>Amin</sub>) y el NPS máximo (L<sub>Amax</sub>) medidos de cada muestreo. Con estos parámetros se procedió a calcular el L<sub>Keq</sub> (Nivel de Presión Sonora Equivalente Corregido) para el caso de ruido específico con características impulsivas y con contenido energético alto en frecuencias bajas.
  
- > Protección ecológica y recursos naturales del Estado en la zona de la rampa, en un muestreo en el 2020. La zona del inicio de la rampa ha sido considerada como la que más emisión de ruido provocará durante las distintas etapas del PLL. La metodología se seleccionó en función de los protocolos establecidos en el A.M. 097-A, Anexo 5, tanto para el horario diurno como nocturno. Este protocolo indica la necesidad de establecer como mínimo un punto de medición y las muestras deben tener una duración de 15 minutos, por lo tanto, cada hora tendrá cuatro muestras y en 24 horas habrá un total de 96 muestras en el horario diurno (desde las 07:01 hasta las 21:00) y nocturno (desde las 21:01 hasta las 07:00). En este sentido, durante julio de 2020, para el sitio de rampa, se realizó un estudio del nivel de ruido ambiental natural; este muestreo fue realizado por Gruentec Cía. Ltda. Para cada muestra se registraron los valores de los siguientes parámetros acústicos: LA<sub>eq</sub>, LA<sub>90</sub>, LA<sub>10</sub>, L<sub>Amax</sub> y L<sub>Amin</sub>. La Autoridad Ambiental pertinente será la encargada de establecer los límites de nivel de presión sonora en función de los resultados que se muestran en el Anexo I. Estudios Complementarios, I.3 Informe de Ruido Existente, donde se presenta la Determinación de Nivel de Ruido Ambiental Existente y Solicitud de Nivel de Fondo, con base en la aplicación de la Metodología para la Determinación del Nivel Máximo de Emisión de Ruido en Uso de Suelo Protección Ecológica (PE) y Recurso Natural (RN) establecida en el Anexo 5 del AM 097-A, y que se detalla en el presente informe. Se considera que un nivel máximo de ruido de LA 90 + 10 dB es adecuado y recomendable en consideración de los potenciales receptores del área y las actividades del Proyecto. En este sentido, los valores sugeridos para el nivel máximo de emisión de ruido son: **LA 90 (dB) Diurno: 48 dB** (38 dB definidos como ruido natural existente + 10 dB de corrección), y **LA 90 (dB) Nocturno: 39 dB** (29 dB definidos como ruido natural existente + 10 dB de corrección). El A.M. 097-A establece que la Autoridad Ambiental se encargará de definir los límites máximos permisibles de presión sonora, de acuerdo con la explicación que se presenta en la Tabla 6-30, las dos fórmulas se aplican, tanto para el horario diurno como nocturno. Para el actual estudio, se usó esta metodología, y dentro de las conclusiones se establece, a manera de sugerencia, el nivel más permisible para este caso.

**Tabla 6-30 Determinación de LKeq para Usos de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales**

Periodo Diurno		Comentarios
LKeq		
LA90 más bajo medido durante el periodo día más corrección (dB):	Corrección (dB)	La Autoridad Ambiental Nacional determinará la corrección más apropiada dependiendo del caso, siendo:  LKeq = LA90 + 10 dB (es el nivel más permisible) LKeq = LA90 – 10 dB (es el nivel más restrictivo)
	10	
	5	
	0	
	-5	
	-10	
Periodo Nocturno		
LKeq		
LA90 más bajo medido durante el periodo día más corrección (dB):	Corrección (dB)	
	10	
	5	
	0	
	-5	
	-10	

Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4, del 4 de noviembre de 2015  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

#### 6.1.1.2.2 Equipos de Medición

El laboratorio encargado de realizar las mediciones, Gruentec Cía. Ltda., cuenta con la acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE LEN 05-008), al igual que los equipos necesarios para realizar el estudio, como exige la Norma de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 61672-1:2002.

Para verificar el correcto funcionamiento del sonómetro durante las mediciones, se utilizó un calibrador acústico apropiado para el sonómetro. En la Tabla 6-31, se describen las especificaciones de los equipos utilizados en el muestreo de 2015-2020, mientras que en la Tabla 6-32 se especifican los equipos manejados durante el estudio del 2020 para ruido ambiental. Tanto los equipos de medición de ruido como calibradores acústicos estuvieron en óptimas condiciones de funcionamiento y cuentan con los debidos certificados de calibración, emitidos por un laboratorio competente.

**Tabla 6-31 Equipos Utilizados durante el Muestreo 2015-2020 para Uso de Suelos Industrial y Agrícola Residencial**

Instrumento	Especificaciones
Sonómetro integrador Clase II	Marca: 3 M/Quest Pro. Modelo: Sound PRO SE_DL2. Serie: BGK80003
Calibrador acústico	Marca: Quest Technologies. Modelo: QC-10. Serie: QIH080033
Sonómetro integrador Clase II	Marca: 3 M/Quest Pro. Modelo: Sound PRO SE_DL. Serie: BIPO30007
Calibrador acústico	

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

**Tabla 6-32 Equipos Utilizados durante el Muestreo 2020 para Ruido Ambiental para Uso de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales el Estado**

Instrumento	Especificaciones
Sonómetro integrador Clase I	Marca: PCE-Instruments. Modelo: PCE-430. Serie: 576032
Calibrador acústico	Marca: PCE-Instruments. Modelo: PCE-SC-10. Serie: 566019

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

### 6.1.1.2.3 Procedimiento de Campo

#### Condiciones Ambientales

Con respecto al monitoreo del 2015-2020 para uso de los suelos industrial y agrícola residencial, la respectiva norma establece que las mediciones no deben efectuarse en condiciones adversas que puedan afectar el proceso de medición, por ejemplo: presencia de lluvias, truenos, etc., y solamente cuando la velocidad del viento sea igual o menor a 5 m/s. En la Tabla 6-33 se detallan los diferentes parámetros meteorológicos medidos *in situ* de cada monitoreo durante el 2015-2020.

**Tabla 6-33 Parámetros Meteorológicos Medidos *in situ* durante el Muestreo 2015-2020 para Uso de los Suelos Industrial y Agrícola Residencial**

Fecha	Descripción del Sitio de Muestreo	Coordenadas UTM Datum WGS84 Zona 17 Sur		Uso de Suelo	Condiciones Meteorológicas				
		Este (m)	Norte (m)		Lluvia	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Velocidad del Viento (m/s)	Presión Atmosférica (mb)
22-dic-15	Campamento Pinos (diurno)	697342	9658505	Industrial ID1/ID2	Ausencia				
29-jun-16					Ausencia	50,3	16,6	1,2	654,1
20-dic-16					Ausencia	94,6	7,3	1,6	655
21-jun-17					Ausencia	94,2	6,3	2,1	658
28-dic-17					Ausencia	92,7	9,2	3,1	664,3
27-jun-18					Ausencia	90,1	8,5	5	662,2
19-dic-18					Ausencia	92,5	7,3	1,6	639,9
3-jul-20					Ausencia	80,2	9	0,8	659,6
28-sep-18	Chumblín (diurno)	695261	9653869	Agrícola residencial (AR)	Ausencia	56,7	28,6	4,7	725,5
18-dic-18					Ausencia	81,5	15,6	0,8	737
28-sep-18	San Gerardo (diurno)	699925	9652883	Agrícola residencial (AR)	Ausencia	53,3	27,4	1,2	725,5
17-dic-18					Ausencia	59	23,4	0,7	765
29-jun-16	Campamento Pinos (nocturno)	697342	9658505	Industrial ID1/ID2	Ausencia	61,1	4,6	1,1	654,1
20-dic-16					Ausencia	95,8	6,2	1,5	657
21-jun-17					Ausencia	95,2	4,3	2,8	658,3
28-dic-17					Ausencia	95,4	4,6	3	664,8
27-jun-18					Ausencia	82,3	4,2	5	660,2
19-dic-18					Ausencia	94	5,7	0,6	638,5

Fecha	Descripción del Sitio de Muestreo	Coordenadas UTM Datum WGS84 Zona 17 Sur		Uso de Suelo	Condiciones Meteorológicas				
		Este (m)	Norte (m)		Lluvia	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Velocidad del Viento (m/s)	Presión Atmosférica (mb)
22-dic-15	Campamento Pinos (diurno)	697342	9658505	Industrial ID1/ID2	Ausencia				
29-jun-16					Ausencia	50,3	16,6	1,2	654,1
20-dic-16					Ausencia	94,6	7,3	1,6	655
21-jun-17					Ausencia	94,2	6,3	2,1	658
28-dic-17					Ausencia	92,7	9,2	3,1	664,3
27-jun-18					Ausencia	90,1	8,5	5	662,2
19-dic-18					Ausencia	92,5	7,3	1,6	639,9
3-jul-20					Ausencia	80,2	9	0,8	659,6
3-jul-20					Ausencia	95,5	6,9	1	658
28-sep-18	Chumblín (nocturno)	695261	9653869	Agrícola residencial (AR)	Ausencia	76,4	17,8	3,2	725,5
18-dic-18					Ausencia	93,5	11,6	<0,1	738
28-sep-18	San Gerardo (nocturno)	699925	9652883	Agrícola residencial (AR)	Ausencia	67,2	16,6	4,2	727,5
17-dic-18					Ausencia	98,6	10,5	<0,1	728

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

Para el muestreo de ruido natural en la rampa durante el 2020, para uso de suelo de Protección Ecológica (PE) y Recursos Naturales (RN) del Estado, la respectiva norma establece que las mediciones no deben efectuarse en condiciones adversas que puedan afectar el proceso de medición, por ejemplo: presencia de lluvias, truenos, etc. En la Tabla 6-34 se muestran las condiciones ambientales durante el muestreo efectuado el 2 de julio de 2020 en la rampa; se puede observar que existió contribución a la medición generada por la acción del viento durante las 24 horas de duración del muestreo.

**Tabla 6-34 Parámetros Meteorológicos Medidos *in situ* durante el Muestreo de 2 de Julio de 2020 para Uso de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales el Estado**

Hora (hh:mm)	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Dirección del Viento	Velocidad del Viento (m/s)	Presión Atmosférica (mB)	Observaciones
07:00	84	9	SW	3,2	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
07:15	84	8	SW	3,8	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
07:30	84	8	S	3,2	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
07:45	82	9	S	4,5	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
08:00	75	9	S	4,2	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición

Hora (hh:mm)	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Dirección del Viento	Velocidad del Viento (m/s)	Presión Atmosférica (mB)	Observaciones
08:15	73	10	S	4,1	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
08:30	73	11	SW	4,5	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
08:45	77	11	SW	4,5	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
09:00	74	13	SW	4,7	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
09:15	72	13	S	4,7	61	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
09:30	76	13	W	4,4	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
09:45	72	13	S	3,6	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
10:00	76	13	SW	4,5	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
10:15	74	13	S	3,1	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
10:30	99	6	N	4,4	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
10:45	75	13	S	3,8	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
11:00	72	14	S	4,2	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
11:15	71	14	S	3,8	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
11:30	65	10	W	4,4	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
11:45	78	14	S	4,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
12:00	76	14	W	4,9	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
12:15	80	15	E	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
12:30	77	15	SW	4,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
12:45	66	10	NW	4,8	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
13:00	82	15	S	4,9	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
13:15	83	15	E	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
13:30	84	15	S	3,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición

Hora (hh:mm)	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Dirección del Viento	Velocidad del Viento (m/s)	Presión Atmosférica (mB)	Observaciones
13:45	85	14	SW	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
14:00	85	13	SW	3,2	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
14:15	86	14	SE	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
14:30	63	1	NW	4,4	649	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
14:45	86	13	S	4,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
15:00	81	11	SW	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
15:15	83	12	SW	2,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
15:30	90	12	SW	2,1	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
15:45	89	12	E	2,8	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
16:00	89	11	S	3,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
16:15	90	10	SW	3,2	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
16:30	90	10	S	4,1	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
16:45	87	10	S	4,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
17:00	86	10	SE	3,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
17:15	86	8	SW	2,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
17:30	87	8	SW	1,8	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
17:45	86	9	SW	2,8	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
18:00	86	9	SW	4,2	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
18:01	86	9	S	2	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
18:30	86	5	S	2,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
18:45	86	4	SE	4,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
19:00	86	4	SW	3,8	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición

Hora (hh:mm)	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Dirección del Viento	Velocidad del Viento (m/s)	Presión Atmosférica (mB)	Observaciones
19:15	86	4	SW	3,8	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
19:30	86	4	S	3,2	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
19:45	86	4	SW	3,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
20:00	86	5	SW	2,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
20:15	99	5	NE	3,1	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
20:30	85	5	SW	4,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
20:45	88	5	S	1,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
21:00	89	5	SW	2,1	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
21:15	99	5	NW	2,7	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
21:30	99	5	N	3,4	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
21:45	88	5	E	3,4	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
22:00	89	5	S	3,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
22:15	90	5	W	2,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
22:30	99	5	NE	4,8	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
22:45	90	4	SW	4,5	653	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
23:00	90	4	SW	2,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
23:15	90	4	SW	4,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
23:30	89	4	SW	4,2	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
23:45	99	5	SW	4	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
00:00	99	5	N	3,1	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
00:15	99	5	N	4,8	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
00:30	99	5	N	4,8	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición

<b>Hora (hh:mm)</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Dirección del Viento</b>	<b>Velocidad del Viento (m/s)</b>	<b>Presión Atmosférica (mB)</b>	<b>Observaciones</b>
00:45	87	4	W	4,2	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
01:00	86	4	SW	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
01:15	99	5	NNE	3,4	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
01:30	99	5	N	4,8	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
01:45	86	1	S	3,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
02:00	86	3	SE	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
02:15	99	5	NW	1,7	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
02:30	99	5	N	1,7	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
02:45	99	5	N	1,7	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
03:00	99	5	N	2	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
03:15	99	5	NW	1,4	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
03:30	99	4	N	2,4	649	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
03:45	99	4	N	1,4	649	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
04:00	99	5	N	4,4	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
04:15	99	4	N	1,4	649	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
04:30	85	3	E	4,9	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
04:45	85	3	SE	4,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
05:00	85	3	E	4,9	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
05:15	85	4	SW	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
05:30	99	4	NW	4,1	650	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
05:45	85	6	SW	3,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
06:00	85	8	W	4,9	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición

Hora (hh:mm)	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Dirección del Viento	Velocidad del Viento (m/s)	Presión Atmosférica (mB)	Observaciones
06:15	85	8	W	3,8	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
06:30	84	9	SW	3,5	652	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición
06:45	84	9	SW	3,8	651	No se evidencian contribuciones adicionales de ruido a la medición

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, julio de 2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

### Ubicación del Sonómetro

El sonómetro estuvo colocado sobre un trípode y ubicado a una altura igual o superior a 1,5 m desde el suelo, direccionando el micrófono hacia la fuente, con una inclinación de 45° a 90°, sobre su plano horizontal. Las directrices indicadas cumplen con lo señalado en el A.M. 097-A en su Anexo 5. En la Figura 6-32 se observa el sonómetro ubicado sobre el trípode durante un monitoreo diurno en el campamento Pinos durante el 2019; la metodología aplicada fue la misma para todos los puntos de estudio en los dos horarios antes establecidos. Cabe recalcar que los señalamientos mencionados anteriormente se aplicaron para los dos tipos de monitoreo, durante 2015-2020 (para uso de suelos industrial y agrícola residencial) y en 2020 (para uso de suelo de protección ecológica y recursos naturales el Estado).



**Figura 6-32 Ubicación del Sonómetro**

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020, 2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

### Mediciones In Situ

Para el estudio desde el 2015 hasta 2020 (para uso de suelos industrial y agrícola residencial) se analizó el área de muestreo, con el objetivo de evaluar el comportamiento del ruido. Mediante la observación directa del *display* del sonómetro y el registro en una libreta de las fluctuaciones de nivel de presión sonora, durante un período de tiempo igual a un minuto (dentro del periodo total de 10 o 12 minutos), se determinó

si el ruido es estable (rango registrado en el minuto inferior o igual a 5 dB[A] Lento) o fluctuante (rango en el minuto superior a 5 dB[A] Lento). Los parámetros para la medición de ruido fueron:

#### Ruido Total

- > LASeq, t: Nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A del ruido total
- > LASeq, tp: Promedio de las muestras LASeq, t
- > LAmineq: Nivel mínimo de presión sonora continuo equivalente con ponderación A del ruido total
- > LAmaxeq: Nivel máximo de presión sonora continuo equivalente con ponderación A del ruido total

#### Ruido Residual

- > LASeq, r: Nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A del ruido residual
- > LASeq, rp: Promedio de las muestras LAeq, r.

Debido a que, durante el estudio del 2020, para uso de suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales del Estado se aplicó una metodología diferente, los parámetros medidos *in situ* registrados fueron un total de 96 muestras durante las 24 horas de muestreo en las tres fechas de muestreos. En cada una de ellas se realizó mediciones de los siguientes parámetros: LAeq, LA90, LA10, LAmáx y LAmín, como se indica en el A.M. 097-A del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental del Ministerio del Ambiente.

En cuanto al procedimiento para la determinación de cada parámetro acústico, el Laboratorio Ambiental Gruntec utilizó la siguiente metodología:

Los parámetros acústicos: LAeq, LA90, LA10, LAmáx y LAmín son determinados por el sonómetro mediante medición en campo.

Con los datos registrados se procede a ingresar en una hoja de cálculo que contiene las fórmulas para la determinación de cada parámetro, se aplica funciones como MIN (mínimo) y MAX (máximo) para determinación de los parámetros acústicos LAmín y LA MAX, LA 90 y LA10. Los cálculos se basan en lo establecidos en el A.M. 097-A, Anexo 5 que hace referencia al Anexo 4, Título: Metodología para determinar el LKeq en usos de suelo Protección Ecológica (PE) y Recursos Naturales (RN).

En cuanto al valor de LAeq, se obtiene sobre la base de lo establecido en el A.M. 097-A, Anexo 5 que hace referencia al Anexo 2, Título: Definiciones de acrónimos utilizados en los flujos 01, 02, 03 y 04.

- > LAeq diurno:

$$LAeq = 10 \log \left[ \frac{1}{n} * (10^{0.1Leq1} + 10^{0.1Leq2} + \dots + 10^{0.1Leq56}) \right]$$

- > LAeq nocturno:

$$LAeq = 10 \log \left[ \frac{1}{n} * (10^{0.1Leq1} + 10^{0.1Leq2} + \dots + 10^{0.1Leq40}) \right]$$

Los valores obtenidos mediante la utilización de las funciones establecidas en la Hoja de Cálculo una vez que se sistematiza los valores obtenidos por el sonómetro son reportados en los correspondientes informes de laboratorio.

#### **6.1.1.2.4 Puntos de Muestreo**

En la Tabla 6-35 se detalla la ubicación y los puntos de muestreo, así como sus respectivas coordenadas y una fotografía del lugar. Es necesario mencionar que el lugar en donde se implementarán las facilidades superficiales del PLL se trata de un ecosistema homogéneo, por lo que se consideró únicamente un punto de muestreo; alrededor no existen actividades de producción alguna y no se cuenta con la presencia de

edificaciones. Por otra parte, los sitios de Chumblín y San Gerardo corresponden a poblados cercanos que están fuera del Área Geográfica del PLL pero que se encuentran en su vía de acceso.

Página en blanco

**Tabla 6-35 Ubicación de los Puntos de Muestreo de Ruido durante el Periodo 2015-2020 para Uso de los Suelos Industrial y Agrícola Residencial**

Ubicación	Punto de Muestreo	Coordenadas UTM Datum WGS84 Zona 17 Sur		Fotografía
		Este (m)	Norte (m)	
Campamento Pinos	Campamento Pinos	697342,45	9658505,20	 <p>Fotografía de monitoreo correspondiente al 27 de junio de 2018</p>
Chumblín	Chumblín	695261,43	9653869,18	 <p>Fotografía de monitoreo correspondiente al 18 de diciembre de 2018</p>

Ubicación	Punto de Muestreo	Coordenadas UTM Datum WGS84 Zona 17 Sur		Fotografía
		Este (m)	Norte (m)	
San Gerardo	San Gerardo	699925,42	9652883,15	 <p>Fotografía de muestreo correspondiente al 17 de diciembre de 2018</p>

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2019  
 Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

**Tabla 6-36 Ubicación de Punto de Muestreo de Ruido durante el Periodo 2020 para Uso de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales el Estado**

Ubicación	Coordenadas UTM Datum WGS84 Zona 17 Sur		Fotografía
	Este (m)	Norte (m)	
Rampa	697538,48	9662535,16	 <p>Fotografía de muestreo diurno correspondiente al 2 de julio de 2020</p>

Fuente: Gruentec, reporte de laboratorio, 2020  
 Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

#### 6.1.1.2.5 Análisis de Resultados

##### Uso de los Suelos Industrial y Agrícola Residencial

Para este estudio los valores del nivel de emisión de ruido en horario diurno para los puntos de muestreo se registraron por debajo de los niveles máximos de emisión de ruido diurno para el uso de suelo tipo industrial (65 dB) y para agrícola residencial (65 dB). En horario nocturno, se registraron por debajo de los niveles máximos de emisión de ruido nocturno para el uso de suelo tipo industrial (55 dB) y para agrícola residencial (45 dB). Los resultados se expresan en la Tabla 6-37.

Página en blanco

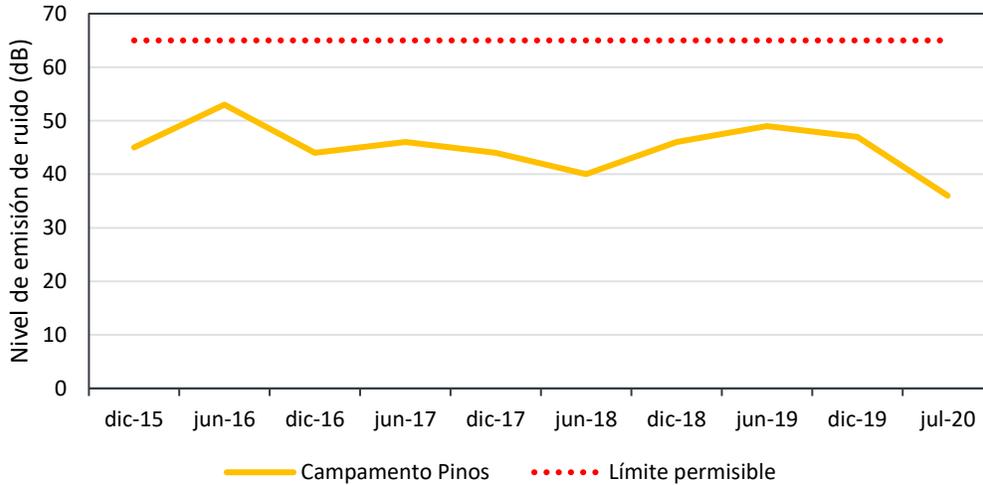
**Tabla 6-37 Niveles de Ruido durante el Muestreo de 2015 hasta 2020**

Descripción del Sitio de Muestreo	Coordenadas de ubicación (WGS84 Zona 17 Sur)		Fecha	Horario	Uso de Suelo	Ruido de Fondo (dB)	Resultado Promedio (dB)	Límite Permisible (dB)	Cumplimiento de la Normativa
	Este (m)	Norte (m)							
Campamento Pinos	697342,45	9658505,15	22/12/2015	Diurno	Industrial ID1/ID2	45	45	65	Sí cumple con normativa ecuatoriana
			29/6/2016			53			
			20/12/2016			44			
			21/6/2017			46			
			28/12/2017			44			
			27/6/2018			40			
			19/12/2018			46			
			29/6/2019			49			
			21/12/2019			47			
3/7/2020	36								
Chumblín	695261,42	9653869,18	28/9/2018		Agrícola residencial (AR)	44	42.5		
18/12/2018			41						
San Gerardo	699925,42	9652883,15	28/9/2018		Agrícola residencial (AR)	42	38		
			17/12/2018			34			
Campamento Pinos	697342,45	9658505,15	22/12/2015	Nocturno	Industrial ID1/ID2	45	44	55	
			29/6/2016			51			
			20/12/2016			45			
			21/6/2017			46			
			28/12/2017			44			
			27/6/2018			39			
			19/12/2018			41			
			29/6/2019			44			
21/12/2019	45								

Descripción del Sitio de Muestreo	Coordenadas de ubicación (WGS84 Zona 17 Sur)		Fecha	Horario	Uso de Suelo	Ruido de Fondo (dB)	Resultado Promedio (dB)	Límite Permisible (dB)	Cumplimiento de la Normativa
	Este (m)	Norte (m)							
			3/7/2020			37			
Chumblín	695261,42	9653869,18	28/9/2018		Agrícola residencial (AR)	41	42	45	
			18/12/2018			43			
San Gerardo	699925,42	9652883,15	28/9/2018		Agrícola residencial (AR)	44	40.5		
			17/12/2018			37			

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020  
 Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

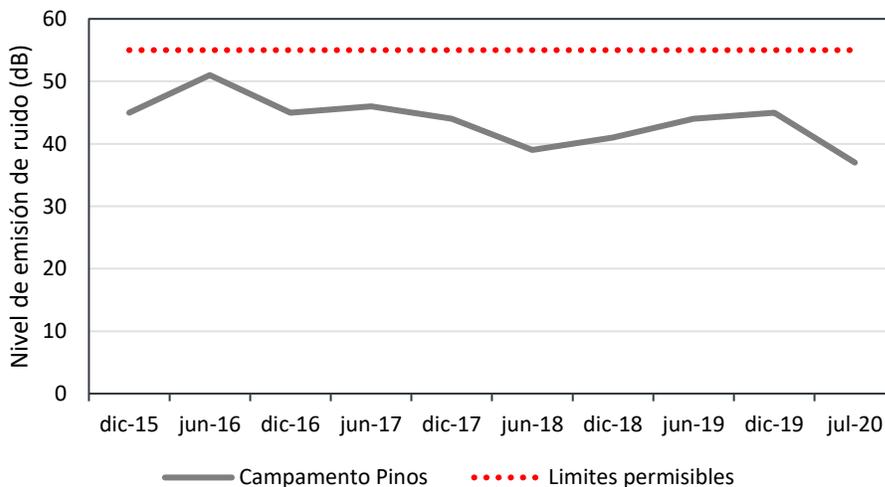
Con respecto al campamento Pinos, durante el muestreo diurno, existen niveles de presión sonora que varían de 36 dB (julio de 2020) a 53 dB (junio de 2016), mientras que la media es de 45 dB y la mediana es igual 45,5 dB; el 2019 presenta los registros más altos, mientras que durante el 2017 se registró valores por debajo de la media establecida. Los registros puntuales considerados en la línea base se presentan en la Figura 6-33, durante el monitoreo diurno en el campamento Pinos.



**Figura 6-33 Comportamiento Diurno de Presión Sonora en Campamento Pinos**

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

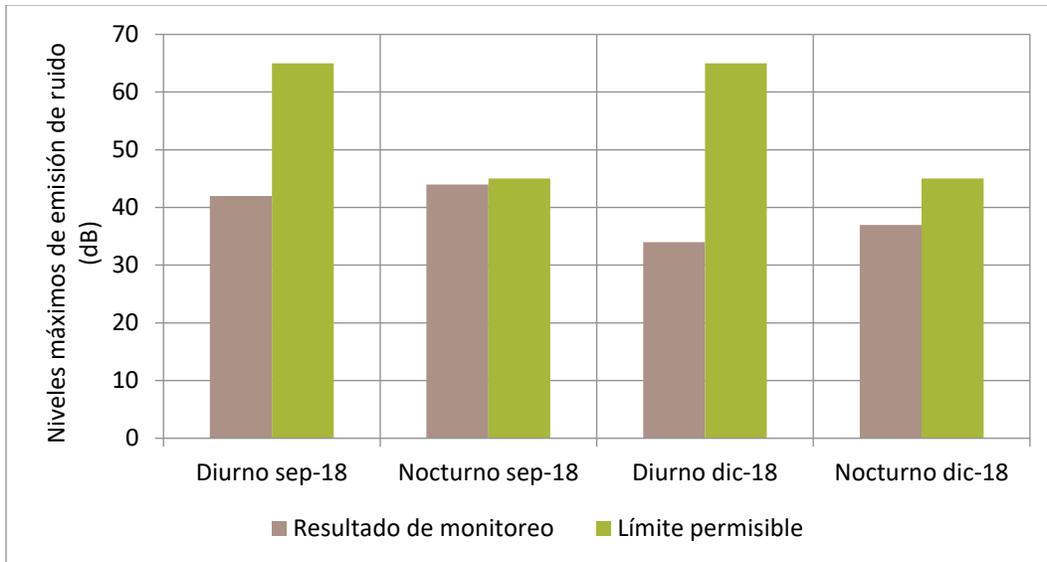
Los resultados durante el muestreo nocturno en el campamento Pinos se encuentran entre 37 dB (julio de 2020) y 51 dB (junio de 2016), el promedio de los niveles de emisión de ruido es de 43,7 dB y el valor de la mediana de 44,5 dB; en el 2016 se presentan los valores más altos, mientras que para el 2018 los niveles más bajos. Los registros puntuales considerados en la línea base se presentan en la Figura 6-34, durante el horario nocturno en el campamento Pinos.



**Figura 6-34 Comportamiento Nocturno de Presión Sonora en Campamento Pinos**

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020  
Elaboración: Danilo Mejía

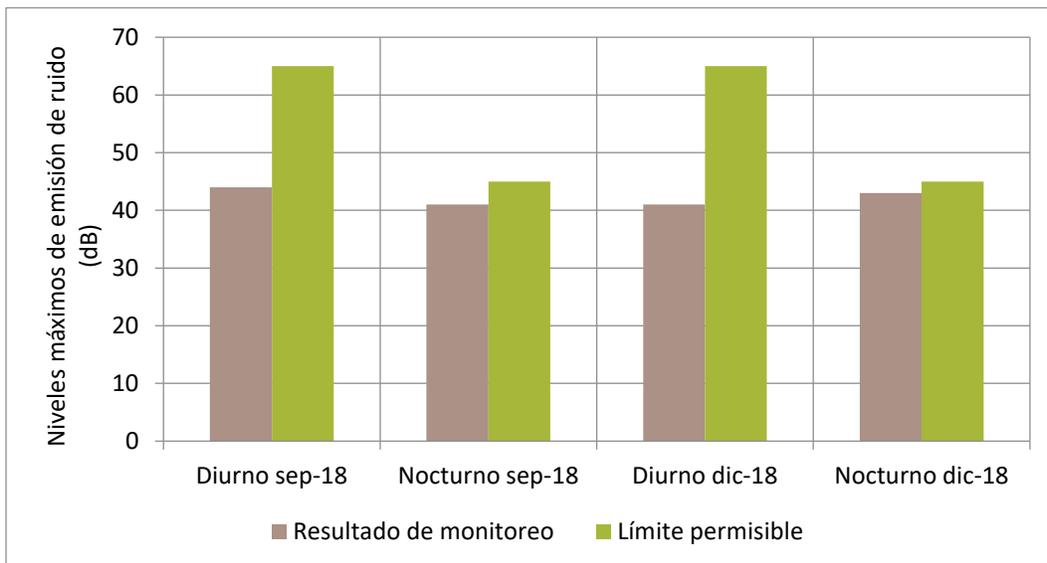
En el muestreo realizado en San Gerardo; los resultados demuestran que los niveles de presión sonora en los cuatro casos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa ecuatoriana. En la Figura 6-35 se observan los niveles de decibeles muestreados en las fechas correspondientes y punto de estudio.



**Figura 6-35 Comportamiento Nocturno de Presión Sonora San Gerardo**

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

En la Figura 6-36 se visibilizan los resultados del muestreo realizado en Chumblín, que demuestran que los niveles de presión sonora en los cuatro casos correspondientes se encuentran dentro de los niveles máximos de emisión de ruido establecidos en la normativa ecuatoriana.



**Figura 6-36 Comportamiento Nocturno de Presión Sonora Chumblín**

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

### Uso de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales del Estado

En la Tabla 6-38 se detallan los resultados de las 96 mediciones durante el muestreo de 24 horas en el área de la rampa en julio 2020, donde LA90 mínimo diurno es de 38 dB, mientras que LA90 mínimo nocturno es de 29 dB. Asimismo, estos datos servirán para determinar un límite máximo de emisión de ruido en este uso de suelo, basándose en lo establecido en el A.M. 097-A, Anexo 4, Metodología para la Determinación del Nivel Máximo de Emisión de Ruido (LKeq) en Usos de Suelo PE Y RN, en su Tabla 3. Para esto, la Autoridad Ambiental nacional determinará la corrección otorgando como máximo 10 dB a los valores mínimos de LA90 diurnos y nocturnos registrados en el muestreo.

**Tabla 6-38 Resultados de las 96 Muestras en el Área de la Rampa durante Julio de 2020**

Hora	Laeq	LA90	LA10	Lamax	Lamin
07:00	54	43	57	63	<27
07:15	51	39	55	61	<27
07:30	55	46	59	64	30
07:45	58	52	61	66	35
08:00	58	52	61	65	33
08:15	57	51	60	64	36
08:30	58	52	61	65	35
08:45	57	48	60	64	35
09:00	58	49	62	72	45
09:15	62	51	66	73	45
09:30	62	51	66	75	45
09:45	61	52	64	75	45
10:00	59	46	63	75	41
10:15	59	46	62	75	41
10:30	53	47	56	62	38
10:45	59	46	61	75	41
11:00	59	47	62	75	42
11:15	59	47	62	74	41
11:30	53	40	56	58	33
11:45	60	47	63	78	41
12:00	59	45	62	78	40
12:15	59	45	62	78	40
12:30	59	46	62	78	40
12:45	51	39	55	57	34
13:00	58	46	62	78	42
13:15	60	47	62	84	40
13:30	60	47	62	84	40
13:45	60	47	62	82	42
14:00	59	45	64	81	42

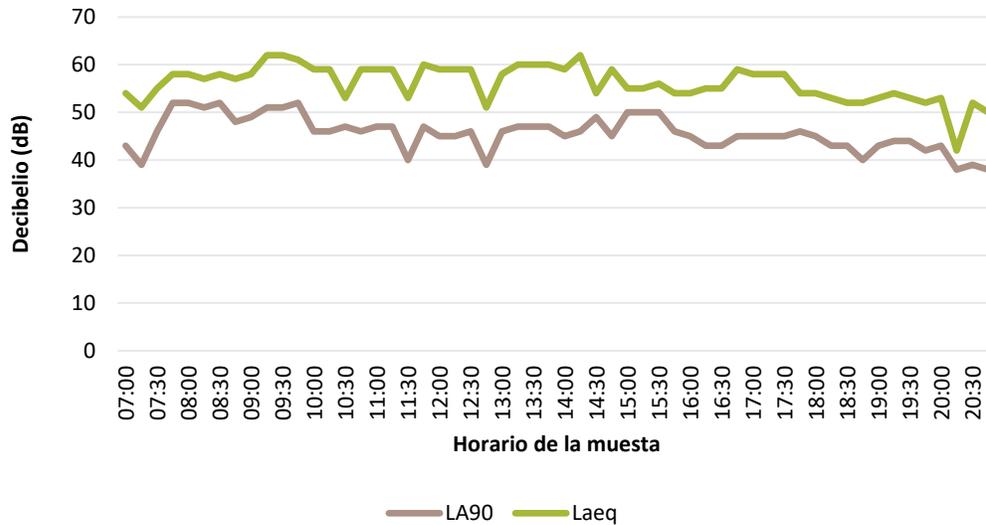
Estudio de Impacto Ambiental del Área Operativa del Proyecto Minero Loma Larga conformado por las Áreas Mineras Cerro Casco (Código 101580), Río Falso (Código 101577) y Cristal (Código 102195) para las Fases de Explotación y Beneficio de Minerales Metálicos bajo el régimen de Gran Minería

Hora	Laeq	LA90	LA10	Lamax	Lamin
14:15	62	46	66	72	43
14:30	54	49	56	58	43
14:45	59	45	64	72	42
15:00	55	50	58	64	47
15:15	55	50	58	64	44
15:30	56	50	58	64	44
15:45	54	46	58	64	44
16:00	54	45	58	64	41
16:15	55	43	58	64	41
16:30	55	43	59	68	41
16:45	59	45	64	66	39
17:00	58	45	61	67	39
17:15	58	45	59	67	37
17:30	58	45	59	65	37
17:45	54	46	57	64	35
18:00	54	45	58	64	35
18:01	53	43	57	64	37
18:30	52	43	57	62	34
18:45	52	40	56	62	32
19:00	53	43	57	61	29
19:15	54	44	58	60	28
19:30	53	44	56	59	29
19:45	52	42	56	61	<27
20:00	53	43	57	76	27
20:15	42	38	45	47	36
20:30	52	39	56	62	<27
20:45	50	38	55	60	<27
21:00	50	36	54	61	<27
21:15	43	36	45	47	30
21:30	65	45	70	75	39
21:45	49	35	53	60	<27
22:00	49	31	54	61	<27
22:15	42	37	53	60	<27
22:30	46	40	48	56	36
22:45	52	40	56	62	<27
23:00	51	35	56	61	<27
23:15	49	33	53	60	<27

<b>Hora</b>	<b>Laeq</b>	<b>LA90</b>	<b>LA10</b>	<b>Lamax</b>	<b>Lamin</b>
23:30	46	30	51	58	<27
23:45	54	30	53	70	29
00:00	38	31	41	45	29
00:15	42	34	46	49	31
00:30	45	39	48	51	37
00:45	47	30	52	59	<27
01:00	50	36	55	61	<27
01:15	49	40	52	54	36
01:30	46	43	49	50	38
01:45	47	37	51	59	<27
02:00	47	32	51	57	<27
02:15	43	37	46	48	35
02:30	37	31	41	45	29
02:45	54	33	59	65	29
03:00	41	38	43	44	37
03:15	40	39	41	43	37
03:30	40	35	42	48	32
03:45	44	40	47	51	38
04:00	39	37	40	41	37
04:15	43	41	44	46	40
04:30	47	29	51	59	<27
04:45	47	29	51	58	<27
05:00	46	31	51	59	<27
05:15	48	36	53	59	<27
05:30	40	33	44	46	28
05:45	51	36	55	61	<27
06:00	50	37	54	59	<27
06:15	51	39	55	61	<27
06:30	51	36	55	61	<27
06:45	53	44	57	62	30

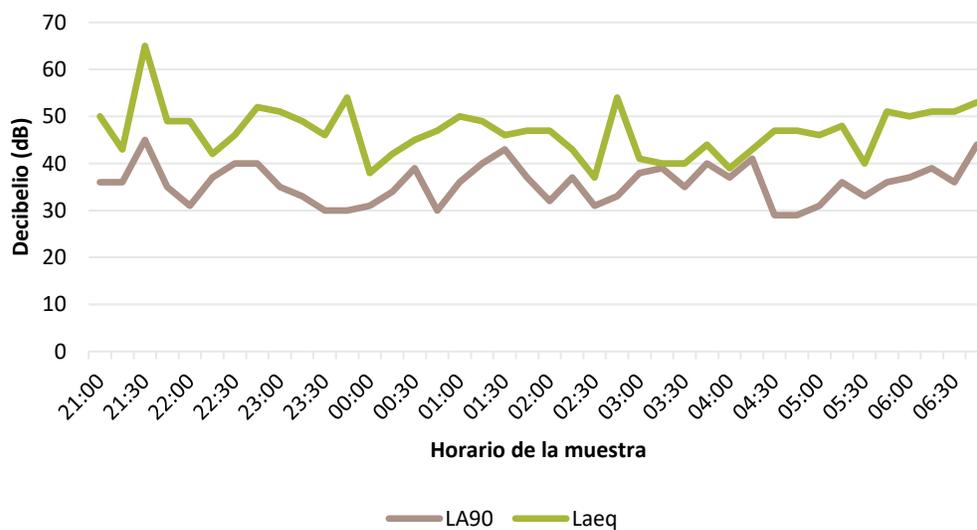
Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

A continuación, en la Figura 6-37 y Figura 6-38 se muestra el comportamiento de las variables LA90 y Laeq con la metodología de conservación en el sitio de la rampa.



**Figura 6-37 Comportamiento de las Variables LA90 y Laeq Diurno Rampa**

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020



**Figura 6-38 Comportamiento de las Variables LA90 y Laeq Nocturno Rampa**

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2020  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

### 6.1.1.2.6 Conclusiones

#### Uso de Suelos Industrial y Agrícola Residencial

El análisis de las mediciones (tanto diurnas como nocturnas) de los muestreos semestrales realizados entre el 2015 y 2020 para uso de los suelos industrial y agrícola residencial no permitió determinar el valor LK<sub>eq</sub> de la fuente, ya que la diferencia aritmética entre el ruido total y el ruido residual es menor a 3 dB. Pese a esto, los resultados se han comparado con la norma ambiental ecuatoriana, especificada en el

A.M. 097-A Anexo 5, que establece los niveles máximos de emisión permitidos de acuerdo con el tipo de actividad que se desarrolla.

Las estaciones de monitoreo ubicadas en las futuras instalaciones del PLL no presentan registros por encima de los niveles de emisión de ruido, sea para el periodo diurno como para el nocturno. Durante el muestreo nocturno, en la zona de explotación, se registró dos valores por encima del nivel de emisión de ruido respectivo, correspondientes al muestreo de junio del 2016 y diciembre del 2019 que podría responder a la acción del viento debido a que durante todos los muestreos no se identificaron fuentes de emisión.

### **Uso de Suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales del Estado**

Con respecto al muestreo de ruido natural en el área de la rampa durante el 2020 para uso de suelo de Protección Ecológica y Recursos Naturales del Estado, se observó que el LA90 min diurno es de 38 dB y nocturno es de 29 dB.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, el área de estudio, a pesar de ser una zona de conservación, también permite la presencia de proyectos estratégicos por el Estado, y luego de registrar valores de LA90 mínimo de 38 dB diurno y 29 dB nocturno expuestos en la Tabla 6-38, los niveles máximos de presión sonora para fuentes fijas de emisión de ruido en el área de la rampa sugeridos son de 48 dB y 39 dB horario diurno y nocturno respectivamente, los cuales se consideran los valores máximos de corrección que puede conceder la autoridad ambiental, en función del tipo de actividad que se realizará en esta zona.

#### **6.1.1.3 Geología**

La información geológica es un extracto de la Sección 5 del Estudio de la Viabilidad Loma Larga 2018 (INV Metals, 2018 aa). La geoquímica del proyecto se describe más detalladamente en la Sección 0. La información de perforación fue recopilada en el sitio de la mina de 2002 a 2018 por IAMGOLD Ecuador S. A. (actualmente DPMECUADOR S.A.) (INV Metals, 2018 aa).

#### Perforación IAMGOLD Ecuador S. A.

En 2002 se inició programas de perforación diamantina basados en la información de exploración realizadas por operadores anteriores, así como en sus propios programas de exploración de seguimiento. El yacimiento de Loma Larga fue descubierto por IAMGOLD Ecuador S. A., resultado de la campaña de perforación de 2004, durante la cual se perforó un total de 13 930 m en 45 pozos. Cuatro de los agujeros fueron perforados en la zona Loma Larga. De octubre de 2005 a agosto de 2006, IAMGOLD perforó 24 542 m adicionales en 125 agujeros, de los cuales aproximadamente la mitad fue perforación de *infill* y el resto se llevó a cabo para probar una posible extensión.

IAMGOLD GOLD Ecuador S. A. contrató a dos empresas, Kluane y Paragon, para llevar a cabo los trabajos de perforación. Todo el trabajo se realizó mediante perforación a diamantina con recuperación de testigo, y los diámetros de núcleo utilizados fueron HQ (63,5 mm) y NQ (47,6 mm) para Paragon y NT (56 mm) y BT (42 mm) para Kluane. Todos los collares fueron medidos para obtener el rumbo e inclinación del sondaje. La mayoría de los agujeros se perforaron de 55° a -65°, pero oscilaron entre 45° y -90°. Todo el núcleo obtenido de la perforación fue colocado en cajas de madera y transferido a la sala de logueo en el campamento para el corte y muestreo para ensayos. El diámetro del núcleo dependía del tipo de taladro utilizado por cada empresa.

De 2002 a diciembre de 2007, IAMGOLD Ecuador S. A. perforó un total de 65 117 m en 280 agujeros (IAMGOLD, 2009). No se llevó a cabo ninguna perforación entre 2008 y 2012.

### Perforación INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC (ahora DPMECUADOR S.A.)

Después de adquirir el proyecto en 2012 INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC contrató a la empresa canadiense ORIX Geoscience Inc. para llevar a cabo una compilación 3D detallada y reinterpretación del depósito, con el objetivo de promover la comprensión del depósito e identificar los objetivos de perforación. Geoscience North se comprometió a revisar y compilar todos los datos geofísicos recopilados anteriormente, que luego se integraron en la compilación ORIX. El programa de perforación de IAMGOLD ECUADOR S.A. en 2013 incluyó 12 perforaciones a diamantina, que suman 3684,7 m, incluyendo dos agujeros perforados para pruebas metalúrgicas, tres agujeros para definir aún más la zona principal de alto grado y siete agujeros para probar objetivos de paso para extender el depósito.

Los sondajes LLD-371 y LLD-372 fueron perforados para obtener material para pruebas metalúrgicas. La perforación metalúrgica en la zona de alto grado demuestra claramente que el depósito de oro Loma Larga contiene un núcleo de alto grado mineral rodeado por un halo de grado inferior. Los sondajes LLD-373 a LLD-375 fueron perforados para definir mejor los márgenes de la zona de alto grado.

La campaña de perforación geotécnica, hidrológica y de exploración fue realizada por la Compañía en 2016-2017 (INV Metals, 2018 aa). Un total de 6978,21 m fueron perforados en 32 sondajes. Como resultado de este programa de perforación, se identificó indicios de la presencia de múltiples zonas de alimentación a lo largo de la longitud norte-sur del depósito

Adicionalmente, INV realizó actividades de exploración en la propiedad en 2017 y 2018. Estas se resumen a continuación:

- > Contrató a Geoscience North Ltd., para organizar y analizar datos geofísicos dentro de la concesión Río Falso. Se evaluaron conjuntos de datos de Newmont y Val D'Or Sud América, y se elaboró un informe en el que se esbozaban posibles objetivos de exploración (Geoscience North, 2018).
- > Western Mining Services (WMS) fue contratado para completar una evaluación del proyecto y orientar el estudio sobre el proyecto. WMS analizó datos de perforaciones a diamantina, mapas geológicos y datos geofísicos para desarrollar un plan de orientación para el programa de exploración Loma Larga. En junio de 2018 se proporcionó un informe final (Western Mining Services, 2018).
- > El equipo técnico de INV Minerales Ecuador S.A. INVMINEC realizó una actualización del mapa geológico regional para todas las concesiones de Loma Larga, este trabajo fue concluido en junio de 2018. El mapeo fue dirigido a áreas sin trabajo geológico previo, a lo largo de los límites de concesión y zonas en las cuales se validó el mapeo anterior.

#### **6.1.1.3.1 Metodología**

Comprender las características geológicas superficiales y subsuperficiales del Proyecto es fundamental en su planificación, diseño, construcción y operación, e informa muchos aspectos del EsIA. Estos incluyen, pero no se limitan a lo siguiente:

En la sección de la descripción del Proyecto:

- > La comprensión y definición del cuerpo mineral informa el método y el diseño de la minería, la geoquímica de rocas y relaves utilizados en la gestión de rocas y relaves de desechos, y la economía de las minas.
- > La comprensión de la geología local y del sitio informa la identificación de fuentes para el material de construcción y la ubicación para el desarrollo de la infraestructura minera.

En las secciones de evaluación de impacto ambiental, la comprensión de la geología y geomorfología regional, local y de depósitos informa los siguientes temas:

- > Contaminantes geoquímicos potenciales a las aguas subterráneas, la calidad de las aguas superficiales, los suelos, la vegetación, los animales y las personas.

- > Identificación de los riesgos naturales relacionados con el proyecto, el medio ambiente y la población local.

#### **6.1.1.3.2 Categorías**

La caracterización geológica del PLL proporciona información sobre la geología regional, local y de la propiedad, describe los tipos de depósitos y la mineralización económica.

#### **6.1.1.3.3 Material y Métodos**

La información presentada en esta sección consiste principalmente en extractos del Estudio de Viabilidad INV 2018 (INV Metals, 2018 aa). El estudio de viabilidad de geología, geomorfología, sismología, vulcanología, hidrogeología y geotécnica es el resultado del trabajo realizado por las instituciones gubernamentales, académicas, empresas anteriores con interés en la propiedad y el propio la Compañía.

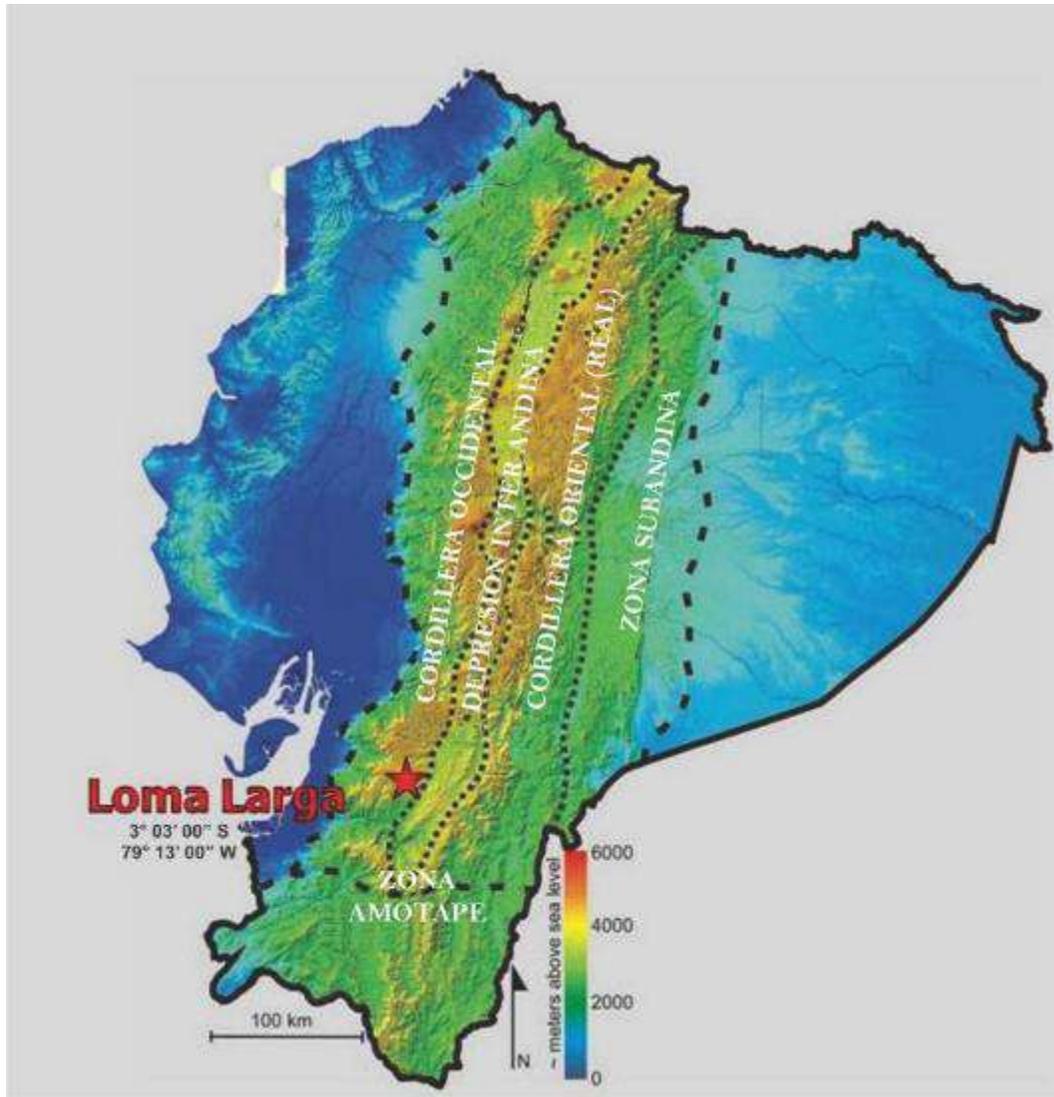
#### **6.1.1.3.4 Análisis**

##### **Geología Regional**

El Ecuador se puede subdividir en una serie de provincias fisiográficas distintas, que coinciden ampliamente con la subdivisión de la corteza en varios terrenos (Figura 6-39, Scott Wilson RPA, 2006). La propiedad Loma Larga se encuentra dentro de la cordillera ecuatoriana, que consiste en una serie de terrenos estrechos, de norte a noreste, que se formaron durante la separación de las placas centroamericanas y sudamericanas y se acrecionaron en el cratón amazónico, desde el Jurásico Superior hasta el Eoceno (Chiaradia, 2004). La mayoría de los terrenos se extienden por varios cientos de kilómetros en dirección norte-noreste y tienen solo unas pocas decenas de kilómetros de ancho. Estos terrenos están separados por profundas fallas de tendencia norte-noreste y fueron creados durante los períodos Terciario y Cuaternario por el magmatismo del arco continental relacionado con la subducción y la reactivación de las fallas de límite de terreno.

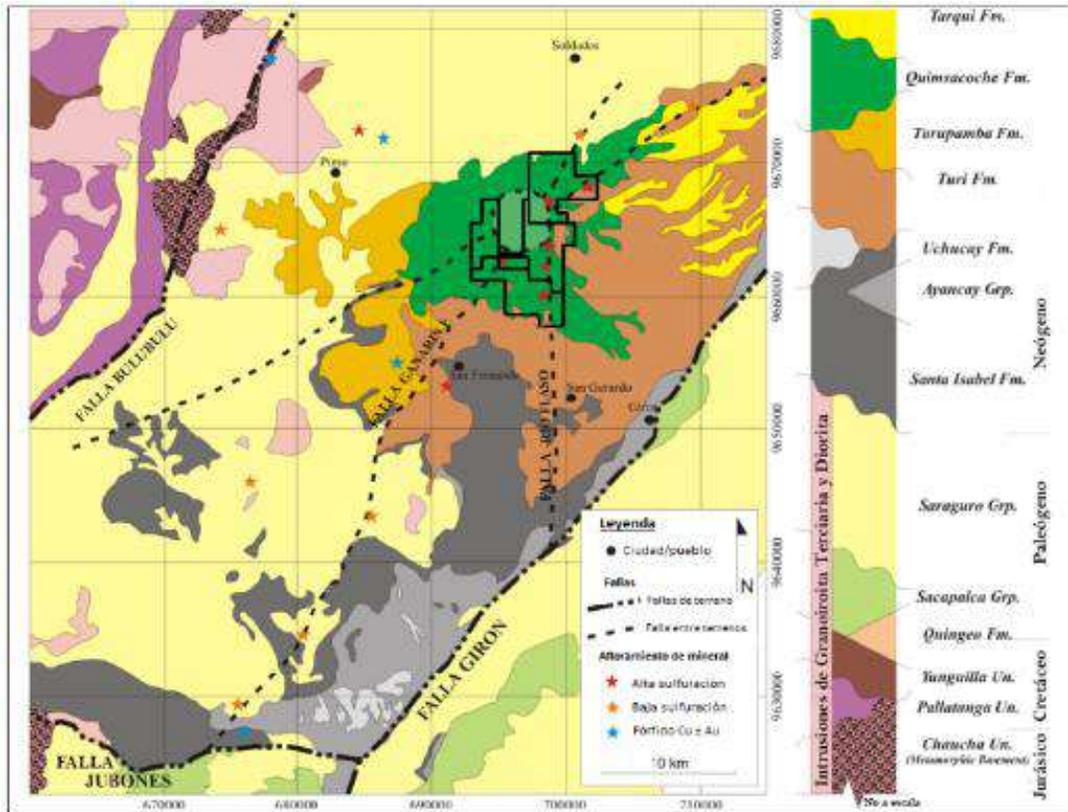
El proyecto se ubica en la parte sur del terreno continental Chaucha, en la provincia fisiográfica de la cordillera occidental, como se muestra en la Figura 6-39 (Scott Wilson RPA, 2006). El terreno Chaucha se define por los sistemas de fallas de tendencia noreste, de Bulubulu en el lado noroeste y el sistema de fallas Girón en el lado sureste. En la Figura 6-40 se interpreta que estas zonas de falla han estado activas durante toda la evolución de la cuenca sedimentario oriente interviniente. Durante cada fase de reactivación, los movimientos de fallas influyeron en la ubicación de algunos cuerpos intrusivos y subvolcánicos, mientras que algunos actuaron como canales para los fluidos hidrotermales mineralizantes.

El terreno Chaucha consiste en rocas volcánicas de arco continental terciario depositadas sobre rocas sedimentarias marinas del Cretácico, que, a su vez, fueron depositadas en rocas metamórficas paleozoicas y mesozoicas del basamento (MacDonald et al., 2010).



**Figura 6-39** Mayores Terrenos de Ecuador

Fuente: Modificado de MacDonald et al., SEG 25 de septiembre de 2013 Whistler



**Figura 6-40 Geología Regional**

Fuente: Modificado desde MacDonald et al., SEG, septiembre 2012, Perú

### Geología Estructural

El sector se encuentra sometido a un intenso régimen tectónico del cual destaca una lineación de fallas N-S que, al parecer, tienen un desplazamiento normal, a las que se ha denominado Río Falso. Algunas de estas fallas son medibles en los afloramientos del sector; este lineamiento es posterior a la mineralización, por lo cual se encuentran segmentando los cuerpos de interés. Así, por ejemplo, en la parte sur de la quebrada QD1, superficialmente aparecen afloramientos que corresponderían a diferentes cuerpos, pero las perforaciones realizadas por Newmont no cortan más de una zona de las mismas características en cada sondaje, concluyéndose que las fallas tienen un componente normal.

Otro sistema de fallas tiene un sentido SE-NW, aproximadamente unos 135° de rumbo; un ejemplo de estas fallas atraviesa entre los sondajes y es denominada falla del Cuy Negro. Fallas en este sentido probablemente segmentan los cuerpos mineralizados y los desplazan dificultando la planificación de sondajes.

Pero, además de este sistema de fallas N-S, existen otras pequeñas estructuras que, debido a los depósitos morrénicos que cubren el sector de D1, se dificulta su observación; sin embargo, en los pocos afloramientos, principalmente a lo largo de la quebrada denominada QD1 y canales de muestreo, se ha podido medir los principales rumbos y buzamientos de diaclasas y pequeñas fallas.

En la mencionada quebrada se tomaron medidas a ciertas estructuras, principalmente fracturas, de lo cual se desprende que existen tres principales grupos de tendencias así: 20-30/70-80 y 315-340/80-85; estas estructuras reflejan el posible régimen extensional presente en la zona por acción de los dos sistemas importantes de fallas.

Se puede apreciar fracturamiento preferencial de  $135^{\circ}$  a  $150^{\circ}$  con buzamiento de  $4^{\circ}$ - $20^{\circ}$ , además de ciertas evidencias de flujo en este sentido.

Otra evidente estructura es una falla, cuyo inicio se encuentra al N de Río Falso, con una dirección NW, luego toma una dirección NNW y se proyecta con un rumbo de  $135^{\circ}$ , posee un cierto movimiento dextral y componente normal con buzamiento al W. En la parte de la caja alta se describen brechas propilitizadas, como también en la caja baja y sílice granular con alunita en la caja alta.



**Figura 6-41 Planos de Falla Geológica de dirección Norte Sur, asociados a la Falla Regional Río Falso**

Fuente: Modificado desde MacDonald et al., SEG, septiembre 2012, Perú  
Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur: ESTE (m): 698104, NORTE (m): 9663180

La falla Río Falso, tiene una dirección Norte Sur, la falla es la responsable de un sistema de fracturas de misma dirección de inclinación sub vertical, la familia de fracturas Norte Sur se ha cartografiado en las coordenadas UTM WGS 84\_Z17S; E: 698104, N: 9663180, Z: 3782 y en las coordenadas UTM WGS 84\_Z17S; E: 698013, N: 9661881, Z: 3800.

### **Geología Local**

La propiedad Loma Larga se encuentra entre la falla Gañarin al noroeste y la falla Girón al sureste. Una estructura de caldera colapsada, de cuatro kilómetros de diámetro, el remanente de un estratovolcán erosionado se encuentra a lo largo y probablemente emplazado y controlado por la falla Gañarin y 400 m al oeste del mineral principal de Loma Larga. La caldera está soportada por cúpulas félsicas tardías y está cortada por una brecha diatrema multifase. La falla de Río Falso, de tendencia norte-sur, que parece ser una falla conjugada que une las fallas de Gañarin y Girón, es el conducto para la alteración y mineralización de fluidos (Figura 6-40 y Figura 6-43).

La propiedad y el área circundante inmediata está, en su mayoría, sobre las rocas volcánicas del Mioceno Superior, de las formaciones Turi, Turupamba, Quimsacocha y Tarqui (Scott Wilson RPA, 2006) (Figura 6-40 y Figura 6-43). Estas formaciones planas y tendidas se sumergen suavemente y, por lo general, no

afloran en la propiedad. Los afloramientos que se exponen forman un patrón radial alrededor de la caldera y se alejan suavemente de ella hacia el sur y el este.

La propiedad está, en gran parte, sobre la base de la formación Quimsacocha, que alberga el depósito Loma Larga y consiste en flujos de lava andesítica alterna con fenocristales de plagioclasa fresca y tobas y brechas de andesita, distribuidas radialmente solo alrededor del exterior de la caldera. La formación Quimsacocha está sobrepuesta a la formación Turi, que consiste en brechas tobáceas, conglomerados y areniscas con un alto contenido de clastos andesíticos y ocasionales clastos de brechas tobáceas.

La formación Turupamba se compone de tobas riolíticas a dacíticas con una menor cantidad de tobas de lapilli, y parece ser el resultado de numerosas caídas menores de ceniza con períodos de sedimentación fluvial y lacustre. En el área circundante inmediata y bordeando la formación Quimsacocha se encuentra el grupo Saraguro, al norte; la formación Tarqui, al este; y, la formación Turupamba, al oeste. El grupo Saraguro está formado por piroclásticos andesíticos a riolíticos, flujos de lava y volcanoclasticos, así como rocas subordinadas. La formación Turupamba se compone de tobas riolíticas a dacíticas con una menor cantidad de tobas lapilli, y parece ser el resultado de numerosas caídas menores de ceniza con períodos de sedimentación fluvial y lacustre. La formación Tarqui sobreyace a la formación Turi; inconfortablemente sobrecubre todas las formaciones más antiguas y tiene un espesor máximo de 400 m. Cerca del depósito de Loma Larga, la formación Tarqui consiste principalmente en tobas de riolita de cuarzo fuertemente desgastadas. Por el contrario, más al norte, la unidad se compone principalmente de tobas de capa delgada, areniscas tobáceas y conglomerados. Los restos de plantas y el carbón también son comunes.

Después del colapso de la caldera se produjo un evento intrusivo volcánico posmineralización resultando en domos dacíticos a riolíticos y criptodomas de dacita porfirítica de cuarzo-feldespatos, colocados dentro y alrededor de la caldera en el Plioceno. Acompañando estas litologías están las brechas relacionadas con el colapso de la caldera y las brechas diatrema, que contienen localmente clastos mineralizados.

### Litoestratigrafía

#### Formación Turi (MTU)

(MioTi) (Erazo, 1957). Aflora en el extremo sur oeste del Mapa Geológico. Rocas sedimentarias fluviales confinadas a la cuenca de Cuenca y sus extensiones. Al SW de Turi consiste en conglomerados andesíticos gruesos y brechosos, pobremente litificados y horizontalmente estratificados, de unos 300m de espesor, intercalados con areniscas y limolitas tobáceas de color pálido. El espesor máximo es alrededor de 1080m entre Giron y el páramo en Ucshapucará (7040, 96558) En el área de Cañar Suscal consta de conglomerados subhorizontales, en parte brechosos, tobas primarias y retrabajadas, limolitas, y diatomitas, todos pobremente consolidados. Descansa inconformemente sobre el Grupo Saraguro y está sobreyacida por la Formación Quimsacocha. Fue considerada del Plioceno (Bristow & Parodiz, 1982), pero nuevas dataciones de trazas de fisión (Steinmann, 1998) indican una edad del Mioceno tardío (8-9 Ma).

Formación Turi (MTu).- (Erazo, 1957) Secuencia volcánica más joven que rellena la cuenca. Al SW de Turi (7215, 96768) consiste en conglomerados mal sorteados con clastos redondeados a sub-redondeados de hasta 40 cm, también intercalaciones de arenisca gruesa con estratificación cruzada, con clastos volcánicos, clastos metamórficos raros, clastos andesíticos gruesos y brechosos, pobremente litificados y horizontalmente estratificados, de más de 300 m de espesor, intercalados con areniscas tobáceas de color pálido y limolitas tobáceas, ciertos niveles pumicos. Descansa discordantemente sobre el Grupo Saraguro y está sobreyacida por la Formación Quimsacocha. Fue considerada del Plioceno (Bristow & Parodiz, 1982), pero nuevas dataciones de trazas de fisión (Steinmann, 1997) indican una edad del Mioceno Tardío (8-9 Ma). Esta sobreyacida por la Fm tarqui

Los conglomerados, areniscas y limos arcillosos de color purpura y gris, rasaltando principalmente el color purpura. Los conglomerados poseen líticos de origen volcánico provenientes del grupo Saraguro y corresponde a canales de varios metros de ancho que descansan sobre areniscas y arcillolitas.

Los conglomerados son mas potentes a la base de la formación, a medida que se asciende en la secuencia el espesor de capas va disminuyendo y se va intercalando con capas de areniscas y limitas arcillosas. La depositación es en sistema de ríos trenzados que transportan los sedimentos de W-E

La edad es de 9.6-8 Ma Steinmann, 10.7 Ma Lahuathe, Mioceno Tardío

#### Formación Turupamba (MTu)-

(Pratt et al., 1997) Aflora en el páramo al W de San Fernando, fuera del PLL. Afloran en dos pequeñas áreas al S de la hoja (6895, 96684 y 6826, 96684). Hacia el sur la formación es extensa y comprende tobas y tobas retrabajadas ácidas con lapilli de pómez, cristales de cuarzo y fragmentos de carbón (Pratt et al., 1997). Comprende tobas riolíticas a dacíticas con menores lapilli de pómez. Se acuña hacia el este y desaparece. Sobreyace a la Formación Turi y probablemente esta post datada por la Formación Quimsacocha. Origen numerosas caídas de ceniza menores intercaladas con periodos de sedimentación fluvial y lacustre.

#### Formación Quimsacocha (MQ)

(Pratt et al., 1997). Corona la Formación Turi alrededor de la caldera de Quimsacocha. Como la Formación Turi, el afloramiento es radial, con buzamientos suaves (5°), hacia afuera de la caldera. Los estratos son lavas de plagioclasa muy frescas. Localmente, están presentes grandes bloques redondeados con textura de corteza de pan. La edad es incierta, pero debe ser Mioceno tardío o más joven.

Toma su nombre del edificio volcánico erosionado de Quimsacocha (Pérez, 1990). Consiste en lavas andesíticas comúnmente con Flow banding y brechas tobas andesíticas que buzan radialmente hacia fuera de la caldera de Quimsacocha. Las rocas son de color gris-verde oscuro y porfiríticas con microfenocristales de plagioclasa y anfíbol acicular. La formación sobreyace discordantemente al Grupo Saraguro (Formaciones Plancharumi y Jubones) y a la Formación Turi. Su edad exacta en el Mioceno es incierta.

Es la roca huésped de depósito de Loma Larga, y consiste de alternancias de flujos de lava andesitas bandeadas con fenocristales frescos de plagioclasa y tobas andesíticas y brechas. El depósito sobreyace sobre al Fm. Turi, la cual consiste en brechas tobas, conglomerados y areniscas con un alto contenido de lastos andesíticos y clastos ocasionales de brecha tobácea. Espesor mínimo 160 m, sobreyace a la Fm Turubamba.

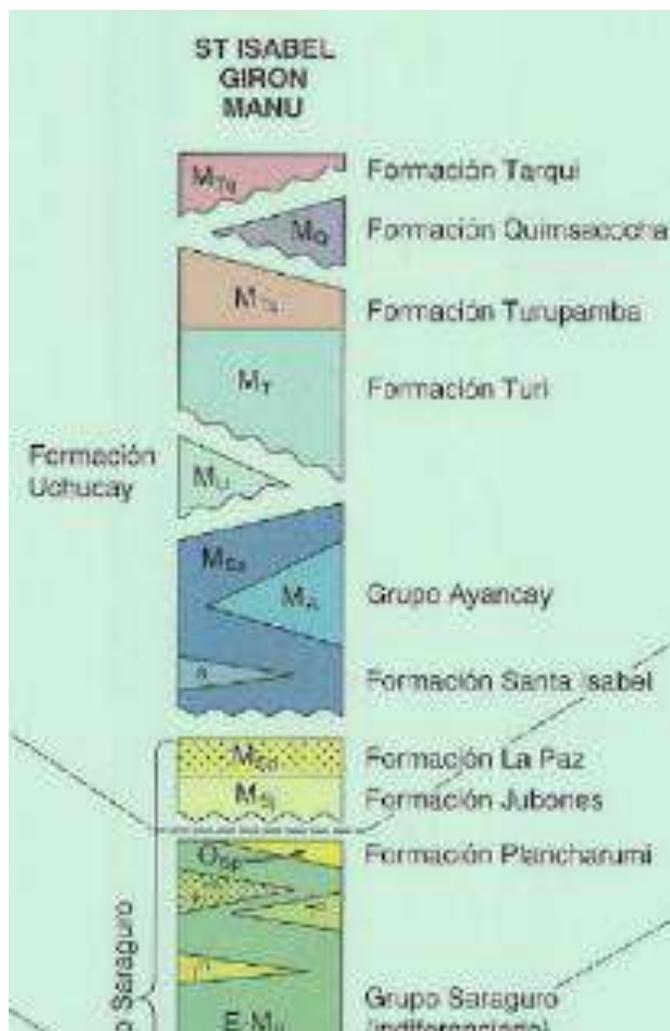
La última erupción ocurrió hace 3.6 Ma como domos dacíticos en la caldera del Quimsacocha, reportado por Beate (2001)

#### Formación Tarqui

No Aflora en el Mapa Geológico. Cubre todas las formaciones más antiguas discordantemente y alcanza un espesor máximo de 400m, comprende tobas acidas, capas delgadas de tobas, algunas formadas por caída, conglomerados tobaceos y areniscas tobáceas, son comunes remanentes de plantas y carbones. Una distintiva toba lítica de lapilli, riolítica amarilla, de al menos 160m de espesor en Saraguro (6955,95985). Comprende una matriz arenosa, rica en fragmentos líticos angulares, cuarzo, feldespato y biotita, con fragmentos de 10 a 50 mm de largo de andesita y una toba soldada rica en cuarzo. La misma toba ocurre en Jera donde tobas silicificadas de Saraguro están sobreyacida por 3 m de brecha y más de 50 m de lapilli lítica. La base de la toba contiene impresiones grandes de árboles.

#### Depósitos Glaciares (QG)

Gran parte de la superficie del área de geográfica se compone de residuos aluviales de Plioceno y Cuaternario, morrena glacial y depósitos de lacustres. Los depósitos glaciares son los más difundidos y cimbrén especialmente la caldera del Quimsacocha. Son potentes depósitos constituidos por bloques, guijarros en matriz areno limosas y areno arcillosa



**Figura 6-42 Columna Estratigráfica del Sector**

Fuente: PRODEMINCA, BGS.1998  
Elaboración: Entrix, junio 2020

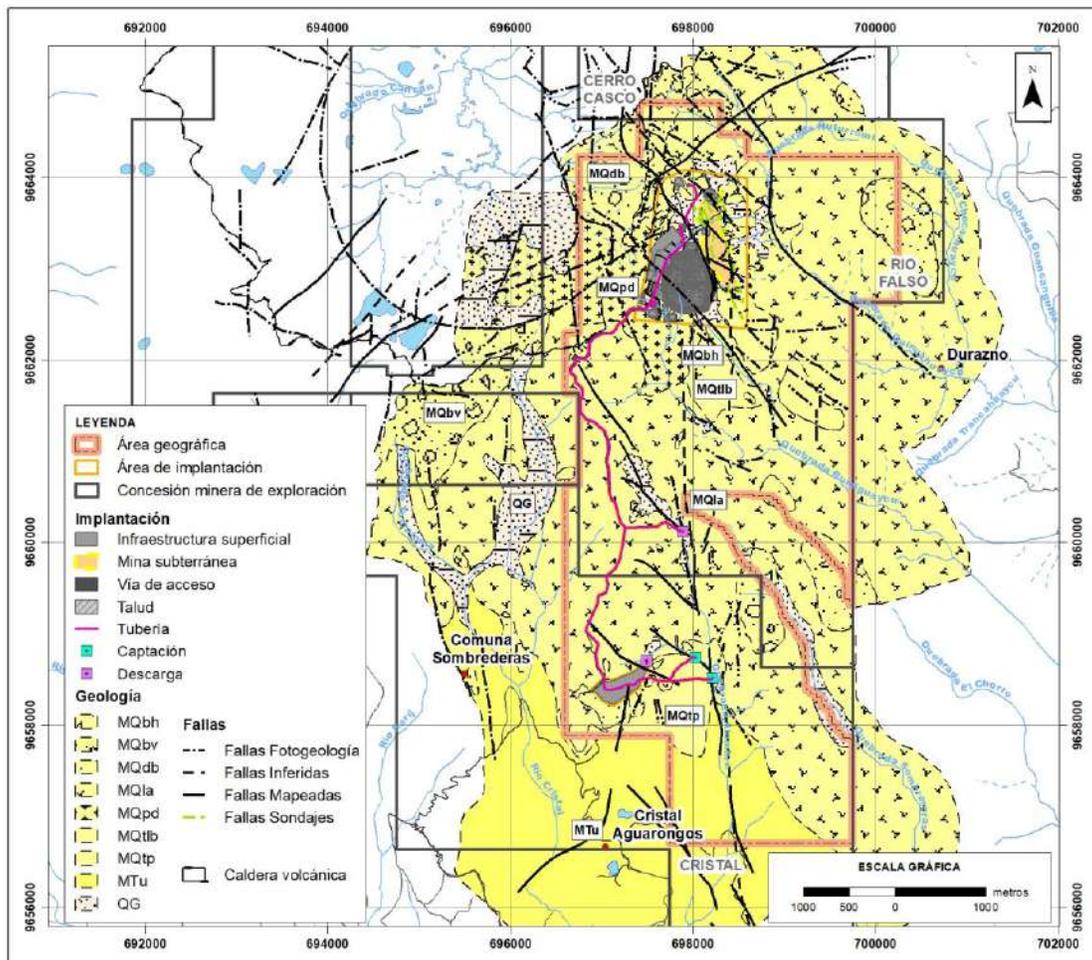


Figura 6-43 Geología del Área de Geográfica del PLL

Fuente y Elaboración Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-4 Geológico).



**Figura 6-44 Afloramiento de Dacita**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A., junio 2020

Elaboración: Entrix, junio 2020

Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur: ESTE (m): 697676, NORTE (m): 9663043



**Figura 6-45 Afloramiento de Dacita**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, junio 2020

Elaboración: Entrix, junio 2020

Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur: ESTE (m): 697290, NORTE (m): 9662490

La dacita se observa en varios puntos de la vía, el afloramiento principal se ubica cerca de la puerta de acceso de la propiedad de la compañía Dundee en las coordenadas UTM: WGS 84\_Z17S; E: 697290, N: 9662490, presenta una sola familia de fracturamiento débil a lo largo del afloramiento, 2 fracturas por metro, la dimensión del afloramiento es 6 m de largo por 2 m de alto, la familia principal J1 (210/83,

dirección del buzamiento). El RQD del afloramiento es 100%. La dacita tiene una textura porfirítica, matriz gris microcristalina y fenocristales de plagioclasa, biotita, hornblenda y cuarzo. Estas rocas presentan débil a moderado magnetismo.



**Figura 6-46 Flujo de Lava Andesítica Hornblendica**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2020  
Elaboración: Entrix, marzo 2022

Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur: ESTE (m): 696760, NORTE (m): 9657704

#### ANDESITA

El afloramiento se ubica en las coordenadas UTM WGS 84\_Z17S; E: 696760, N: 9657704, Z: 3560, con un largo de 20 m en el talud norte de la vía, la altura del afloramiento es entre 1 m y 2 m, se midieron dos familias de fracturas, la dirección de buzamiento es 056/80, con frecuencia de 2 fracturas por metro, la otra familia de fracturas es 155/80, de igual manera 2 fracturas por metro. La roca es de textura masiva, de grano fino, su color es gris negruzco, se observan cristales de hasta 1 mm de plagioclasa, las rocas presentan débil magnetismo.



**Figura 6-47 Afloramiento de Toba**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, marzo 2022  
Elaboración: Entrix, marzo 2022

Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur: ESTE (m): 698104, NORTE (m): 9663180

En la zona de estudio existe afloramientos puntuales de toba. El tamaño de los clastos es menor a 64 mm, en las coordenadas UTM WGS 84\_Z17S; E: 698104, N: 9663180, Z: 3782, se observa un afloramiento de largo 15 m por 2 m de alto, este afloramiento contiene una tendencia de fracturamiento similar a la dirección de la falla Río Falso, la familia de fracturas tiene una dirección de buzamiento de 090/70. El color de las tobas es muy variable va de blanquecino a tonos rojos y naranjas por la cantidad de oxidación de la roca, en el afloramiento las tobas tienen una silicificación moderada, razón por la cual se conservan muy bien la pared rocosa. Se conto hasta 5 fracturas por metro.

#### **6.1.1.3.5 Tipos de Depósito**

El depósito Loma Larga es un depósito epitermal de alta sulfuración; depósitos de metales preciosos y de metales base que se formaron a profundidades inferiores a dos kilómetros y a temperaturas inferiores a 300 °C, dentro de arcos volcánicos a márgenes de placas convergentes (INV Metals, 2018 aa). Los depósitos epitermales se clasifican típicamente como sulfuración alta o baja basada en función del estado de sulfuración de los minerales, como enargita y luzonita, para alta sulfuración, y calcopirita-galena-esfalerita, para baja sulfuración. La sección esquemática de la Figura 6-48 muestra la zonación de alteración a través de un entorno de depósito de oro de alta sulfuración. La alteración argílica avanzada se zonificó hacia afuera a partir de un núcleo central de sílice vuggy o residual, de la cual todo, menos sílice, ha sido lixiviado por las aguas fuertemente ácidas, a través de zonas de alteración dominadas por alunita, pirofilita, dickita, caolín y, luego, la illita (Figura 6-48) (Corbett, 2005). El uso de un analizador de minerales infrarrojos portátil (PIMA) ha sido crítico en una serie de descubrimientos, incluyendo Loma Larga, ya que permite vectorizar hacia la mineralización basada en la zonación de los diversos minerales de alteración de arcilla.

En Loma Larga los fluidos ácidos alteraron preferentemente las tobas andesíticas más permeables, intercaladas entre lavas andesíticas más resistentes y menos alteradas. La fase rica en líquidos del fluido hidrotermal de alta sulfuración generalmente sigue la porción rica volátil. La mayoría de la deposición de mineralización de cobre y oro, generalmente como relleno de brecha sulfurosa de clastos alterados de sílice vuggy y sílice, normalmente se asocia con piritita-enargita (y su polimorfo luzonita a baja temperatura) y menos que covelina (a niveles más profundos) y local, generalmente periférica, tennantita-tetrahedrita, así como barita y alunita.

La fuente de magma caliente para el sistema hidrotérmal se asocia con frecuencia con un pórfido de cobre y oro (Figura 6-49). Aproximadamente, la mitad de los principales depósitos de mineral de alta sulfuración en todo el mundo tienen evidencia de mineralización de pórfido subyacente, basadas en observaciones de sistemas profundamente erosionados (por ejemplo: Minas Conga, Perú; Halilaga, Turquía), perforación profunda (por ejemplo: Far Southeast, Filipinas) y clastos alterados de pórfido y mineralizados contenidos en diatremas (numerosos sistemas, incluyendo Loma Larga) (Hedenquist, 2013). En Loma Larga, un diagrama al norte y al oeste del yacimiento de oro que contiene fragmentos de pórfidos mineralizados y alterados de cobre sugieren que, en alguna profundidad desconocida, un pórfido de cobre y oro puede haber impulsado el sistema hidrotérmal responsable de la formación de Loma Larga.

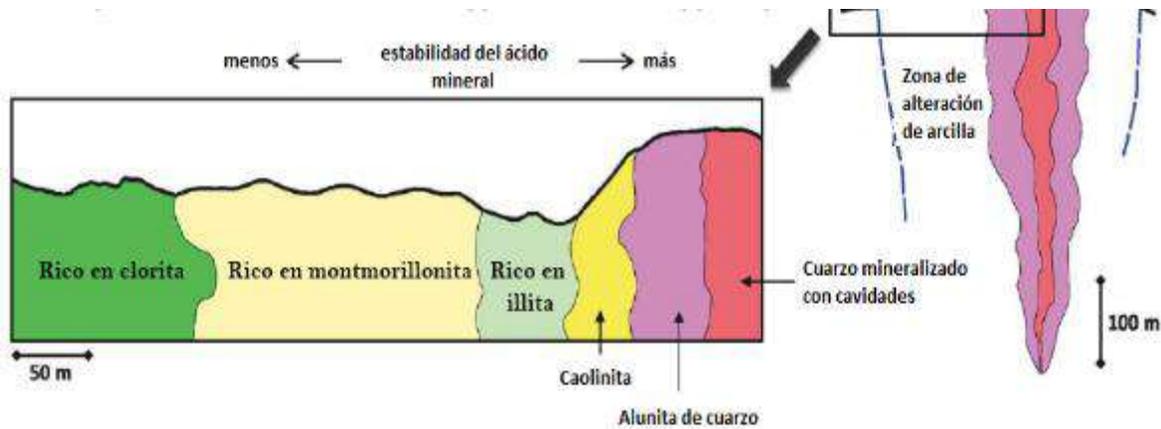
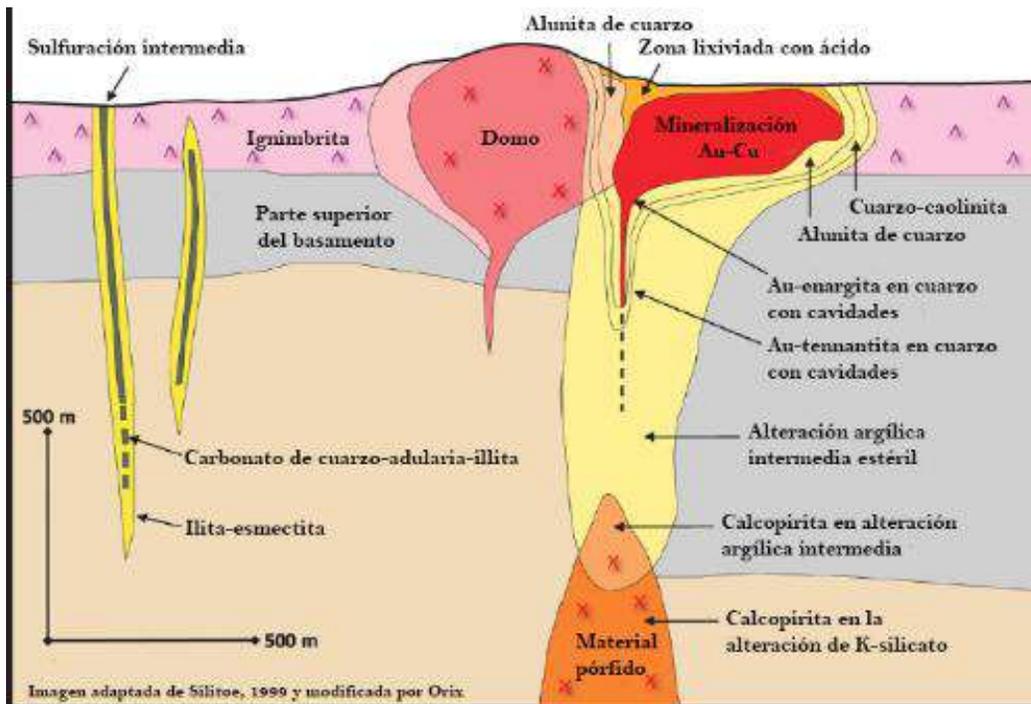


Imagen de Arribas Jr., 1995 y modificado por O R I X

**Figura 6-48 Zonación de Alteración en un Depósito de Alta Sulfuración**

Fuente y elaboración: Arribas Jr., 1995



**Figura 6-49 Sección Esquemática de un Depósito de Alta Sulfuración**

Fuente y elaboración: Arribas Jr., 1995

### 6.1.1.3.6 Mineralización

En Loma Larga, como en la mayoría de los sistemas epitermales típicos de alta sulfuración, la alteración se caracteriza por inyecciones multifásicas de fluidos hidrotérmicos fuertemente controlados, tanto por estructura como por estratigrafía. El evento de alteración-mineralización se caracteriza por la formación de capas silicificadas rodeadas de halos de alteración de minerales de arcilla, mientras que los sulfuros y minerales asociados a la mineralización fueron depositados por fluidos posteriores dentro de los cuerpos silicificados (INV Metals, 2018 aa).

La mayor parte de la cantidad limitada de afloramiento expuesto en Loma Larga presenta alteración de sílice debido a su resistencia a la erosión. En ambientes epitermales, la alteración de sílice muestra evidencia de lixiviación ácida caliente. Múltiples tipos de alteración de sílice ocurren en Loma Larga, incluyendo vuggy, azucarado, con bandas, relleno de fracturas y brecha hidráulica (MacDonald, 2010).

La alteración se puede ver estructuralmente controlada, ya que normalmente ocurre como costillas de sílice imitando ubicaciones y orientaciones de fallas. La zona de alteración más significativa que alberga el depósito coincide con la falla de Río Falso, de tendencia norte, que se extiende por más de ocho kilómetros de norte a sur a lo largo del borde oriental de la caldera colapsada. Esta zona larga y lineal contiene múltiples zonas grandes de alteración de sílice que van hasta dos kilómetros en anchura, este a oeste. La ubicación de la falla Río Falso sugiere que fue coincidente con o después del colapso de la caldera (MacDonald, 2010).

La alteración de la sílice está rodeada por diferentes espesores de un halo de alteración argílica, con presencia de conjuntos minerales de temperatura más alta a baja que incluyen pirofilita, alunita, dickita, caolinita, illita y esméctica.

La mineralización epitermal de oro, cobre y plata de alta sulfuración en el yacimiento de Loma Larga también se controla estratigráficamente, ya que se produce en los contactos litológicos entre las lavas y tobas de la formación Quimsacocha andesítica, y alcanza un mayor espesor en las tobas más permeables. El depósito es un cuerpo plano con inclinación occidental (menos de diez grados), de norte a sur, con forma de cigarro, que tiene una longitud de largo aproximada de 1600 m norte-sur por 120 a 400 m este-oeste y hasta 60 m de espesor, comenzando aproximadamente 120 m por debajo de la superficie (sección transversal en la Figura 6-50 y sección larga en la Figura 6-51). También se sumerge ligeramente hacia el norte, de tal forma que la zona mineralizada está más cerca de la superficie en el extremo sur. Los recursos se definen como un subconjunto más pequeño y de mayor grado dentro de esta mineralización.

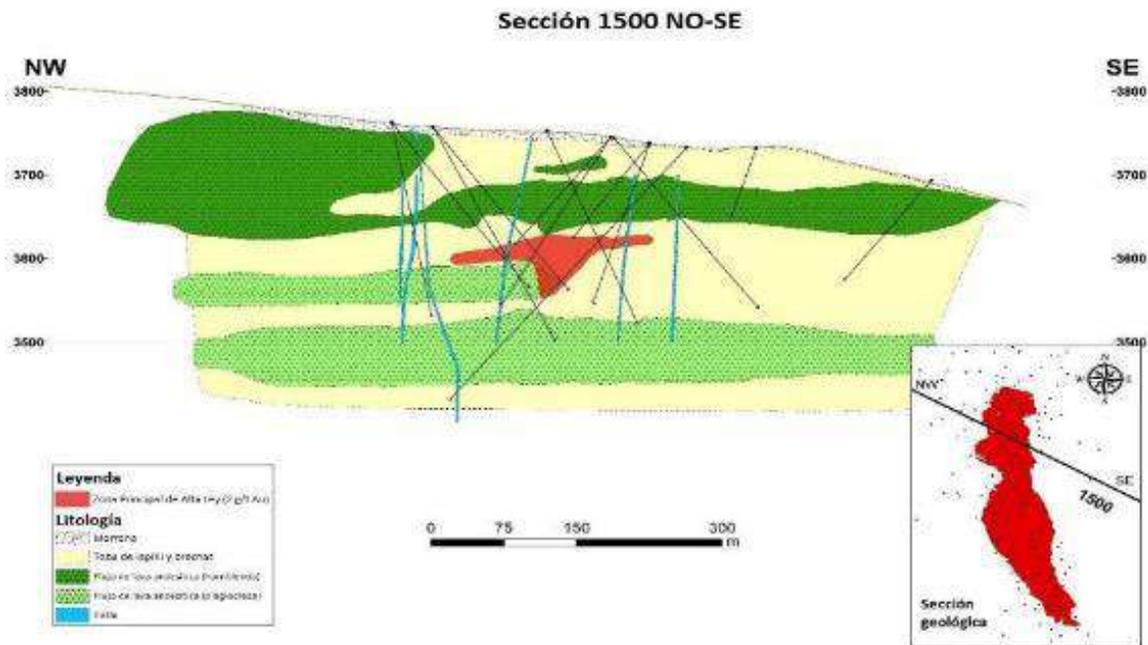
Las zonas mineralizadas se caracterizan por múltiples eventos de brechación y rellenando espacios abiertos con sulfuros, como pirita, enargita, covelina, calcopirita y luzonita o, en estados de sulfuración más baja, tennantita y tetraedrita. Los intervalos de sulfuración de alto grado suelen coincidir con mayores cantidades de enargita, barita; menor e intensa brecha hidráulica que contiene fragmentos silicificados redondeados. El oro visible es raro. La mineralización de oro se encuentra, en su mayor parte, asociadas a uno de los siguientes conjuntos mineralógicos: (a) sílice vuggy más pirita de grano fino y enargita; (b) pirita masiva, incluida una brillante pirita arsénica; o (c) sílice vuggy con bandas de sílice gris, relleno de espacio de sulfuro y pirita con bandas. La pirita de grano muy fino es dominante en zonas semimasivas a zonas masivas, y se interpreta que se ha formado antes que la de fractura más gruesa y la pirita que rellena las fracturas (MacDonald, 2010).

El foco de la mineralización se produce a aproximadamente 3610 m (+/- 30 m) de altitud, donde la(s) zona(s) del alimentador(es) estructural(es) se cruzó con un horizonte de toba permeable que fue lixiviado con ácido. Hay una zona estéril de sílice - argílica superior, localmente indicativa de alteración generadas por vapor, que es típicamente carente mineralización, aunque hay afloramientos de esta zona que contiene oro visible fino (MacDonald, 2010). Las texturas de sílice dentro de la zona superior van desde azucaradas, masivas, vuggy y laminadas, mientras que el cuerpo principal, centrado en 3610 m exhibe sílice masivo o vuggy con intensa brechificación en el núcleo y veteada generalizada y alteración de alunita rellenando vuggs. Un tercer horizonte silicificado inferior descrito a continuación es principalmente sílice vuggy (MacDonald, 2010).

Las diferentes campañas perforación han llevado al reconocimiento de una tercera zona más profunda de sílice residual, por debajo de aproximadamente 3550 m de altitud. Este horizonte es típicamente de 20 m de espesor, pero es localmente más grueso. Debido a que estas intersecciones más profundas se pueden correlacionar entre varias perforaciones y secciones, la Compañía ha interpretado la zona como un horizonte tobáceo silíceo (a diferencia de un alimentador vertical); la mineralización suele tener entre diez y veinte metros de espesor, con grados de oro de 1,0 g/t a 3,0 g/t. Las campañas de perforación de

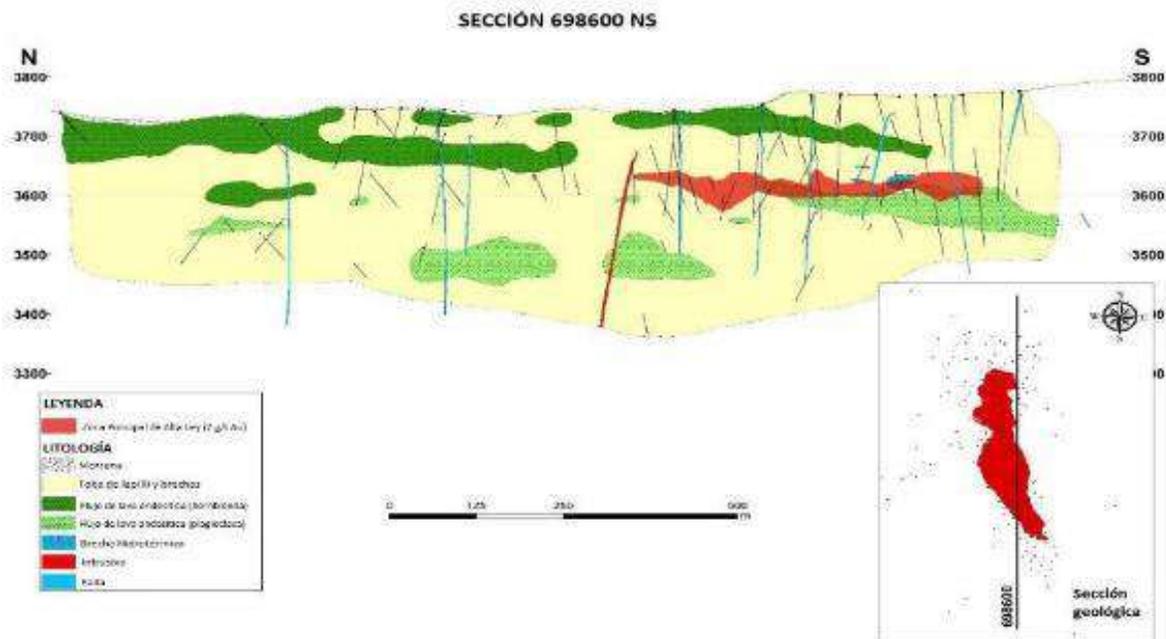
IAMGOLD ECUADOR S.A. en muchas secciones se detuvo en una profundidad de diez a veinte metros bajo la zona de sílice principal.

Puede haber múltiples estructuras alimentadoras a lo largo de la longitud norte-sur del depósito, posiblemente asociadas con estructuras en-echelon de tendencia norte-noreste (Hedenquist, 2013). Se interpreta que al menos dos zonas de alimentación vertical a subvertical; se producen en la parte central a oriental del depósito, en las proximidades del sondaje descubridor IQD-122 de IAMGOLD (9,2 g/t Au sobre 102 m). Por encima de esta zona gruesa y de alto grado, hay una lente superior de mineralización que se incluye en el recurso actual, como se deduce en función del número limitado de perforaciones que lo intersecan. Las intersecciones significativas de perforaciones en la lente superior Loma Larga incluyen 24,0 g/t Au sobre 9,0 m en la perforación IQD124 y 8,4 g/t Au sobre 30,7 m en la perforación IQD152501.



**Figura 6-50 Sección Transversal del Depósito de Loma Larga, Mirando hacia el Noreste**

Fuente y elaboración: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-51 Sección Longitudinal del Depósito de Loma Larga, Mirando hacia el Este**

Fuente y elaboración: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, junio 2020

La presencia de fragmentos de pórfido mineralizado de cobre dentro de la diatrema, expuesto aproximadamente un kilómetro al noroeste del margen norte actual del yacimiento, junto con la zonación de disminución del cobre en el depósito de norte a sur, sugiere que la intrusión causal que impulsó el sistema hidrotermal se encuentra al norte, y que el flujo de fluido va de norte a sur. Esto es consistente con la observación de la calcosina y la calcopirita asociada con las existencias de vetas en profundidad en el norte (Hedenquist, 2013). Las siguientes observaciones sugieren evidencias de un depósito de pórfido de cobre y oro más profundo:

Vetas de cuarzo con líneas centrales y márgenes de calcosina al norte (IQD-109, aproximadamente 317 m a 343 m a 2,02 g/t Au y 0,14 % Cu como calcosina; como valores inferiores a 100 ppm);

Altas relaciones Cu/As hacia el norte, es decir, enargita y tennantita pobre a pesar de los valores Cu superiores a 0,1 wt %, lo que sugiere la presencia de calcosina y/o calcopirita;

Amplia alteración de la ilita-pirita con magnetita diseminada más vetas de pirita a magnetita asociadas con una intrusión fragmentada; y,

La diatrema al noroeste, en el margen oriental de la caldera, que contiene fragmentos de pórfido de cuarzo-feldespatos más clastos potásicos y alteración filica con cobre anómalo (hasta 0,1 % Cu) y oro (hasta 0,5 g/t Au), asociados con vetas de cuarzo ± magnetita ± pirita diseminada, magnetita, calcopirita, calcosina, covelina y molibdenita (Hedenquist, 2013).

Existen varios objetivos de exploración; por ejemplo, el sondaje LLD-367 de IAMGOLD ECUADOR S.A. de 2013 se intersectó 4,9 g/t Au, 48,7 g/t Ag y 0,51 % Cu sobre una longitud de núcleo de 25,1 m, incluidos 11,9 g/t Au, 78,7 g/t Ag y 0,33 % de Cu sobre 6,2 m. Esta intersección se encuentra aproximadamente a 165 m al norte de los límites norte del actual recurso mineral Loma Larga. La campaña de perforación adicional completada en 2016 y 2017 investigó la extensión de la mineralización al norte y al oeste del recurso definido actualmente en Loma Larga.

En 2018, Western Mining Services (WMS) completó una evaluación del proyecto y estudio de objetivos sobre Loma Larga (Western Mining Services, 2018). Tras una revisión del proyecto de geología, geoquímica y geofísica, WMS identificó y priorizó nueve objetivos dentro de las concesiones de la Compañía. Los objetivos incluyen ocho objetivos Au-Cu estilo de alta sulfuración al norte, este, oeste y sur de Loma Larga, y un objetivo Au-Ag de estilo de baja sulfuración al oeste del cuerpo del mineral. WMS también identificó la oportunidad de descubrir un depósito Au-Cu estilo pórfido en profundidad al este del cráter Quimsacocha, próximo al yacimiento de Loma Larga. Además del estudio, WMS proporcionó estimaciones aproximadas del tamaño de los posibles descubrimientos dentro de cada área objetivo y proporcionó recomendaciones para definir mejor los objetivos y mejorar la eficacia de la exploración.

Las intersecciones aisladas de perforación rica en oro y el intervalo entre 3550 y 3500 m de altitud constituyen una mineralización de alto grado que puede estar alojada dentro de una zona de alimentadores relacionados a estructuras subverticales en lugar de estar asociada con el horizonte silíceo inferior. Más al norte, intervalos de alto grado similares que se han interceptado a aproximadamente 3600 m de altitud aún no se han probado a profundidad para un posible control estructural.

Además de las zonas de alto grado más profundas que aún no se han probado para su potencial extensión en profundidad, también hay zonas de alto grado más superficiales que aún no se han perforado. Se prevé que la perforación de sondajes de tijera definiría su potencial extensión en profundidad y determinaría si los altos valores de mineral se alojan en zonas de alimentación relacionadas estructuralmente. Esto incluye, por ejemplo, IQD-323 con 2,7 m de aproximadamente 77 g/t Au, 89 g/t Ag y 7,2 % de Cu a aproximadamente 3630 m de altitud, en la base de la zona silícificada.

En 2017, la Compañía completó varias perforaciones a lo largo del margen occidental del yacimiento de Loma Larga. Sin embargo, se recomienda seguir perforando para definir y restringir los márgenes de la mineralización, que permanece abierta. Además, se necesita una perforación más profunda para definir un horizonte localizado aproximadamente a los 3550 m de altitud.

Los indicios para un potencial sistema de pórfido en profundidad en el norte, incluyendo el stockwork de vetillas con sulfuros de cobre, es consistente con la alteración del litocap y los sulfuros de estado de alta sulfuración de Loma Larga; la ubicación del centro intrusivo del pórfido y su profundidad aún están por determinarse mediante un estudio adicional que incluye una eventual campaña de perforación.

Al sur de la extensión sur del actual Recurso Mineral Loma Larga hay una zona rica en plata con la perforación IQD-265 que se cruza 2,4 m de 3,180 g/t Ag, 0,2 g/t Au, y 0,1 % Cu, cerca de la base de la zona silícea, bajo la principal zona mineralizada. La relación plata-oro para los recursos es de aproximadamente diez a uno, o menos, mientras que los intervalos ricos en plata en IQD-263 y 265 son de doscientos a uno, o más. Las secciones al norte del depósito actualmente definido también tienen intersecciones de alta relación plata-oro. Por ejemplo, la perforación IQD-269 se interseca cuatro metros de 896 g/t Ag y 1,3 g/t Au, y la perforación IQD-269 se interseca cinco metros de 566 g/t Ag y 3,8 g/t Au. Las dos perforaciones se cruzan 0,3 % Cu y 0,6 % Cu, respectivamente. Dada la mineralogía incierta responsable de la alta relación plata-oro y los altos grados resultantes, la Compañía encargó a Inspectorate Services Perú S.A. la realización de un estudio mineralógico utilizando microscopía óptica y escaneo electrónico (INV Metals 2018 aa). Este estudio determinó que las especies de plata presentes incluyen sulfuros de plata (argentita-acantita), sulfosatos (AgCuAs y CuAgAs) y sulfuros (AgAs).

#### **6.1.1.4 Geotecnia**

La información geotécnica presentada en este Capítulo consiste en extractos de los siguientes informes:

- > INV 2018 Secciones 5, 7 y 12 del Estudio de la Viabilidad (INV Metals, 2018 aa),
- > Programa de Pozos de Prueba (“Test Pits”) INV: 2017 y 2018:
- > Pozos de prueba a lo largo de la carretera (Apéndice 6.1.4-C),

- > Pozos de prueba FTSF y planta de procesamiento (Apéndice 6.1.4-D)
- > Pozos de ensayo FTSF y planta de procesamiento (Apéndice 6.1.4-D)
- > Enero 2018 Puntos de ensayo FTSF e Informe de la planta de procesamiento (Apéndice 6.1.4-E). y
- > Febrero 2020. Construcción de Calicatas y Muestreo de Suelos Proyecto Loma larga.

Las condiciones básicas fueron evaluadas por Itasca Consulting Canadá Inc. (ICCI). ICCI fue contratado por Roscoe Postle Associates Inc. (RPA) para ayudar con los aspectos geomecánicas del diseño de la mina para el PFS. ICCI no visitó el sitio. Para completar su diseño, ICCI se basó en ciertos aspectos del trabajo de Golder Associates (Golder), junto con datos básicos históricos, registros de perforación, etc., proporcionados por la Compañía. Golder fue contratada previamente por IAMGOLD ECUADOR S.A. en 2008 para revisar los datos geotécnicos disponibles, proporcionar recomendaciones de alto nivel pertinentes para el diseño de la mina para el PFS 2008 y esbozar los requisitos para otros estudios geotécnicos.

En 2017, la Compañía, como parte del Estudio de Viabilidad 2018, completó nueve perforaciones geotécnicas en el yacimiento Loma Larga para obtener datos para el modelado. Varias muestras del núcleo de estas perforaciones se utilizaron para los programas de pruebas metalúrgicas y geotécnicas. Las muestras geotécnicas incluyeron pruebas de resistencia (es decir, resistencia a la compresión no confinada, triaxial y tensil) y pruebas de hinchazón sin confinar. Un resumen de los resultados de la muestra de perforación y ensayo y la ubicación de las perforaciones se muestran en la Sección 6.7, Tabla 6-3, Figura 6-8 y Figura 6-9 del Estudio de Viabilidad, 2018 (INV Metals, 2018 aa).

El desarrollo de la mina, los métodos de minería y las dimensiones del tope fueron analizados y confirmados por Mine Design Engineering (MDEng) en la Sección 7.3-Consideraciones Geotécnicas del Estudio de Viabilidad 2018 (INV Metals, 2018 aa). El estudio completo que figura en el Apéndice 3 del Estudio de Viabilidad INVMINEC 2018 no estaba disponible para su revisión.

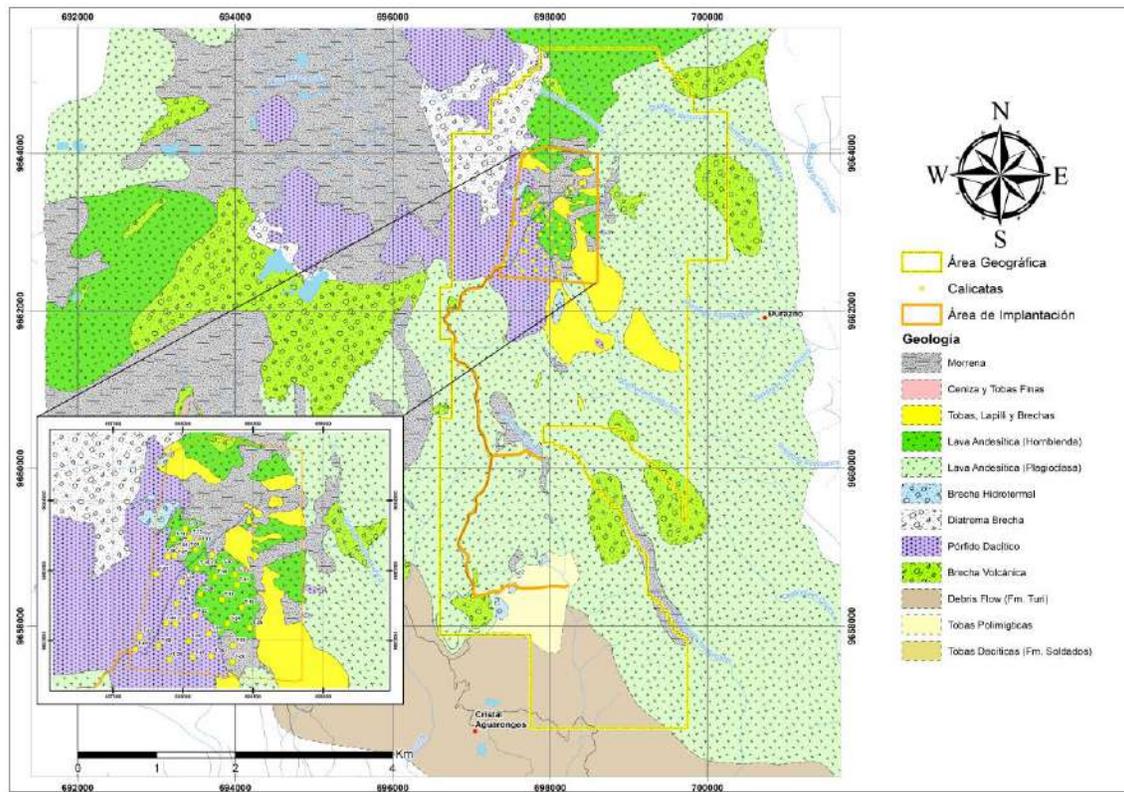
El programa de pozos de prueba 2020 se centró en mapear la condición estratigráfica de sobrecarga del sitio de la mina, y determinar la profundidad hasta la roca para el diseño de la construcción y alineación de la carretera de la mina.

Las muestras de suelo a granel recogidas se enviaron a un laboratorio para el siguiente análisis geotécnico:

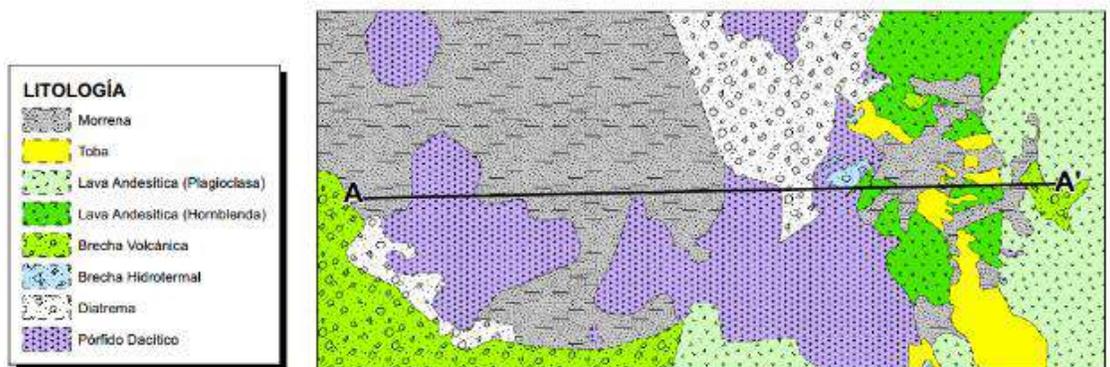
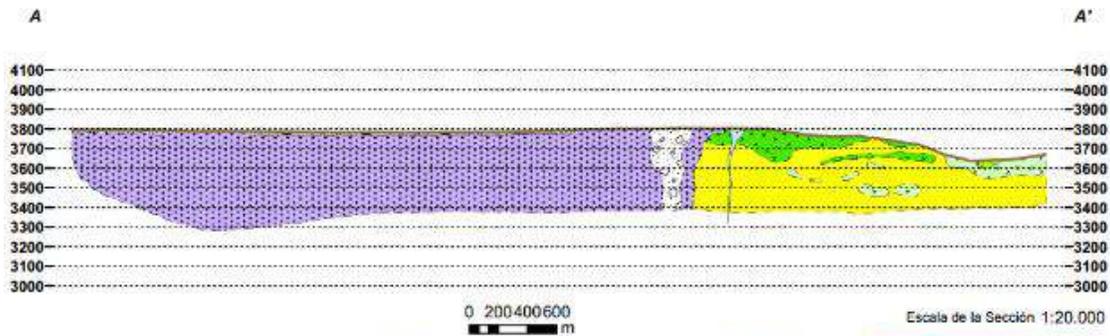
- > Humedad natural (ASTM-D 2216 / D 4643),
- > Método de límites de Atterberg A (ASTM-D4318),
- > Análisis de tamiz a #200 (ASTM D422 / C136) e
- > Hidrómetro (ASTM-D 422).

Los detalles sobre los materiales utilizados durante los programas de campo están contenidos en los respectivos informes del Programa de Pozos de Pruebas INVMINEC 2017, 2018 y 2020.

La Figura 6-52 presenta la estratigrafía de sobrecarga del sitio y las ubicaciones de los pozos de prueba de 2020 en la zona de la infraestructura de la mina.



**SECCIÓN GEOLÓGICA A - A'**



**Figura 6-52 Estratigrafía de Sobrecarga y Ubicaciones de los Pozos de Prueba dentro del Sitio de la Mina**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2018

#### **6.1.1.4.1 Metodología**

Para el desarrollo del tema de geotecnia se procedió primeramente a realizar un análisis geotécnico regional de el proyecto Loma Larga, de acuerdo con la metodología que este acápite describe.

Para caracterizar geotécnicamente el PLL, se realizó un resumen de las investigaciones desarrolladas por la Compañía durante 2017 y 2018, para determinar la profundidad de roca y la estratigrafía, el sitio general a lo largo de la carretera, por debajo del FTSF, la planta de proceso y las ubicaciones propuestas para el suelo y las escombreras de roca.

#### **6.1.1.4.2 Parámetros Geotécnicos Analizados para Zonificación**

Con la finalidad de establecer zonas y tramos geotécnicamente homogéneas y suministrar en cada uno de ellos la información básica preliminar para la proyección y construcción de obras civiles, se analizaron los rasgos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos y geotécnicos estimando los factores problemáticos de cada uno de estos aspectos y, de esta manera, se puede cartografiar mapas geotécnicos regionales, que es una adaptación de la metodología de la *Commission on Geological Maps of the International Association of Engineering Geology* (1976), para elaborar el mapa geotécnico regional sobre la base de los parámetros que en los párrafos siguientes se detallan.

Se ha optado por valorar cada parámetro, con la finalidad de enmarcar a cada zona geotécnica dentro de un rango de calidad, valorado sobre 20 puntos, para lo cual se distribuyó dicho puntaje entre los diferentes aspectos analizados. A continuación, se hace una descripción muy resumida de la valoración de cada uno de los parámetros analizados en las Fichas Geotécnicas (Anexo C. Respaldo de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.11 Fichas Geotécnicas) para la zonificación geotécnica:

Litología: Clasificación de materiales pétreos y suelos, su consistencia y/o capacidad y estructura. Valoración Total 4:

Clasificación de materiales pétreos y suelos: Es una valoración de 0 a 2 de los suelos en función de su clasificación de acuerdo con la clasificación SUCS.

Compacidad y consistencia: Es una valoración de 0 a 1 de los suelos, desde sueltos (0), semisueltos (0,5) a compactos (1).

Estructura: Es una valoración de 1 a 0 de los suelos en función de: masivos (1), medianamente fracturado a estratificado (0,5) y fracturados y estratificados (0).

Geomorfología: Valoración de las formas del relieve y sus características. Valoración Total 5.

Morfología: Valoración de 1 a 0 de la forma del relieve, desde explanada (1), colina y ladera (0,5) a montaña (0).

Pendiente: Valoración de 1 a 0 de la pendiente del terreno, desde suave (1), moderado y abrupto (0,5) a muy abrupto (0).

Meteorización: Valoración de 1 a 0 del grado de la meteorización del macizo rocoso, desde moderado (1), fuerte (0,5) a muy fuerte (0).

Erosión: Valoración de 1 a 0 del grado de la erosión del macizo rocoso, desde inicial (1), moderada (0,5) a antigua (0).

Drenaje: Valoración de 1 a 0 de la escorrentía superficial, desde alto (1), medio (0,5) a bajo (0).

Hidrogeología: Valoración de las características hidrogeológicas principales. Valoración Total 3.

Humedad: Valoración de 1 a 0 de la saturación de la unidad litológica, desde seco (1), húmedo (0,5) a saturado (0).

Escorrentía: Valoración de 1 a 0 de la escorrentía subterránea, desde alta (1), media (0,5) a baja (0).

Permeabilidad: Valoración de 1 a 0 de la permeabilidad estimada de la unidad litológica, desde permeable (1), semipermeable (0,5) a impermeable (0).

Geotecnia: Valoración de las características geotécnicas del macizo rocoso principales: Valoración Total 8.

Capacidad portante: Valoración de 2 a 0 de la capacidad portante, desde alta (2), media (1) a baja (0).

Estabilidad de taludes: Valoración de 2 a 0 de la estabilidad de los taludes del tramo o sector analizado, desde estable (2), medianamente estable (1) a inestable (0).

Escarificación: Permite evaluar, en forma inicial, los volúmenes de excavación, valoración de 2 a 0, desde suelos (2), suelos duros y roca suave (1) a roca (0).

Fuentes de materiales: Permite evaluar en forma inicial los usos que se pueden asignar a los materiales pétreos o suelos, valoración de 2 a 0, desde base y subbase (2) a ninguna (0).

Clasificación geotécnica: Con la sumatoria de la valoración de cada parámetro analizado se llega a la clasificación geotécnica del tramo o área analizada, de acuerdo con la Tabla 6-39.

**Tabla 6-39 Calidad Geotécnica y Valoración**

Zona Geotécnica (Símbolo*)	Valoración	Clasificación Geotécnica
I	20 a 16	Excelente o muy favorable
II	16 a 12	Buena o favorable
III	12 a 8	Regular o aceptable
IV	8 a 4	Mala o problemática
V	4 a 0	Muy mala o pésima

\* Los subíndices que se agregan al símbolo se refieren a la morfología y la pendiente

Fuente y Elaboración: Entrix, junio 2020

#### 6.1.1.4.3 Categorías

De acuerdo con los resultados obtenidos, se elabora el Mapa Geotécnico Regional (Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-13 Geotécnico) y la identificación de las zonas geotécnicas existentes y sus características.

Se realizó la diferenciación geotécnica del área en estudio, dividiéndola en zonas. En la Tabla 6-40 se resume este análisis:

**Tabla 6-40 Descripción de la Zona Geotécnica**

Ficha No.	Formación	Calidad Geotécnica		Morfología	Pendiente	Zona Geotécnica
3	Formación Quimsacocha	II	Buena	Explanada	Moderada	II – E.m Explanada de pendiente moderada, sobre rocas volcánicas y depósitos glaciares masivos, saturados, taludes de aceptable estabilidad. Predominan potentes suelos orgánicos Pt y OH, como también gravas arcillosas y arenas limosas GM y SM.
6	Depósitos glaciares					
1	Formación Quimsacocha	II	Buena	Colina	Moderada	II – C.m7 Colinas bajas de pendientes moderadas sobre rocas volcánicas, baja permeabilidad, taludes medianamente estables. Predominan potentes suelos orgánicos Pt y OL, así como gravas arcillosas y arenas limosas GM y SM.

Ficha No.	Formación	Calidad Geotécnica		Morfología	Pendiente	Zona Geotécnica
2	Formación Quimsacocha	II	Buena	Colina	Abrupta	II – C.a Colinas bajas de pendientes abruptas sobre rocas volcánicas, baja permeabilidad, taludes poco estables. Predominan potentes suelos orgánicos Pt y OL, como gravas arcillosas y arenas limosas GM y SM.
5	Formación Turi					
4	Formación Quimsacocha	II	Buena	Ladera	Moderada	II – L.m Laderas de pendientes moderadas sobre rocas volcánicas, baja permeabilidad, taludes medianamente estables. Predominan potentes suelos orgánicos Pt y OL, así como gravas arcillosas y arenas limosas GM y SM.
6	Formación Turi	III	Regular	Ladera	Abrupta	III – L.a Laderas sobre depósitos glaciares masivos y flujos piroclásticos superficialmente fácilmente ripables, de pendiente abrupta (5-45 %) y deficiente estabilidad. Suelos coluvio-residuales limo-arcillosos MH.
10	Depósitos glaciares					
7	Depósitos de deslizamientos sobre Formación Turi	IV	Mala	Ladera	Moderada	IV – L.m Laderas de pendiente moderada, con depósitos de deslizamiento sobre flujos piroclásticos, masivos, saturados de pendiente moderadas, taludes de mediana a baja estabilidad. Predominan potentes suelos residuales, como limos arcillosos SM-SC

Fuente y Elaboración: Entrix, julio 2020

#### 6.1.1.4.4 Análisis

La clasificación geotécnica del área de influencia del proyecto está dentro de una zona de calidad buena.

#### Zona de Calidad Geotécnica Buena (II-E.m; II -C.m: II – C.a; II – L.m)

Presenta las siguientes características:

- > Morfología de explanada ondulada. Pendiente transversal moderada a abrupta.
- > Conformada litológicamente por rocas volcánicas de las formaciones Quimsacocha y Turi, y depósitos glaciares.
- > Erosión que varía de inicial a moderada; esto, debido a que un buen porcentaje del área no ha sido intervenida.
- > Sectores de morfología de explanada a colinas bajas, presentan una escorrentía y drenaje deficientes.
- > Sustrato que varía de semipermeable a impermeable; no presentan acuíferos superficiales de importancia.
- > Potentes suelos orgánicos Pt y OL, cubren superficialmente esta zona, los cuales son sobresaturados de densidades bajas, por lo que son muy susceptibles a su compactación, y presentan baja cohesión. Bajo los suelos indicados, se tienen residuales, limosos-arcillosos MH, arenas limosas SM de baja a alta plasticidad desarrollados sobre las rocas del sustrato; también se tiene gravas arcillosas y gravas limosas GM y GL.
- > El mayor porcentaje del Proyecto se localiza en esta zona geotécnica.

### **Zona Geotécnica Regular (III-L.a)**

Presenta las siguientes características:

- > La morfología dominante es de laderas, con pendientes abruptas.
- > Su basamento rocoso lo constituyen depósitos glaciares y y flujos piroclásticos.
- > La erosión se presenta donde la cubierta vegetal ha sido reemplazada por pastos y cultivos; la meteorización es importante, a ello se debe el desarrollo de suelos residuales, limos arcillosos de alta plasticidad MH.
- > La escorrentía y el drenaje son aceptables, el sustrato presenta una permeabilidad que varía de media a baja.
- > Los taludes naturales varían de medianamente inestables a inestables, por las fuertes pendientes transversales y constitución de los suelos.
- > Estos sectores se convierten en zonas potencialmente inestables.

### **Zona Geotécnica Mala (IV-L.m)**

Presenta las siguientes características:

- > La morfología dominante es de laderas, con pendientes moderada.
- > Su basamento rocoso lo constituyen depósitos de deslizamientos sobre flujos piroclásticos.
- > La erosión es importante donde la cubierta vegetal ha sido reemplazada por pastos y cultivos; la meteorización es profunda, a ello se debe el desarrollo de suelos residuales, limos arcillosos de alta plasticidad MH y limos arcillosos SM-SC.
- > La escorrentía y el drenaje son deficientes, el sustrato presenta una permeabilidad que varía de media a baja.
- > Los taludes naturales varían de medianamente inestables a baja, por la saturación de los materiales y constitución de los suelos.
- > Estos sectores se convierten en zonas potencialmente inestables donde se se han desarrollado diversos fenómenos en masa de diversa magnitud.

#### **6.1.1.4.5 Características Físicas de los Suelos**

##### **Metodología**

La Compañía en el 2020, realizó 35 calicatas, cuya ubicación se indica en la Tabla 6-43 y en el Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-13 se las ha graficado. El trabajo en campo se puede resumir en los siguientes procedimientos:

1. Ubicación del sitio de muestreo.
2. Perforación manual, calicatas 1,5 x 1,5 m y profundidad máxima de 3 m o hasta llegar al *bedrock*.
3. Descripción y muestreo de cada uno de los horizontes de suelo, así como registro del pozo y muestras tomadas.
4. Estimación de densidad aparente.
5. Cierre de calicata.

### Construcción de calicatas

Para la construcción de las calicatas se tomaron las medidas de seguridad recomendadas por INV Minerales S.A., estabilización de paredes con uso de anillo plástico (d=1.5 m) y/ o paneles de madera, colocación de cintas de aviso para definir perímetro de trabajo, colocación de plástico para aislar el suelo de la capa vegetal, entre otras.

Por la filtración de agua en el pozo, debido a que algunas calicatas se encontraban en zona de humedal o pantano, fue necesario el uso de bombas para desaguarlos.

### Muestreo tipo Bulk

El muestreo se realizó siguiendo el siguiente protocolo:

- a. Documentación.
- b. Registro de Información: dimensiones del pozo, equipos usados, etc.
  - Descripción visual (tipo de suelos) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, Norma ASTM: D 2487.
  - Toma de muestra de 20 kg de cada uno de los horizontes identificados.
- c. Embalaje y etiquetado.
- d. Transporte
- e. Bodegaje para envío a laboratorio.

**Tabla 6-41 Fotografías Procedimientos Trabajos de Campo**

 <p>1 Ubicación de Punto de Muestreo</p>	 <p>2 Excavación</p>
	

3 Registro de Información	4 Toma de muestras
 <p data-bbox="386 705 643 737">5 Cierre y rehabilitación</p>	 <p data-bbox="987 695 1284 726">6 Materiales y herramientas</p>

Fuente: GEOMINGOLD, febrero 2020  
Elaboración: Entrix, marzo 2022

### Determinación Densidad Aparente

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g/ cm<sup>3</sup> o t/ m<sup>3</sup>), se usó el método del cilindro.

El método del cilindro consistió en introducir un cilindro biselado de volumen conocido (230 cm<sup>3</sup>) en el suelo, enrasando el suelo con los bordes, secar la muestra en estufa a 90° C por 48h00 hasta peso constante y obtener su valor de la siguiente manera:

$$D_{Ap} \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{peso suelo seco (g)} \times 100}{\text{volumen del cilindro (cm}^{-3}\text{)}}$$

Una de las desventajas de tomar la muestra con el cilindro, es que el valor puede variar con el tamaño del cilindro, siendo mayor la densidad cuando menor es el tamaño del cilindro, a causa de que no se captan los poros de mayor diámetro. En general, el método presenta poca variación, es fácil de repetir y su determinación es sencilla.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INTA CENTRO REGIONAL CHACO FORMOSA

**Tabla 6-42 Fotografías determinación de densidad de campo**



Fuente: GEOMINGOLD, febrero 2020  
Elaboración: Entrix, marzo 2022

### Determinación de humedad del suelo

La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo

Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo, se puede expresar gravimétricamente.<sup>2</sup>

Para la determinación de la humedad se ha usado el método gravimétrico, método directo, que consiste en tomar una muestra de y pesarla antes y después de su secado y calcular su contenido de humedad.

### Cálculos:

$$w = \frac{M_{ag}}{M_s} = \frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} = \left( \frac{M_{sh}}{M_{ss}} - 1 \right) 100$$

*W* = contenido de humedad gravimétrica.

*M w* = Masa del agua

*M s* = Masa de los sólidos

*M sh* = Masa del suelo húmedo

*M ss* = Masa del suelo secada en estufa

En la siguiente tabla se resume las características físicas de los suelos determinados en campo.

<sup>2</sup> UNAM, Manual de Procedimientos Analíticos

Página en blanco

**Tabla 6-43 Características Físicas de los Suelos. Determinaciones de Campo**

Calicata	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur		Altura (msnm)	Profundidad (m)	Bedrock	Muestra (m)		Humedad (%)	Densidad (g/cm3)	USCS (campo)	Fecha
	Este (m)	Norte (m)				Desde	Hasta				
T-01	697408,44	9662576,07	3802,36	0,800	Dc	0	0,8	98 %	0,622	Pt	02/06/2020
T-02	697574,03	9662600,78	3791,63	1,550	Dc	0	0,4	123 %	0,623	Pt	02/06/2020
						0,4	0,58	37 %	1,016	SM	02/06/2020
T-03	697442,38	9662665,59	3797,40	1,250	Dc	0	0,6	126 %	0,470	Pt	02/06/2020
						0,4	0,9	39 %	1,064	SM	02/06/2020
T-04	697632,35	9662760,14	3796,13	1,300	Dc	0,00	0,60	150 %	0,416	Pt	02/02/2020
						0,60	1,20	34 %	1,274	SM	02/02/2020
T-05	697557,86	9663112,55	-	0,600	Dc	0,00	0,35	224 %	0,311	Pt	02/06/2020
						0,35	0,55	62 %	0,729	SM	02/06/2020
T-06	697639,92	9663237,52	3786,39	1,400	Dc	0,00	1,10	243 %	0,296	Pt	02/06/2020
						1,10	1,30	48 %	1,048	GC	02/06/2020
T-07	697691,02	9663243,92	3784,61	2,300	tilita	0,00	1,35	932 %	0,117	Pt	02/05/2020
						1,35	1,70	204 %	0,389	OL	02/05/2020
						1,70	2,20	43 %	1,146	GC	02/05/2020
T-08	697691,02	9663243,92	3784,61	2,300	tilita	0,00	1,90	483 %	0,181	Pt	02/05/2020
						1,90	2,45	655 %	0,141	OL	02/05/2020
						2,45	3,00	31 %	1,419	GC	02/05/2020
T-09	697839,71	9663284,21	3773,62	2,100	Lv And	0,00	1,40	816 %	0,110	Pt	02/04/2020
						1,40	1,60	58 %	0,911	OL	02/04/2020
						1,60	2,10	37 %	1,161	GC	02/04/2020
T-10	697861,10	9663334,45	3772,03	2,350	Lv And	0,00	0,97	339 %	0,240	Pt	02/04/2020
						0,97	1,23	321 %	0,258	OL	02/04/2020
						1,23	2,30	43 %	1,230	GC	02/04/2020
T-11	697679,29	9663359,55	3789,83	1,800	Lv And	0,00	0,40	192 %	0,413	Pt	02/04/2020
						0,40	0,60	88 %	0,735	OL	02/04/2020
						0,60	1,35	53 %	0,928	MH	02/04/2020
T-12	697797,72	9663372,13	3780,65	2,600	tilita	0,00	0,75	412 %	0,177	Pt	02/04/2020
						0,75	1,20	295 %	0,241	OL	02/04/2020
						1,20	2,40	52 %	1,017	GC	02/04/2020
T-13	697763,87	9663433,00	3786,66	1,700	Lv And	0,00	0,57	135 %	0,493	Pt	02/05/2020
						0,57	0,78	35 %	1,133	GC	02/05/2020
T-14	697742,40	9663052,61	3789,28	0,900	Dc	0,00	0,45	91 %	0,737	Pt	02/03/2020
						0,45	0,85	45 %	0,941	SM	02/03/2020
T-15	697849,82	9663151,73	3780,62	2,400	Lv And	0,00	0,40	287 %	0,282	Pt	02/04/2020
						0,40	1,40	71 %	0,917	MH	02/04/2020

Calicata	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur		Altura (msnm)	Profundidad (m)	Bedrock	Muestra (m)		Humedad (%)	Densidad (g/cm3)	USCS (campo)	Fecha
	Este (m)	Norte (m)				Desde	Hasta				
						1,40	2,40	35 %	1,117	GC	02/04/2020
T-16	697974,33	9663090,02	3780,09	2,700	Lv And	0,00	0,95	330 %	0,245	Pt	02/03/2020
						0,95	2,25	825 %	0,113	OL	02/03/2020
						2,25	2,60	44 %	1,244	MH	02/03/2020
T-17	698118,79	9663106,65	3781,57	1,800	Lv And	0,00	0,52	153 %	0,457	Pt	02/03/2020
						0,52	0,85	16 %	0,865	MH	02/03/2020
T-18	698167,11	9662874,13	3791,63	0,300	Lv And	0,00	0,30	172 %	0,403	Pt	02/01/2020
T-19	698023,90	9662929,25	3790,89	1,000	Lv And	0,00	0,70	106 %	0,619	Pt	02/02/2020
						0,70	0,90	49 %	0,965	MH	02/02/2020
T-20	697873,34	9662968,49	3790,15	0,450	Lv And	0,00	0,40	89 %	0,698	Pt	02/03/2020
T-21	697694,70	9662755,37	3792,81	0,300	Dc	0,00	0,30	178 %	0,403	Pt	02/02/2020
T-22	697834,03	9662812,16	3788,25	1,500	Dc	0,00	0,35	239 %	0,354	Pt	02/02/2020
						0,35	0,58	47 %	1,054	OL	02/02/2020
						0,58	1,40	124 %	0,873	GM	02/02/2020
T-23	697933,17	9662686,91	3786,18	1,100	Dc	0,00	0,40	186 %	0,373	Pt	02/01/2020
						0,40	0,55	64 %	0,888	OL	02/01/2020
						0,55	1,00	34 %	1,061	SM	02/01/2020
T-24	698068,80	9662757,26	3792,89	1,200	Lv And	0,00	1,00	572 %	0,157	Pt	02/01/2020
						1,00	1,20	47 %	1,073	OL	02/01/2020
T-25	698225,98	9662726,06	-	2,500	Lv And	0,00	0,60	142 %	0,450	Pt	02/02/2020
						0,60	2,20	58 %	0,936	MH	02/02/2020
T-26	698100,65	9662484,90	3786,54	3,500	tilita	0,00	2,30	674 %	0,138	Pt	02/01/2020
						2,30	3,50	462 %	0,182	OL	02/01/2020
T-27	697817,25	9662514,81	3783,19	1,550	Dc	0,00	1,15	758 %	0,120	Pt	31/01/2020
						1,15	1,50	-29 %	1,319	SM	31/01/2020
T-28	697652,48	9662500,15	3785,53	1,300	Dc	0,00	0,45	123 %	0,500	Pt	31/01/2020
						0,45	1,30	24 %	1,538	SM	31/01/2020
T-29	697957,96	9663244,51	3771,04	2,600	tilita	0,00	1,05	352 %	0,251	Pt	02/04/2020
						1,05	1,45	78 %	0,891	OL	02/04/2020
						1,45	2,60	31 %	1,282	GC	02/04/2020
T-30	698012,82	9663160,84	3773,74	0,550	Lv And	0,00	0,30	420 %	0,197	Pt	02/03/2020
						0,30	0,45	32 %	1,210	GM	02/03/2020
T-31	698132,16	9663034,64	3786,13	1,450	Lv And	0,00	0,45	158 %	0,497	Pt	02/03/2020
						0,45	0,80	68 %	0,879	MH	02/03/2020
T-32	697702,81	9662897,46	3792,82	0,800	Dc	0,00	0,55	81 %	0,689	Pt	02/02/2020
						0,55	0,80	23 %	1,421	SM	02/02/2020

Calicata	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur		Altura (msnm)	Profundidad (m)	Bedrock	Muestra (m)		Humedad (%)	Densidad (g/cm3)	USCS (campo)	Fecha
	Este (m)	Norte (m)				Desde	Hasta				
T-33	697787,85	9662631,35	3785,67	1,300	Dc	0,00	0,60	312 %	0,261	Pt	31/01/2020
						0,60	1,10	41 %	1,352	SM	31/01/2020
T-34	697952,46	9662525,72	3784,79	2,600	Dc	0,00	1,60	1112 %	0,081	Pt	31/01/2020
						1,60	2,20	39 %	1,207	OL	31/01/2020
						2,20	2,60	24 %	1,486	GC	31/01/2020
T-35	698106,10	9662601,17	3790,11	2,500	tilita	0,00	1,60	679 %	0,132	Pt	02/02/2020
						1,60	1,95	566 %	0,150	OL	02/02/2020
						1,95	2,40	37 %	1,428	GM	02/02/2020

SUCS = Sistema unificado de clasificación de suelos; Pt = Suelo orgánico; OL Suelo orgánico limo arenoso; MH = Limo arcilloso de alta plasticidad; ML = Limos arenosos; SC = Arena arcillosa; SM = Arena limosa (saprolito de dacita); GC = Grava arcillosa; Dc = Dacita; Lv And = Lava andesítica.

Fuente: GEOMINGOLD, junio 2020  
 Elaboración: Entrix, marzo 2021

Página en blanco

Con base en los resultados de campo presentados, se efectúa el siguiente análisis:

### Densidad por Volumen

La densidad por volumen se define como la masa (peso) de un volumen de suelo seco. En la zona de estudio, la densidad del subsuelo de las muestras evaluadas para los suelos orgánicos varía de 0,081 a 0,891 g/cm<sup>3</sup>, y para los suelos residuales varía entre 0,729 a 1,538 g/cm<sup>3</sup>; desde el punto de vista geotécnico, son suelos con densidades naturales muy bajas a bajas, susceptibles a la erosión.

**Tabla 6-44 Densidad de los Suelos**

SUCS (campo)	Tipo	Densidad Aparente (promedio) g/cm <sup>3</sup>
Pt	Turba	0,358
OL	Limo orgánico	0,588
MH	Limo de alta plasticidad	0,976
SM	Arena limosa	01,182
GM	Grava arcillosa	1,173
GM	Grava limosa	1,63

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020  
Elaboración: Entrix, junio 2020

### Humedad de los Suelos

La estimación de densidad y humedad relativa se realizó por el método gravimétrico; la zona de estudio se ubicó en zona de páramo, en humedales y/o almohadillas y pantanos, por lo que muestran sobresaturación de agua, especialmente los suelos orgánicos. En la Tabla 6-45 se resume la humedad promedio de los suelos identificados:

**Tabla 6-45 Humedad Promedio de los Suelos**

SUCS (campo)	Tipo	Humedad (%)
Pt	Turba	328
OL	Limo orgánico	268
MH	Limo de alta plasticidad	51
SM	Arena limosa	31
GM	Grava arcillosa	30
GM	Grava limosa	64

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020  
Elaboración: Entrix, junio 2020

### Clasificación Unificada de los Suelos (SUCS)

La clasificación, siguiendo los códigos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), está basada principalmente en los límites de Atterberg, tamaño de las partículas y el contenido de la materia orgánica. De las perforaciones someras realizadas, se ha determinado los siguientes tipos de suelos:

**Tabla 6-46 Tipos de Suelos**

SUCS	Tipo	Espesor Promedio (m)	Espesor Mínimo (m)	Espesor Máximo (m)
Pt	Turba	0,79	0,3	1,9
OL	Limo orgánico	1,46	0,2	1,3

SUCS	Tipo	Espesor Promedio (m)	Espesor Mínimo (m)	Espesor Máximo (m)
MH	Limo de alta plasticidad	0,7	0,2	1,0
SM	Arena limosa	0,42	0,2	0,85
GC	Grava arcillosa	0,68	0,21	1,2
GM	Grava limosa	0,47	0,15	0,82

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020

Elaboración: Entrix, junio 2020

### Resultados de Laboratorios

Además de las determinaciones efectuadas en campo, se seleccionaron 19 muestras representativas de las diferentes calicatas y a diferentes profundidades para realizar la determinación granulométrica, Límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad) y con ello su clasificación SUCS, según las Normas ASTM: ASTM D-2216, D-422, D-4318, D-2487, estos análisis se los realizó en los laboratorios de GEOESTUDIOS de la ciudad de Guayaquil.

**Tabla 6-77 Características Físicas de los Suelos. Resultados de Laboratorio**

Calicata	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Profundidad (m)	Bedrock	Código Muestra	Muestra (m)		Humedad (%)	No 4 (%)	No 200 (%)	LW (%)	LP (%)	IP (%)	USCS (Laboratorio)	Fecha
	Este (m)	Norte (m)				Desde	Hasta								
T-05	697557,86	9663112,55	0,60	Dc	T-08-B	0,35	0,55	52	93	63	51	38	13	MH	02/6/2020
T-07	697691,02	9663243,92	2,30	tilita	T-07-B	1,35	1,70	248	96	26	60	46	14	SM	02/5/2020
					T-07-C	1,70	2,20	50	100	72	37	25	12	ML	02/5/2020
T10	697861,10	9663334,45	2,35	Lv And	T-10-C	1,23	2,30	78	99	76	52	37	15	MH	02/4/2020
T-11	697679,29	9663359,55	1,80	Lv And	T-11-C	0,60	1,35	54	100	40	54	44	10	SM	02/4/2020
T-12	697797,72	9663372,13	2,60	tilita	T-12-B	0,75	1,20	79	100	63	54	23	31	CH	02/4/2020
					T-12-C	1,20	2,40	62	100	63	46	31	15	ML	02/4/2020
T-15	697849,82	9663151,73	2,40	Lv And	T-15-C	1,40	2,40	39	100	72	45	32	13	ML	02/4/2020
T-16	697974,33	9663090,02	2,70	Lv And	T-16-B	0,95	2,25	747	100	100	NP	NP	NP	ML	02/3/2020
					T-16-C	2,25	2,60	31	66	50	51	29	22	MH	02/3/2020
T-22	697834,03	9662812,16	1,50	Dc	T-22-C	0,58	1,40	56	100	79	41	29	12	ML	02/2/2020

Calicata	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Profundidad (m)	Bedrock	Código Muestra	Muestra (m)		Humedad (%)	No 4 (%)	No 200 (%)	LW (%)	LP (%)	IP (%)	USCS (Laboratorio)	Fecha
	Este (m)	Norte (m)				Desde	Hasta								
T-28	697652,48	9662500,15	1,30	Dc	T-28-B	0,45	1,30	27	97	75	30	25	5	ML	31/1/2020
T-29	697957,96	9663244,51	2,60	tilita	T-29-B	1,05	1,45	72	100	83	61	39	22	MH	02/4/2020
					T-29-B	1,45	2,60	66	99	67	48	31	17	ML	02/4/2020
T-30	698012,82	9663160,84	0,55	Lv And	T-30-B	0,30	0,45	32	95	62	42	30	12	ML	02/3/2020
T-31	698132,16	9663034,64	1,45	Lv And	T-31-B	0,45	0,80	53	99	89	91	53	38	MH	02/3/2020
T-33	697787,85	9662631,35	1,30	Dc		0,60	1,10	42	100	82	32	26	6	ML	31/01/2020
T-34	697952,46	9662525,72	2,60	Dc	T-34-B	1,60	2,20	53	92	44	43	34	9	SM	31/01/2020
					T-34-C	2,20	2,60	34	100	86	28	25	3	ML	31/01/2020
T-35	698106,10	9662601,17	2,50	tilita	T-35-C	1,95	2,40	50	77	55	64	41	23	MH	02/2/2020

SUCS = Sistema unificado de clasificación de suelos; MH = Limo arcilloso de alta plasticidad; ML = Limos arenosos; CH = Arcilla Limosa. SM = Arena limosa; LW = Límite Líquido; LP = Límite Plástico; IP = Índice de Plasticidad

Fuente: GEOMINGOLD, junio 2020

Elaboración: Entrix, marzo 2021

En función de los resultados de laboratorio, de las muestras más representativas analizadas, se puede destacar las siguientes características geomecánicas:

### Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre los límites líquidos (LW) y plásticos (LP) de los suelos (es conocido como el Límite de Atterberg). Este índice tiene una relación inversa con la permeabilidad y compresibilidad del suelo; mientras más bajo es el valor del IP, más alto son los valores de permeabilidad y compresibilidad o viceversa. Un suelo con un IP entre 0-3 es no plástico; entre 4-15, ligeramente plástico; entre 15-30, moderadamente plástico; y, superior a 30 es altamente plástico.

**Tabla 6-78 Rango de Índice de Plasticidad por tipo de suelo.**

IP (%)	Tipo de IP	Tipos de Suelos	Valores de IP (%)
0 - 3	No plástico	ML	NP
4 – 15	Ligeramente plástico	-	-
15 – 30	Moderadamente plástico	MH; CH, ML y SM	25 - 29
>30	Altamente plástico	MH; ML; SM	30 - 53

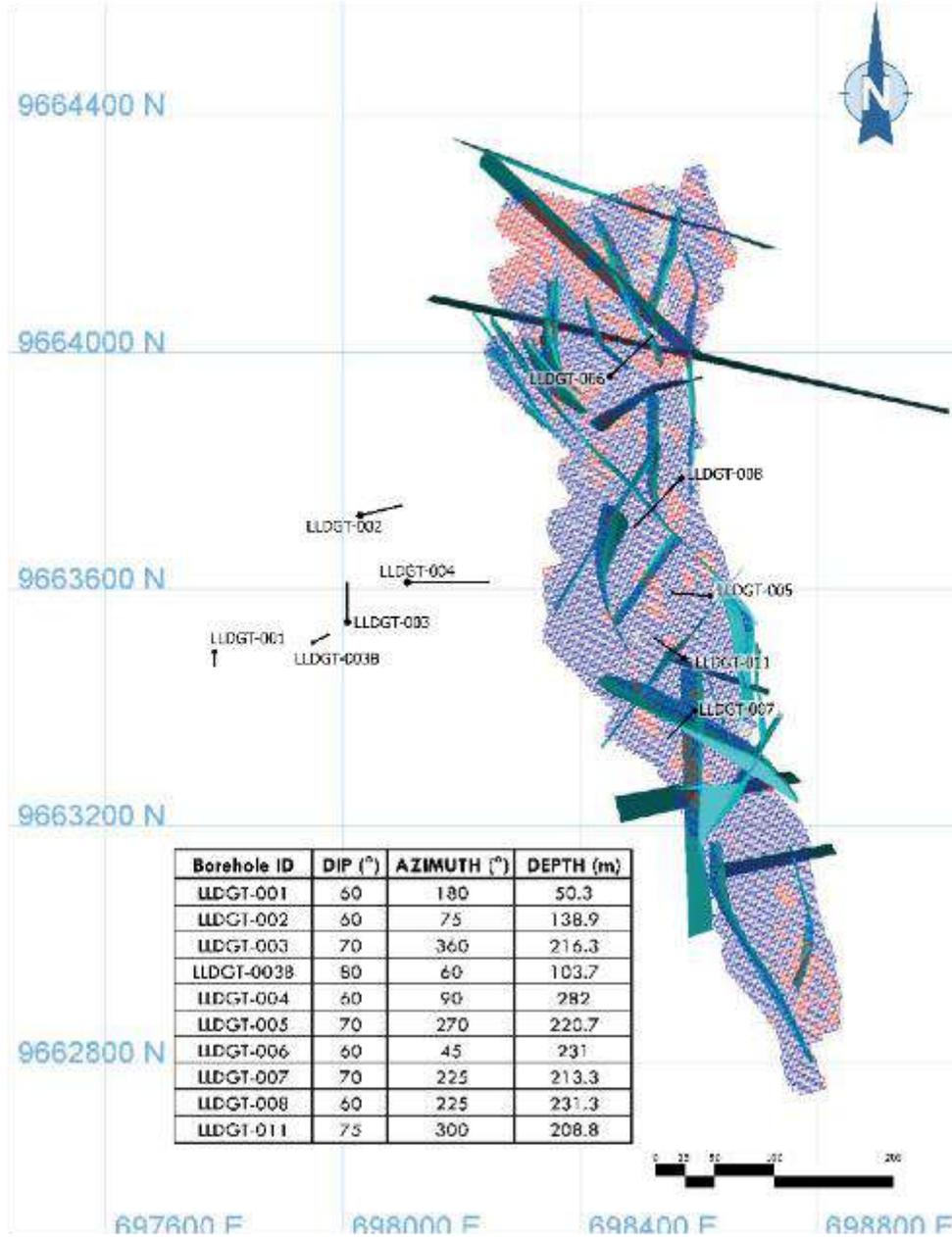
MH = Limo arcilloso de alta plasticidad; ML = Limos arenosos; CH = Arcilla Limosa. SM = Arena limosa; IP = Índice de Plasticidad

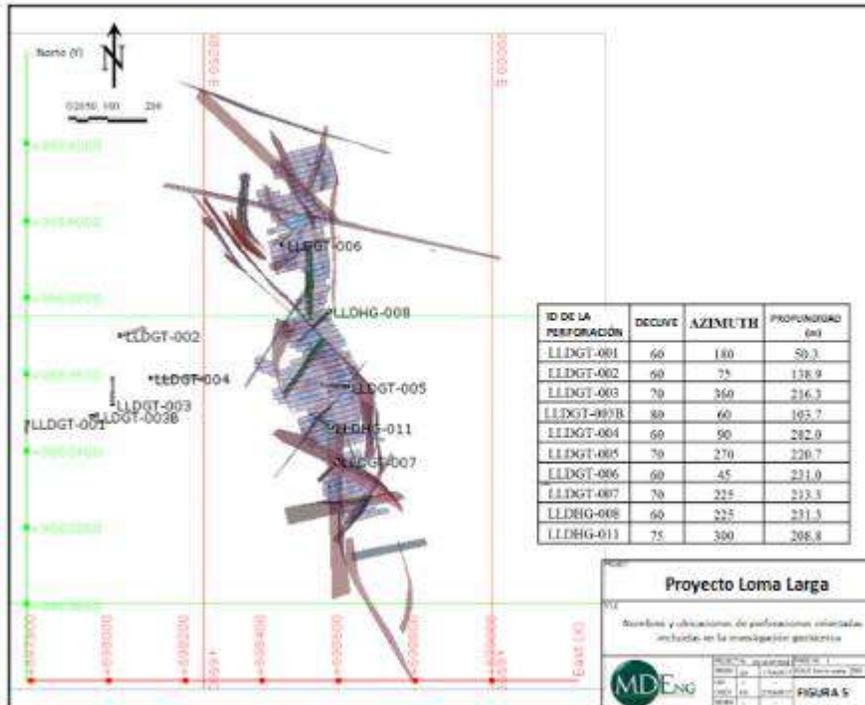
Fuente: GEOMINGOLD, febrero 2020  
Elaboración: Entrix, marzo 2021

Las muestras analizadas presentan un IP no plástico (NP) a altamente plástico (53%), pero en su mayoría predominan los valores de 15 % al 53%, que indican que son suelos de moderadamente plásticos a altamente plásticos, en consecuencia, presentan baja permeabilidad y baja compresibilidad.

### Resumen de la Investigación Geotécnica del Sitio donde se Implantará la Rampa Principal

Durante la campaña de perforación, la Compañía, en el 2016, perforó un total de 10 pozos orientados, que suman 1896 m, los cuales se ejecutaron con fines geotécnicos. Los datos estructurales recopilados durante el registro de núcleos proporcionaron mediciones de orientación para 3870 entidades, que se utilizaban para identificar dominios estructurales. Se señala que el programa de perforación geotécnica se superponía con una investigación de sitio hidrogeológico realizada por Itasca, algunos sondeos se compartían para investigaciones geotécnicas e hidrogeológicas. Los componentes hidrogeológicos del programa de campo se discutirán en el subtema de Hidrogeología.





**Figura 6-53 Ubicación y Orientación de las Perforaciones Geotécnicas**

Fuente y elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020

Las pruebas de resistencia, incluidas las pruebas de SCP triaxiales y de tracción, se llevaron a cabo en 44 muestras representativas, con especial atención en áreas donde la información estaba limitada o ausente de investigaciones anteriores. Como resultado, se caracterizó la resistencia de la unidad litológica dacita, donde se espera que la rampa principal sea perforada; este fue el objetivo principal.

Además, se realizaron pruebas de hinchamiento no confinadas en tres muestras alteradas de esmitsonita, del sondeo LLDGT-004, para determinar las presiones que deberán tenerse en cuenta al diseñar excavaciones en arcillas expansivas. Las presiones resultantes oscilaron entre 300 y 900 kPa; estas fueron alcanzadas en 24 horas o menos.

### *Caracterización Geotécnica del Sitio*

Los valores medios de  $Q'$  y RMR de la campaña 2016, así como los valores RMR\* de las campañas anteriores, se presentan en la Tabla 6-47.

**Tabla 6-47 Resumen de las Estadísticas de Clasificación de Masas Rocosas**

Alteración	$Q' 50$	RMR50	RMR*50
Fresca	13,2	67	n/a
Silica	20,5	71	73
Caolinítica	7,7	62	63
Illta	6,2	60	54
Propilítica	9,7	64	63
Dicrita	9,6	64	66

Alteración	Q' 50	RMR50	RMR*50
Esmitsonita	8,4	63	52
Esmitsonita y clorito	4,4	57	57
Esmitsonita y clorita	3,1	54	46

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020

Elaboración: Entrix, junio 2020

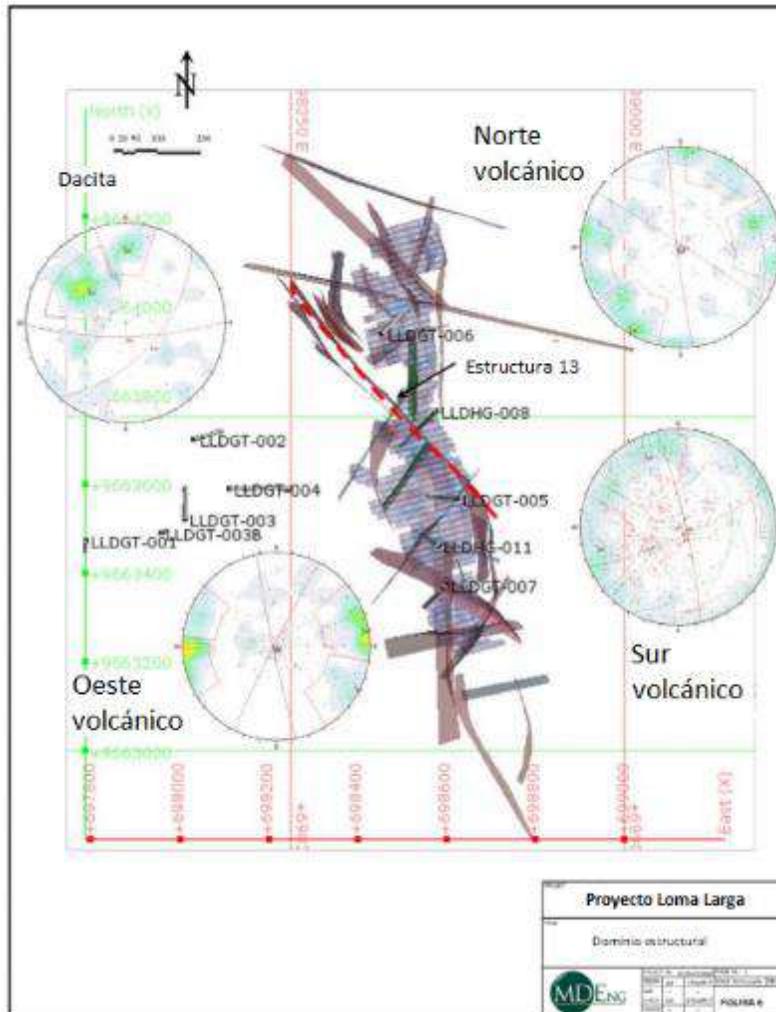
Los datos geotécnicos indican que el tipo de alteración hidrotermal y la intensidad de esta son los factores más importantes que controlan la calidad de la masa rocosa. El modelo de alteración geológica es directamente aplicable al dominio espacial para la calidad de la masa rocosa. La calidad de la masa de roca se resume como sigue:

- > Inalterado: Fuerte a muy fuerte, buena calidad.
- > Sílice: Muy fuerte a extremadamente fuerte, buena calidad.
- > Alunita: Fuerte a muy fuerte, de buena calidad.
- > Dickita: Medio fuerte a fuerte, justo a buena calidad.
- > Caolinita: Medio fuerte a fuerte, justo a buena calidad.
- > Esmitsonita e Illita: Débil a fuerte, de mala a calidad justa.
- > Esmitsonita y clorita: Calidad justa de débil a moderadamente fuerte (nota: terreno demasiado fracturado para la muestra o prueba, la estimación de la fuerza se basa en pruebas índice).

La masa rocosa es de buena calidad, con una resistencia de rocosa fresca, es de medio fuerte a muy fuerte, no presenta ninguna bandera roja geotécnica obvia para el diseño de la mina. Se requerirán consideraciones especiales para las zonas de suelo o zonas afectadas con alteración de esmitsonita e illita; sin embargo, no se espera que estas condiciones sean similares con una porción sustancial de la masa rocosa a la escala de la mina.

El análisis Stereonet de los datos de orientación recopilados se utilizó para definir cuatro dominios estructurales delineados espacialmente y por geología, y se identifican de la siguiente manera:

- > Dacita
- > Volcánicos del Norte
- > Volcánicos del Sur
- > Volcánicos del Oeste



**Figura 6-54 Dominios Estructurales**

Fuente y elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020

Los tres dominios volcánicos tienen un conjunto común y empujado que se orienta N-S (J1), correlacionando con fallas regionales de desplazamiento; por lo tanto, la dacita emplazada, después de la formación de estas características, no comparte esta tendencia estructural. Los dominios volcánicos Norte y Sur tienen conjuntos de inmersión empujada adicionales (J2 y J3 respectivamente); ambos se correlacionan con las tendencias de fallas en cada uno de los dominios respectivos. Además de los conjuntos de articulaciones identificados, la unión aleatoria se produce en todos los dominios.

### *Recomendaciones para el Trabajo Futuro y Consideraciones para el Diseño*

Los datos geotécnicos combinados de la campaña de campo MDEng 2016 y estudios anteriores, se han utilizado para completar la caracterización geomecánica del sitio, que es de suficiente detalle para apoyar el diseño de mina subterránea de nivel de viabilidad para el proyecto Loma Larga. Esta sección proporciona un resumen de los aspectos de diseño geomecánico que se espera que se completen con el estudio de viabilidad, con el fin de resaltar las consideraciones clave para el diseño.

### *Diseño de Soporte de la Roca*

El modelo geotécnico del sitio tiene datos suficientes para apoyar el diseño empírico de soporte de roca (caracterización de la roca), así como análisis analíticos de estabilidad de cuña (familias de fallas y dominios estructurales).

Debe tenerse en cuenta específicamente el diseño de soporte en tierra a:

- > Degradación de la roca: Las rocas con alto contenido de arcilla serán susceptibles al deterioro cuando se exponen. Debe considerarse en el diseño de soporte de la roca para mitigar el deterioro dependiente del tiempo de las unidades de roca ricas en arcilla.
- > Arcillas expansivas: Las rocas alteradas con smithsonita e illita han demostrado ser susceptibles a la expansión. El diseño de soporte terrestre deberá tener en cuenta las presiones de expansión.

### *Método de Minería-Tamaño del Rebaje*

El modelo geotécnico del sitio tiene suficiente calidad de masa de roca y datos de orientación estructural para el tamaño del rebaje. Las restricciones geotécnicas en las dimensiones del rebaje se pueden considerar junto con el relleno posterior (tipo y resistencia) y las demandas de producción para evaluar las opciones de método de minería de datos, consideración adicional para el diseño de voladura y el método de minería:

- > El mineral se aloja principalmente dentro de la zona silicificada. La muy alta resistencia de esta unidad puede requerir una consideración especial para las operaciones de perforación y voladura.
- > Si bien la mayoría del mineral se localiza dentro de la zona silicificada, algunos rebajes (particularmente en las cercanías del mineral) pueden exponer los dominios alterados de arcilla en las periferias o paredes. Se debe tener en cuenta el modelo geológico (alteración) para identificar dónde los diseños de rebajes pueden requerir ajustes debido a la variabilidad local en la calidad de la masa rocosa.
- > La secuenciación estratégica puede ser necesaria cuando el desarrollo del acceso al mineral debe pasar a través de arcillas expansivas, limitando el tiempo necesario para mantener cortes temporales en estas unidades.

### *Desarrollo e Infraestructura (emplazamiento)*

El programa de investigación del sitio geotécnico MDEng 2016 prestó especial atención a la definición de las condiciones del terreno en y alrededor de la alineación de la rampa. La alineación de la rampa se ajustó durante el programa de perforación en el intento de apuntar a terreno silicificado y evitar unidades alteradas de arcilla. La alineación de la actual rampa se proyectó en dacita, cruza un contacto de falla entre la dacita y la roca volcánica, y luego sigue lo que se ha interpretado como una fase silicificada en los volcánicos hacia el cuerpo del mineral.

### *Consideraciones Adicionales para el Desarrollo*

- > Arcillas expansivas: Las rocas alteradas con smithsonita e illita deben evitarse para infraestructura permanente. Si se deben desarrollar estas unidades, se requerirán criterios de diseño especiales.
- > El diseño de perforación y voladura puede requerir una consideración específica para la muy alta resistencia de los dominios silicificados.
- > El contacto dacita/volcánico defectuoso es una zona de falla estrecha de unos 3 a 4 m de ancho. No se considera un riesgo importante para el desarrollo de las rampas, sin embargo, se deben hacer consideraciones específicas de diseño para el desarrollo a través de esta zona.

### *Pilar Corona*

Hay amplios datos de calidad de masa rocosa disponibles para apoyar el diseño del pilar corona. Los criterios de diseño de *crownpillar* dependerán de los componentes de tamaño de rebaje, relleno y del método de diseño subterráneo de la mina. El diseño del pilar corona debe considerar:

- > Profundidades de sobrecarga. Se observa que el espesor de sobrecarga varía a través del sitio, desde el afloramiento de roca (es decir, sin sobrecarga) hasta suelos residuales que se extienden 10 m por debajo de la superficie. En general, las zonas de sobrecarga y suelo residual son más gruesas en los bajos topográficos, aunque los depósitos de morrena no siguen estrictamente esta tendencia.
- > Perfiles de intemperie. Se recomienda un análisis separado de la calidad de la roca en el pilar corona, ya que, a diferencia de la zona de mineral, es más probable que se controle por la alteración a la intemperie. La base de datos existente proporciona información suficiente para este análisis.
- > Estructuras de fallas.
- > Las condiciones del suelo variarán espacialmente, y el modelo geológico (alteración) debe tenerse en cuenta.

### *Fuente de Agregado para la Construcción*

Hay dacita inalterada, y la andesita puede ser adecuada para su uso como agregado para la construcción de la carretera. Ambas unidades son típicamente resistentes a muy resistentes. Se debe tener en cuenta los factores ambientales y la durabilidad de estos materiales.

### **Caracterización del Sitio para la Entrada de Diseño de Nivel FS**

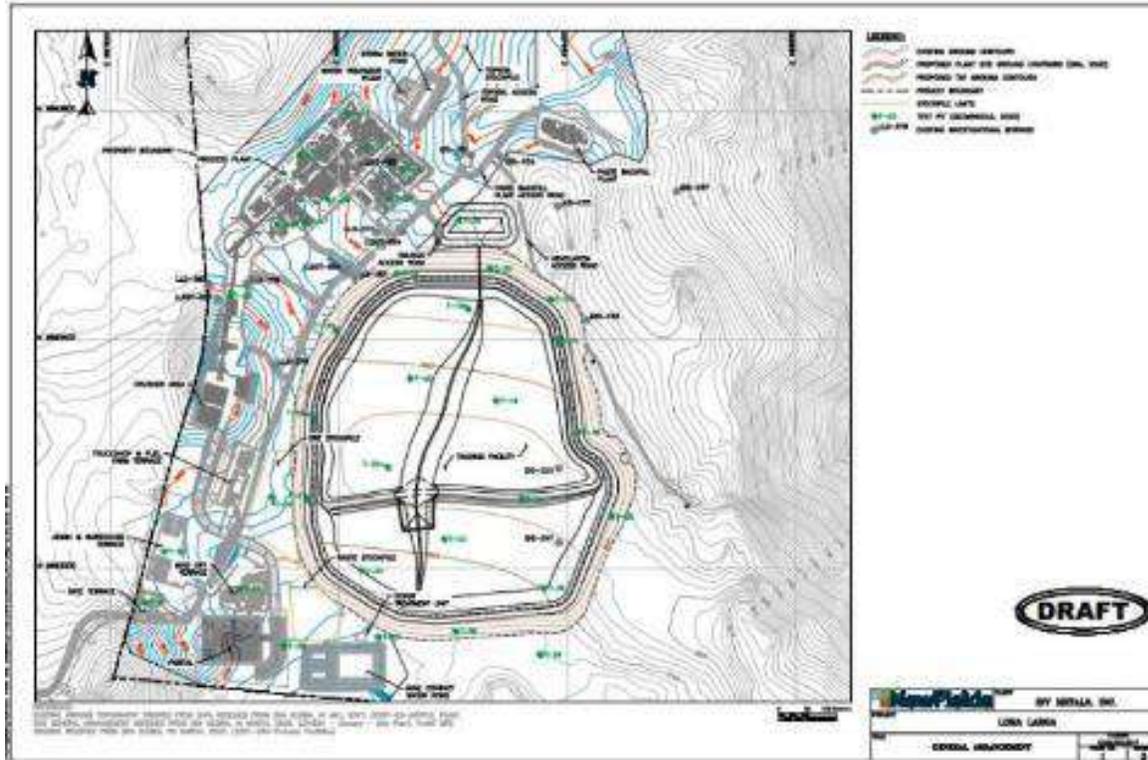
Dado que las condiciones de masa rocosa están estrechamente correlacionadas con el tipo de roca y la alteración, un modelo de alteración geológica detallado servirá como una excelente herramienta para predecir las condiciones del suelo. El modelo de alteración de Loma Larga debe actualizarse y mantenerse rutinariamente durante la ejecución del Proyecto.

El programa de hidrogeología recientemente realizado y el modelado de aguas subterráneas proporcionan información adicional para todos los aspectos de los diseños geotécnicos en curso.

### **Resumen de la Investigación Geotécnica donde se Implantará el Sitio de la Planta de Facilidades**

#### Ubicación

El sitio de la planta se encuentra a una altitud de aproximadamente 3800 msnm. En general, las instalaciones se encuentran a lo largo del sector sur y este de una serie de pequeñas colinas adyacentes a la carretera de acceso principal y la instalación de almacenamiento de relaves filtrados (FTSF). La Figura 6-55 presenta la disposición general de las instalaciones de la planta y la clasificación propuesta.



**Figura 6-55 Ubicación de la Disposición General de las Instalaciones de la Planta**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC., junio 2020  
Investigación de campo: Mine Design Engineering Inc. (MDEng),2016

Geomgold (2020) completó la excavación y clasificación visual de 35 pozos de ensayo en todo el sitio de la planta y el área de FTSF a principios de 2020, y la ubicación de los pozos de ensayo se muestran en la Figura 6-55 anterior. NewFields analizó las muestras de pozos de investigación e identificó muestras seleccionadas para pruebas de laboratorio posteriores. La Compañía organizó el transporte de esas muestras y la contratación de un laboratorio de pruebas regional. Durante el diseño detallado de las instalaciones, se completarán las investigaciones complementarias.

#### Condiciones del Subsuelo

Las condiciones del subsuelo a través de las implantaciones de las estructuras propuestas son relativamente consistentes. Con base en la observación visual, en general, el subsuelo consiste en diferentes espesores de una capa superficial altamente orgánica sobre el suelo residual. La capa orgánica superficial, registrada como turba (Geomgold, 2020), es altamente orgánica, compresible y oscila entre 0,3 y 2 m de espesor aproximadamente, con un espesor medio de aproximadamente 1 m. La capa residual del suelo era muy delgada en algunos lugares, a más de un par de metros de espesor, y los materiales fueron clasificados como limo de alta plasticidad, arena limosa o grava limosa y arcillosa. Se encontraron algunos materiales competentes como sobrecarga, pero los depósitos son delgados, variables y no espacialmente extensos en todo el sitio. Se observó que la profundidad de roca competente era de aproximadamente 0,5 a 3 m. Varios tipos de rocas subyacen a la sobrecarga en el área del sitio de la planta (Geomgold, 2020). Se encontró dacita desde la plataforma del portal, en el sur, hasta aproximadamente la ubicación del molino. Al norte del molino, el tipo de roca cambió a lava andesítica y morrena cementada. Basados en la observación visual de los pozos de ensayo, los materiales de la roca tienen la consistencia y la resistencia que van desde arcilla rígida media a roca blanda a roca competente, dependiendo del grado de meteorización.

## Recomendaciones Geotécnicas

Este informe geotécnico se ha preparado para resumir los datos disponibles y presentar conclusiones y recomendaciones basadas en el desarrollo de infraestructura propuesto y las condiciones subsuperficiales observadas e inferidas en todo el sitio de la planta. Los parámetros de diseño y una discusión de consideraciones de ingeniería geotécnica, relacionadas con la construcción de los diversos componentes de las instalaciones propuestas, se incluyen aquí.

### *Obras de Tierra*

La nivelación será necesaria para crear plataformas para la mayoría de la infraestructura de superficie. La clasificación propuesta fue proporcionada por DRA (Figura 6-55). En general, se debe eliminar la sobrecarga, se debe completar la excavación de rocas, se debe avanzar la clasificación general con relleno común para desarrollar plataformas de las instalaciones, y las instalaciones se desarrollan directamente en la roca o en el relleno estructural debidamente compactado. La nivelación debe incluir el desmontaje, la limpieza y el arranque, la preparación del sustrato expuesto y la colocación y compactación de los materiales de relleno, tal como se describe en las siguientes subsecciones. El desbroce incluye la eliminación de los suelos orgánicos existentes cerca de la superficie, otros suelos de sobrecarga inadecuados y, en algunos lugares, se espera una excavación significativa de roca. Se dispone de datos limitados para estimar la ondulación de la roca subyacente utilizando métodos tradicionales de excavación mecánica, pero la observación visual de afloramientos de rocas expuestas, rocas encontradas en la base de los pozos de ensayo y muestras de núcleo indica que hay poca o ninguna roca ripable. En lugar de datos adicionales, se recomienda asumir la necesidad de aplicar voladura para toda la excavación de rocas.

### *Preparación del Sitio*

Los productos orgánicos de superficie, la vegetación existente y cualquier material nocivo deben ser despojados de las áreas para recibir relleno y/o estructuras. Los materiales orgánicos deben almacenarse en lugares aprobados por la Compañía. Durante la construcción se debe mantener el drenaje positivo lejos de los cimientos. Si los cimientos se construyen sobre relleno común o residuo existente, el sustrato expuesto debe escarificarse a una profundidad mínima de 150 mm, con condición de humedad de compactación y, a continuación, el ensayo de compactación antes de la colocación del relleno estructural para las estructuras superpuestas.

Las áreas que se desvían más de 25 mm durante la corrección deben excavarse en exceso un mínimo de un metro y reemplazarse y compactarse en tramos de 20 cm. Alternativamente, las áreas inaceptables se pueden quitar y reemplazar. La superficie de relleno compactado, tanto estructural como común, puede deteriorarse y perder fuerza cuando se expone a cambios ambientales y actividad de construcción. En general, después de retrasos sustanciales en la nivelación debido a condiciones climáticas u otros factores, la superficie del sustrato del suelo debe ser examinado con un ensayo de densidad antes de la colocación de relleno adicional o construcción de pavimentos y losas.

### **Roca para Relleno/Relleno**

Sobre la base de la nivelación propuesta, se requerirá material de relleno común para llevar el sitio a las elevaciones especificadas y se necesitarán rellenos estructurales y selectos alrededor de las estructuras. Se recomiendan los siguientes materiales para movimientos de tierra asociados a la infraestructura de superficie:

- > El relleno común se debe utilizar para llevar las nivelaciones de las instalaciones a la calidad proyectada, para su uso en pendientes de ingeniería y para la sustitución localizada de materiales nocivos. Se recomienda que el relleno común se componga de materiales naturales de menos de 150 mm de diámetro nominal, siempre que el material de relleno no se considere nocivo. En general,

el relleno común estaría compuesto por materiales de sitio existentes desarrollados a partir de la clasificación en bruto de las instalaciones del proyecto (excavación competente de suelo y roca de sobrecarga), pero puede ser necesario algún procesamiento para triturar y eliminar partículas de gran tamaño y partículas finas.

- > El relleno estructural debe utilizarse alrededor de los cimientos y losas no construidas directamente sobre roca sana. Se recomienda que el relleno estructural esté compuesto por materiales de menos de 75 mm de diámetro nominal, con un 25 a 60 %, pasando el tamaño del tamiz #4 (4,75 mm), menos del 12 %, pasando el tamiz No. 200 (75 micras) y un índice de plasticidad (PI) inferior a 6.
- > Relleno seleccionado, calificado, debe utilizarse como material de relleno detrás de muros de contención, como medio de drenaje y como una capa de rodadura de uso final para áreas generales dentro del sitio de la planta. Se recomienda que el relleno seleccionado se componga de material no plástico, 50 mm menos con menos del 10 % de materiales que pasan por el tamiz No. 200.
- > Si no hay suficiente material disponible en el préstamo local, el material traído de canteras fuera del sitio debe ser aprobado previamente por NewFields antes del transporte.

### *Material Nocivo*

Los materiales distintos de los descritos anteriormente deben considerarse insatisfactorios, a menos que un ingeniero geotécnico calificado indique lo contrario después de la inspección visual del material. Estos materiales insatisfactorios no deben utilizarse para el relleno común, independientemente de si proceden de una fuente o se encuentren en el sitio. Los suelos insatisfactorios incluyen suelos orgánicos, suelos con cantidades apreciables de orgánicos y otros suelos de alta plasticidad. Los suelos que se clasifican como de grano fino (arcillas y limos) y que presentan un PI superior a 20 se consideran materiales de alta plasticidad. El material nocivo también incluye cualquier materia orgánica, madera, metal y tuberías, y puede incluir residuos de hormigón o suelo que contenga grandes adoquines y cantos rodados (más de 300 mm).

### Colocación de Relleno y Compactación

El contenido de humedad de los materiales de relleno debe controlarse para facilitar el manejo y la colocación, así como para lograr la compactación especificada. Los suelos deben ser compactados al contenido óptimo de humedad para limitar la susceptibilidad al cambio de volumen. La Tabla 6-48 resume los requisitos mínimos de compactación recomendados para el suelo de relleno dentro del área de la planta.

**Tabla 6-48 Requisitos Mínimos de Compactación**

<b>Material</b>	<b>Compactación Relativa Mínima (porcentaje)</b>
Subrasante: Prueba de rodamiento	92
Relleno común	92
Relleno estructural	95
Seleccionar relleno-estructuras de retención, trincheras	90
Nota: La compactación relativa mínima recomendada para la colocación del relleno se expresa como un porcentaje del peso unitario seco máximo, de acuerdo con la prueba de laboratorio de Proctor Modificada (ASTM D1557). El llenado debe estar acondicionado por humedad y colocarse a un valor no inferior al uno por ciento por debajo de la humedad óptima o tres por ciento por encima de la humedad óptima.	

Fuente: Geomgold, junio 2020  
Elaboración: Entrix, junio 2020

El relleno debe colocarse en capas de no más de 300 mm de espesor, medido cuando el material está suelto, y se utiliza equipo pesado para la compactación. Para equipos de compactación ligera (equipos accionados a mano), las capas no deben ser más gruesas que 150 mm de espesor. La compactación manual debe realizarse para todos los rellenos dentro de un metro de las patas de hormigón existentes, paredes de tallo o estructuras de retención del suelo. Las capas más gruesas solo deben utilizarse con el permiso del ingeniero geotécnico responsable de probar la colocación del relleno. Si se proporciona material más grueso para el relleno común, se puede emplear una especificación de método para la colocación y compactación. El USACE (1994) proporciona recomendaciones para los rellenos de prueba para el control de la colocación de material grueso. La práctica estándar para la compactación del relleno de roca no propenso a una degradación excesiva son cuatro pasadas de un rodillo vibratorio por cada 10 Tom, para un espesor de elevación de hasta 1 m, y los rodillos más pesados normalmente no ofrecen mejoras significativas de compactación.

### *Monitoreo de Movimiento de Tierras*

Se espera que la inspección y las pruebas de control de calidad se lleven a cabo en todo el terreno. Toda colocación de relleno y la prueba de rodaje de subbase expuestas deben ser monitoreadas y documentadas visualmente por un ingeniero residente experimentado o un técnico de suelo, para verificar que el material nocivo o las áreas blandas no están presentes y que se ha logrado la colocación y compactación adecuadas de los materiales. Para el movimiento de tierras en masa, las especificaciones de construcción deben requerir al menos una prueba de densidad en el lugar del relleno compactado por cada 500 m<sup>3</sup>, con un mínimo de una prueba de densidad para cada elevación. Para el relleno en zanjas o alrededor de estructuras, las especificaciones de construcción deben requerir al menos una prueba de densidad en el lugar del relleno compactado por cada 100 m<sup>3</sup> de relleno, con un mínimo de una prueba para cada elevación.

Antes de que comiencen las operaciones de llenado, se deben probar muestras representativas de los materiales de relleno propuestos para determinar las características de compactación de laboratorio, de acuerdo con la prueba del Proctor modificado (ASTM D1557 o equivalente). Además, todos los materiales de relleno deben ser probados para la distribución del tamaño de partícula y los límites de Atterberg, de acuerdo con las normas ASTM D6913 y D4318 (o equivalente).

### *Recomendaciones para las Fundaciones*

Sobre la base de la comprensión de los técnicos de campo de la infraestructura propuesta, las cargas estructurales previstas, las condiciones del subsuelo, las diversas infraestructuras pueden ser soportadas utilizando una combinación de zapatas poco profundas y cimientos de losas flexibles y rígidas. Las evaluaciones de la fundación consideraron la capacidad de carga permitida en función de la resistencia al cizallamiento, así como del asentamiento tolerable.

Teniendo en cuenta el suelo orgánico saturado en la superficie y el limo de alta plasticidad que es frecuente en todo el sitio, la mayoría de las estructuras grandes deben cimentarse en la roca para evitar los asentamientos a largo plazo. Durante la reciente campaña de perforación, se encontró material de sobrecarga competente, pero los depósitos son espacialmente variables, delgados e inconsistentes. Para evitar una distorsión excesiva y un rendimiento potencialmente insatisfactorio, las estructuras no deben construirse a través de transiciones de corte para rellenar y, si se basan en el relleno, el espesor de relleno compactado debajo de la estructura debe ser relativamente consistente. Las recomendaciones geotécnicas para el diseño y la construcción de cimentaciones se presentan en las siguientes subsecciones.

### *Cimentaciones Superficiales en Roca*

La capacidad portante (bruta) admisible para cimentaciones poco profundas en la masa rocosa fracturada homogénea confinada lateralmente se basó en el criterio de rotura de Hoek-Brown, utilizando una metodología presentada por Wyllie (1999). Como se ha discutido anteriormente, las instalaciones se cimentarán en depósitos de dacita, andesita y morrena cementada. Los datos existentes proporcionados por LA COMPAÑÍA se utilizaron para estimar las propiedades de la masa rocosa para estos materiales cercanos a la superficie, y los parámetros se enumeran en la Tabla 6-49. Cabe señalar que se observó que las propiedades de la roca aumentan con la profundidad, aunque estaban cerca de los valores mínimos en la profundidad inicialmente encontrada (contacto de roca). Cualitativamente, se suponía que la masa rocosa cercana era limitada con buena calidad en superficie.

**Tabla 6-49 Propiedades de la Masa de Roca**

Propiedad	Dacita	Andesita	Morrena	Referencia
Resistencia de la roca (calificación cualitativa de núcleo)	R2	R1	R0	Pruebas geotécnicas IAMGOLD (R2-roca débil; R1-roca muy débil; R0-roca extremadamente débil)
Resistencia a la compresión sin confinamiento (MPa)	5	1,3	0,75	Datos de prueba de carga de puntos IAMGOLD y correlaciones con la clasificación de resistencia de roca
Índice de Fuerza Geológica	50	50	50	Estructura superficial alterada y en bloque; buen estado de la superficie
Parámetro de material, mi	25	20	15	Valor típico
Parámetro de material reducido, mb	4,2	3,4	2,5	Hoek & Brown (1997)
Parámetro de fractura, s	0,004	0,004	0,004	Hoek & Brown (1997)

Fuente: Geomgold, 2020

Elaboración: Entrix, 2020

La capacidad de carga es limitante para estructuras cimentadas en morrena. Los cimientos empotrables (un metro de desplante) que coincidan sobre morrena deben diseñarse para una capacidad de soporte admisibles de 310 kPa. Si los cimientos se fundan en la superficie rocosa (es decir, no empotrados), la capacidad portante debe reducirse a 200 kPa. Los cimientos empotrados en la andesita o la dacita se pueden diseñar con una capacidad portante admisible de hasta 500 kPa. Si los cimientos se fundan en la superficie rocosa, la capacidad portante debe reducirse a 300 kPa. Se debe tener en cuenta que solo se consideraron las condiciones drenadas, las cargas verticales y las superficies aplanadas o niveladas para la cimentación; si estos supuestos no son válidos, las capacidades portantes especificadas deben revisarse en consecuencia.

El asentamiento máximo esperado de cimientos poco profundos en roca intacta es de un centímetro o menos. Podría producirse un asentamiento adicional si se presenta una fractura significativa o una alteración de la arcilla.

### *Cimentaciones Superficiales sobre el Relleno Estructural*

En la actualidad no se ha identificado ninguna fuente de préstamo para el relleno estructural, por lo que el diseño de los cimientos sobre el relleno debe abordarse de manera conservadora. El material nocivo, como se describe en la sección respectiva, no es adecuado debajo de la superficie. El apoyo de estructuras sobre materiales marginales (relleno nativo o de alta plasticidad) supone un riesgo de asentamiento excesivo y de estrés estructural. Se recomienda una capacidad portante neta admisible de 200 kPa para cimentaciones que se apoyan en el relleno estructural compactado. El asentamiento máximo esperado de

cimentaciones poco profundas en el relleno estructural es de 2,5 cm o menos, pero esta estimación debe revisarse cuando se haya identificado una fuente de préstamo y cuando los espesores de relleno debajo de los cimientos estén claramente definidos.

El módulo de reacción de subrasante vertical ( $k_s$ ) se determinó para un rango de anchos de loza y un subsuelo homogéneo asumido utilizando la ecuación Vesi. La relación presentada se basó en un módulo de subtramo supuesto para un relleno estructural densamente compactado. Como se ha explicado anteriormente, no se recomienda que los cimientos transfieran los esfuerzos de corte al relleno, ya que el rendimiento variable de la subrasante puede dar lugar a un asentamiento diferencial en toda la zapata.

### *Anclajes en Roca*

En el caso de los anclajes cementados se utilizarán lechadas para resistir cargas laterales y de elevación. Se evaluaron las capacidades de los anclajes pasivos para cargas de tensión pura en #7 (22 mm) barras deformadas Dywidag. La capacidad de anclaje es una función de la longitud de unión o enlace  $y$ , en el caso de anclajes pretensados, es función de la longitud no enlazada. Se suponía que la zona de unión de los anclajes debía iniciar un metro por debajo de la superficie de la roca para dar cuenta de cualquier desgaste de roca cerca de la superficie. Se requiere una longitud mínima de unión de un metro para desarrollar toda la resistencia de la lechada a la interfaz de la armadura, comúnmente conocida como longitud de desarrollo. Las cargas de elevación permitidas se enumeran en la Tabla 6-50 para cargas de tensión pura. Los valores indicados deben tenerse en cuenta para los anclajes orientados subverticales y los momentos aplicados. Si se planifican anclajes para la infraestructura propuesta, se recomienda realizar pruebas de carga de anclaje para que las longitudes de unión límite se puedan optimizar para las condiciones específicas del sitio.

**Tabla 6-50 Cargas de Tracción Permitidas en Anclajes de Roca**

Longitud de Unión 1 (m)	Ancla Pasiva (kN)
1	5
2	20
3	50
4	100
5	180
Notas: 1 Longitud de unión limitada a 1 m para desarrollar la capacidad completa de unión entre la lechada y el ancla.	

Fuente: Geomgold, junio 2020

### Presiones Laterales del Suelos

Los muros de retención, los muros de diafragma y los muros de cimentación debajo del nivel del suelo deben diseñarse para soportar las presiones laterales de la tierra causadas por cargas del relleno y cargas adyacentes. Las cargas laterales pueden resistirse mediante: (1) fricción entre los fondos de la zapata y los materiales de apoyo y (2) presiones pasivas que actúan contra los lados de las bases de las columnas en contacto con el terreno.

Para las estructuras sobre roca o relleno estructural, se recomienda utilizar un coeficiente de fricción de 0,5 veces la carga muerta vertical para calcular la resistencia al deslizamiento.

Para la resistencia pasiva contra deslizamientos y vuelcos, se debe ignorar la resistencia de los 30 cm superiores del suelo. Los coeficientes de presión de tierra lateral recomendados y las presiones de fluido equivalentes asociadas se enumeran en la Tabla 6-51 para el relleno. Se debe presumir que la transición de la condición fija a la activa se produce después de los movimientos que excedan 0,001 H y la transición

del reposo a la condición pasiva debe darse después de los movimientos que excedan  $0,02 H$ , donde  $H$  es la altura del suelo retenido.

Si hay cargas adicionales, incluidas las cargas de tráfico, estas también deben incluirse en la presión lateral utilizada para el diseño de muros. Para presiones adicionales uniformes, la mitad de la presión de carga debe incluirse para la presión lateral. La fuerza resultante de las cargas adicionales actuaría en  $H/2$  desde la base del muro. Se recomienda una carga vertical igual a 12 kPa para las cargas de tráfico de vehículos ligeros. Las cargas puntuales deben considerarse caso por caso.

Cabe señalar que estas recomendaciones son aplicables a las estructuras de retención con relleno horizontal que no excedan 6 m de altura. Para estructuras que superan los 6 m de altura, estructuras que tienen relleno inclinado, cargas de tráfico pesado u otras cargas adyacentes a paredes que pueden aumentar las cargas laterales, NewFields debe conservarse para revisar el diseño final del muro.

**Tabla 6-51 Coeficientes Laterales de Presión del Suelo**

Condición de Carga de Pared	Coeficiente Lateral del Suelos	Presión de Fluido Equivalente (kN/m <sup>3</sup> )
Caso activo	0,33	6
Caso en reposo (fijo)	0,5	9
Caso pasivo	3,0	54

Fuente: Geomgold, junio 2020

### Taludes

Sobre la base de la comprensión del Proyecto propuesto, varios taludes son necesarias para el desarrollo del sitio de la planta.

#### *Taludes Permanentes*

La nivelación propuesta proporcionada por DRA indica que las pendientes de corte se desarrollarán a 1H:1V. Las pendientes de corte de 16 m de altura están adyacentes al circuito de trituración, y las pendientes de más de 10 m de altura son adyacentes a las instalaciones del proceso. Los datos existentes del subsuelo indican que la mayoría del corte será en dacita competente y, en algunos lugares, la andesita, y las pendientes propuestas de 1H:1V son razonables. Hay oportunidades para empinar estas pendientes si se entienden mejor las condiciones del suelo cerca de la superficie.

La nivelación propuesta indica que los taludes de relleno se construirán a 1,5H: 1V. Estos ángulos de pendiente son marginales para el material de relleno de roca competente, pero serán necesarios ángulos de pendiente menos empinados si se utiliza material de relleno alternativo. Las pendientes de relleno propuestas deben revisarse después de seleccionar los materiales de préstamo para la construcción.

En general, la cresta de las laderas debe ser nivelada al 2 % para promover el drenaje lejos de la cara de la pendiente. Alternativamente, los taludes deben construirse con bermas de cresta y zanjas de interceptor en la frente de la pendiente para recoger y desviar la escorrentía superficial lejos de la cara de la pendiente. La base de las laderas debe estar diseñada para drenar el agua a los puntos de recogida especificados, para evitar el estanque de agua.

#### *Taludes Temporales*

Todas las excavaciones temporales, como las necesarias para la cimentación, las zanjas de servicios públicos, los tanques y otras infraestructuras, deben considerar cuestiones de estabilidad y seguridad de los taludes, así como realizarse de conformidad con las reglamentaciones locales, según corresponda.

La pendiente máxima permitida para excavaciones de menos de 6 m de altura será de 0, 75H:1V (53°). La excavación puede ser con una pendiente continua o excavaciones verticales con bancos, que dan como

resultado una pendiente global de 0, 75H:1V. Las excavaciones verticales son aceptables si se refuerzan adecuadamente.

Los planes de calificación deben anticipar que todas las excavaciones temporales serán recostadas a la propiedad de corte. Los escombros de excavación no deben almacenarse junto a las laderas cortadas. Se debe mantener un retroceso mínimo igual a la profundidad de la excavación entre la parte superior de la pendiente de corte y la del lado bajo de los taludes de corte. Las laderas expuestas deben protegerse de la erosión y la saturación de la precipitación, mediante bermas, zanjas de desvío y/o láminas de plástico.

Se debe tener precaución, ya que las laderas excavadas, de acuerdo con estas recomendaciones, todavía pueden experimentar desprendimiento localizado y deslizamiento. Será necesaria una atención cuidadosa a la deshidratación. Todas las operaciones de excavación deben realizarse bajo la supervisión de personal calificado.

#### **6.1.1.4.6 Conclusiones**

La masa rocosa de Loma Larga se puede subdividir en dos dominios geomecánicos principales: Dominio del Yacimiento (Orebody Domain, OBD) y Dominio de la Roca Encajante (Host Rock Domain, HRD). La distinción entre los dos dominios está en el grado de silicificación de rocas. La masa rocosa del OBD es silicificada (INV Metals, 2018 aa), y la masa rocosa del DDH no lo es. La presencia de silicificación aumenta significativamente la resistencia de la roca. Por lo tanto, la masa rocosa en el OBD es mucho más competente que en el DDH.

El valor medio de la clasificación de la roca (RMR) sugiere que la masa rocosa OBD se puede clasificar como roca 'buena' (INV Metals, 2018 aa). La masa rocosa del DDH se caracteriza por rocas más débiles con menores resistencias intactas. La calidad de la roca en DDH se ve disminuida aún más por varios tipos de alteraciones de arcilla que son comunes en Loma Larga. Sobre la base de la clasificación RMR media de 54, la masa rocosa del DDH se puede clasificar como "Justo".

Las interpretaciones de los datos estructurales muestran que la masa rocosa de Loma Larga contiene un número significativo de fallas subverticales con varias orientaciones. Las manchas de color de hierro visibles en las superficies de los fragmentos de núcleo recuperados indican la presencia de aguas subterráneas. Esto sugiere que las fallas en Loma Larga son probablemente conductoras y pueden servir como conductos para que las aguas subterráneas entren en el trabajo subterráneo. Debido a que la masa rocosa está unida y es defectuosa, es prudente suponer que las aguas subterráneas serán un factor para afectar la calidad de la masa rocosa y las actividades mineras.

En el resumen de las investigaciones geotécnicas del sitio donde se implantará la rampa principal se justifica de acuerdo con las investigaciones geotécnicas que se ha realizado, se determinan los parámetros geomecánicos para el diseño de la rampa principal y los diferentes rebajes de la mina, con lo cual se considera qué labores subterráneas se ejecutarán sobre un masivo rocoso de buenas características geomecánicas, por lo que no se observan problemas de subsidencia debidos a las referidas labores.

#### **6.1.1.5 Sismicidad**

Las condiciones sísmicas se basan en NewFields marzo 2018, Informe de Evaluación de Riesgos Sísmicos para el Proyecto Loma Larga (Apéndice 6.1.4-B). La evaluación de riesgos sísmicos de NewFields 2018 se basó en un estudio de escritorio de la información sísmica histórica y fuentes sísmicas, así como un análisis probabilístico de riesgos sísmicos (PSHA) realizado para estimar el temblor de tierra inducido por terremotos en el Proyecto durante eventos sísmicos regionales (Apéndice 6.1.4-B). El PSHA se basó en una evaluación de la recurrencia de los terremotos en posibles fuentes sísmicas en la región de los Andes del norte y en la aplicación de relaciones de atenuación del movimiento del suelo adecuadas para los tipos de fuentes sísmicas en la región y las condiciones del subsuelo en el Proyecto. Se desarrolló un catálogo combinado para el Proyecto, mediante la fusión de cuatro catálogos de terremotos individuales, la conversión de los datos a una escala de magnitud común (momento) y la eliminación de eventos

duplicados y réplicas. Se compilaron datos del catálogo del Sistema Nacional de Sísmica Avanzado (ANSS), el catálogo del Centro Nacional de Datos Geofísicos/Centro Nacional de Información de Terremotos (NGDC /NEIC), el catálogo Global Centroid Moment Tensor (GCMT) y el catálogo del Centro Sismológico Internacional (ISC). El sólido catálogo combinado para este estudio abarca un período de tiempo comprendido entre 1641 y 2017.

#### 6.1.1.5.1 Metodología

Esta sección presenta los resultados de la evaluación de riesgos sísmicos para el PLL. El objetivo principal de esta evaluación sísmica de peligro era caracterizar el riesgo de movimiento de tierra específico del sitio para posibles terremotos futuros en la región. El alcance es:

- > Revisar la literatura disponible y los informes específicos del Proyecto relacionados con la geología y la tectónica, especialmente durante el período Cuaternario últimos 2,58 millones de años;
- > Revisar los catálogos de terremotos para identificar la actividad histórica del terremoto dentro de aproximadamente 200 km del Proyecto;
- > Revisar las evaluaciones de riesgos sísmicos mundiales y regionales disponibles relevantes para el Proyecto;
- > Realizar un análisis de peligro sísmico específico del sitio;
- > Resumir los datos y presentar una estimación de los peligros sísmicos en términos pico de la aceleración horizontal del terreno (PGA) y aceleraciones espectrales para una serie de períodos de retorno; y,
- > Preparar un informe técnico con mapas, tablas, figuras y referencias apropiados a apoyar las conclusiones y recomendaciones.

#### 6.1.1.5.2 Categorías

##### Sismicidad Histórica

La sismicidad histórica en Ecuador está bien estudiada (por ejemplo, Beauval et al., 2013) y fue revisada para preparar este informe. Se elaboró un catálogo combinado para el Proyecto, mediante la fusión de cuatro catálogos de terremotos individuales, convirtiendo los datos a una escala de magnitud común (momento) y la eliminación de eventos duplicados y réplicas. Datos de la Sísmica Nacional Avanzada Catálogo del Sistema (ANSS), Centro Nacional de Datos Geofísicos/Información Nacional sobre Terremotos (NGDC/NEIC) y el catálogo Global *Centroid Moment Tensor* (GCMT), y se compiló el catálogo del Centro Sismológico (ISC). El catálogo combinado de este estudio abarca un período de tiempo de 1641 a 2017, y la evaluación indica que la integridad del catálogo es robusta.

Algunos acontecimientos históricos se registraron con diferentes escalas de magnitud, donde la magnitud del momento (Mw) y las magnitudes de onda superficial (Ms) y de onda corporal (Mb) se ajustaron para Mw, utilizando las recomendaciones de Scordilis (2006). Todos los acontecimientos históricos mayores que Mw 6.0 y dentro de 200 km del Proyecto se enumeran en la Tabla 6-52.

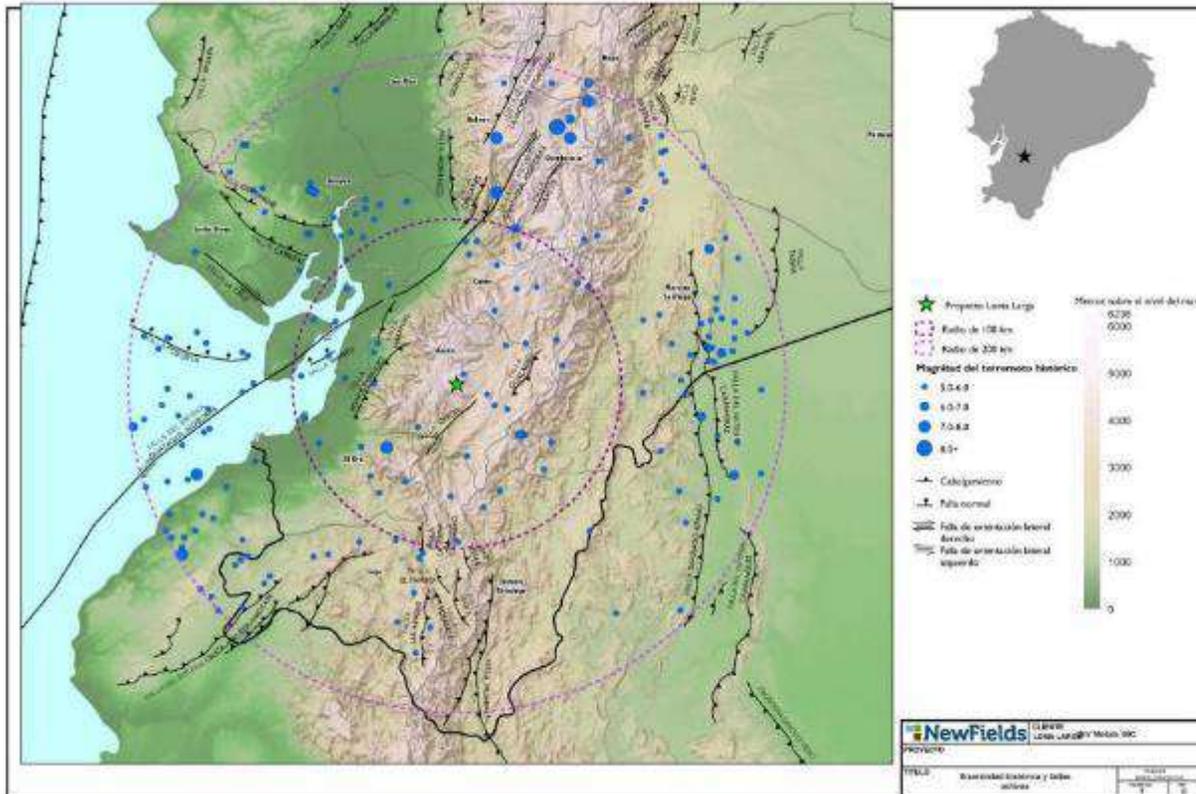
Un catálogo completo de terremotos de eventos históricos dentro del área comprendida de 200 km que abarca el Proyecto y superior de 5.0 Mw se presenta en la Figura 6-56, y se incluye en el Anexo C. Respaldos de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.10 Riesgo Sísmico PLL.

**Tabla 6-52 Eventos de Terremotos Históricos Regionales**

Fecha (DD/MM/AAAA)	Latitud (S)	Longitud (W)	Magnitud *	Distancia del Sitio (km)
04/02/1797	1,64	78,67	8,3	168,1
28/09/1906	2,00	79,00	7,9	119,2

<b>Fecha (DD/MM/AAAA)</b>	<b>Latitud (S)</b>	<b>Longitud (W)</b>	<b>Magnitud *</b>	<b>Distancia del Sitio (km)</b>
08/29/1674	1,70	79,00	7,7	152,0
24/02/1913	3,40	79,60	7,7	57,7
10/12/1970	3,99	80,72	7,6	197,9
01/10/1641	1,50	78,50	7,6	198,9
02/19/1645	1,70	78,60	7,5	165,0
12/12/1953	3,55	80,64	7,4	167,1
30/01/1943	1,99	80,02	6,9	148,2
03/03/1924	1,60	78,60	6,9	175,2
01/03/1689	2,20	78,90	6,8	100,8
16/11/2007	2,31	77,84	6,8	173,7
04/08/1949	1,40	78,50	6,7	200,0
22/07/1924	2,00	80,00	6,5	145,6
22/03/1956	3,33	78,87	6,5	49,6
03/11/1963	3,55	77,70	6,4	176,7
03/10/1995	2,88	77,77	6,4	161,8
21/05/2005	3,29	80,99	6,3	198,3
04/11/1967	2,80	77,70	6,1	170,3
25/05/1958	3,23	77,88	6,1	150,2
03/11/1983	4,01	79,42	6,0	109,5
26/08/1982	2,71	79,88	6,0	82,6
02/11/1935	2,00	79,00	6,0	119,2
08/03/1935	4,00	80,00	6,0	136,8
13/01/1984	3,86	78,49	6,0	120,9
* Momento magnitud				

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, 2018  
 Recopilación: Entrix, junio 2020



Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, junio 2020

Se han producido varios terremotos grandes y destructivos en el sur del Ecuador. En la compilación de los terremotos se indica que el mayor evento regional fue el terremoto de Riobamba, que ocurrió el 4 de febrero de 1797 a lo largo de la zona de la falla de Guayaquil Algeciras. Este evento sirve para evaluar la naturaleza destructiva de los grandes terremotos que pueden ocurrir en el sur de Ecuador como resultado del margen activo de la placa.

### Neotectónica-Fuentes Sísmicas

La fuente de sismicidad en Ecuador se ha atribuido tanto a la zona activa de subducción, zonas sísmicas interplacas y fallas de la corteza superficial (Wong et al., 2012). El Proyecto está cerca de muchas fallas regionales y activas, según lo reportado por Equez et al. (2003) y Veloza et al. (2012). La falla activa más cercana al Proyecto es la falla dextral Girón, y la sección noreste de la falla es de aproximadamente 15 km al suroeste. Otras fallas regionales cercanas incluyen la falla inversa Gualaceo, aproximadamente 40 km al este, y la falla inversa de Ponce-Enríquez, aproximadamente 45 km al noroeste.

Equez et al. (2003) proporciona información sobre la geometría de la falla, las estimaciones de la tasa de deslizamiento y la mayoría de los movimientos recientes. Sobre la base de los datos de movimiento publicados disponibles, se usó la longitud total de la falla para la longitud de ruptura de falla. No se encontraron las estimaciones del ancho de falla y se asumió un ancho de 20 km. Ningún dato publicado sobre fallas activas dentro del área de interés fue identificado.

La evaluación de las fallas regionales se centró en estructuras consideradas capaces de generar terremotos de Mw 5.0 o mayores utilizando una relación empírica entre la magnitud y el área de ruptura

(Wells y Coppersmith, 1994). Como se discutió anteriormente, la fuente sísmica a una distancia superior a 100 km aproximadamente se atenúa típicamente y no generaría movimientos significativos de tierra en el Proyecto. Los parámetros para cada falla dentro del radio de búsqueda de 100 km se documentan en la Tabla 6-53, y las trazas de las fallas activas en relación con el Proyecto se presentan en la Figura 6-56.

**Tabla 6-53 Parámetros de Falla para Fallas Regionales Significativas**

Nombre de la Falla	Longitud 1 (km)	Ancho 2 (km)	Distancia (km)	Tipo de Falla1	Velocidad de Deslizamiento (mm/año) 1	Mw
Falla Girón (sección NE)	23,7	20	15	Normal	< 1,0	6,7
Falla Girón (sección SW)	23,7	20	27	Norma	< 1,0	6,7
Falla Gualaceo	32,6	20	40	Inversa	< 1,0	6,7
Falla Ponce Enríquez	56,7	20	45	Inversa	< 1,0	6,8
Falla Naranjal	25,9	20	58	Inversa	< 1,0	6,6
Fallo Jambelí	16,9	20	82	Norma	< 1,0	6,6
Guayaquil Algeciras FZ (Puná Sec.)	43,9	20	70	Dextral	< 1,0	6,8
Guayaquil Algeciras FZ (Pancho Negro Sec.)	24,0	20	93	Dextral	< 1,0	6,7
Fallo de la Toma	21,4	20	95	Inversa	< 1,0	6,7
Fallo Catamayo	18,2	20	95	Inversa	< 1,0	

Notas: 1. De Equez et al. (2003); 2. Supuesto; 3. Calculado utilizando la relación de Wells & Coppersmith (1994)

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, junio 2020

Como parte de esta evaluación, se realizó un análisis probabilístico de riesgos sísmicos (PSHA) para estimar el temblor de tierra inducido por el terremoto en el Proyecto durante los eventos sísmicos regionales. El PSHA se basa en una evaluación de la recurrencia de los terremotos en posibles fuentes sísmicas en la región de los Andes del norte y en la aplicación de relaciones de atenuación del movimiento del suelo apropiadas para los tipos de fuentes sísmicas en la región y las condiciones del subsuelo en el Proyecto. Los resultados del análisis de riesgo sísmico se expresan como relaciones entre un parámetro de movimiento de tierra (por ejemplo, aceleración máxima del suelo) y las frecuencias anuales para exceder el parámetro de movimiento de tierra específico. El período de devolución es el recíproco de la frecuencia anual. Los elementos básicos del análisis son:

- > Identificación de posibles fuentes sísmicas activas que podrían contribuir significativamente al temblor del suelo en la región;
- > Especificación de una relación de recurrencia sísmica para cada fuente sísmica, definiendo la frecuencia de superación de varios terremotos de magnitud, hasta la magnitud máxima posible en la fuente;
- > Especificación de las relaciones de atenuación que definen los niveles de movimiento del suelo en función de la magnitud del terremoto, la distancia de origen al sitio y el estilo de falla para una ruptura; y,
- > Cálculo de la probabilidad de superación de la aceleración máxima del suelo (PGA).

El modelo de fuente sísmica utilizado para el PSHA fue el modelo sudamericano I, v2.0 para EZ-Frisk v.8.00 (Fugro, 2017). El modelo de origen incorpora inicios de errores conocidos, así como zonas de origen

en segundo plano (*areal*), que tienen en cuenta la posibilidad de que se generen eventos en regiones que no están asociadas con orígenes sísmicos conocidos.

### 6.1.1.5.3 Caracterización de la Zona de Origen

En el modelo de peligro sísmico se incluyen dos tipos de fuentes sísmicas potenciales: fuentes de falla y zonas de origen de fondo. En esta sección se describe la evaluación de las magnitudes máximas y las tasas de recurrencia de terremotos para ambos tipos de fuentes. El modelo de origen Sudamérica I de EZ-FRISK utiliza una serie de errores distintos y zonas de origen de fallas, así como numerosas zonas de origen de fondo.

### Relaciones de Atenuación

Los modelos de predicción de movimiento de tierra, también denominados relaciones de atenuación, conectan la PGA o la aceleración espectral de respuesta con la magnitud del terremoto, la distancia de origen al sitio y las condiciones del sitio local. Se requieren diferentes modelos de atenuación para diferentes tipos de fuentes sísmicas. Actualmente, no existen relaciones de atenuación específicas del Ecuador, pero Wong et al. (2012) proporciona recomendaciones para fuentes sísmicas activas, zonas de subducción y zonas intraplaca.

Para las regiones tectónicas activas e interiores se utilizaron las relaciones de atenuación de la Próxima Generación (Oeste) de Abrahamson y Silva (2008), Boore y Atkinson (2003), Campbell y Bozorgnia (2008), y Chiou y Youngs (1997), y se ponderaron por igual. Para la zona de subducción *offshore*, las relaciones de atenuación de Youngs et al. (1997) y Atkinson y Boore (2003) se utilizaron y ponderaron a 0,4, y 0,3 respectivamente. Para las fuentes sísmicas interplaca potenciales, las relaciones de atenuación de Zhao et al. (2006) y Atkinson y Boore (2003) se utilizaron y ponderaron en 0,55 y 0,45 respectivamente.

### 6.1.1.5.4 Resultados

Los resultados de la evaluación probabilística se utilizaron para determinar la relación entre la PGA y las coordenadas espectrales de 0,2 segundos y 1,0 segundo frente a la frecuencia anual de superación. Todas las evaluaciones se realizaron suponiendo que la velocidad media de onda de cizallamiento en la parte superior de 30 m en el sitio es de aproximadamente 1500 m/s, lo que se correlaciona con la transición entre roca (Clase de sitio B) y roca dura (Clase de sitio A), en la Clasificación del Código Internacional Construcción. La mediana de PGA y las coordenadas espectrales se determinaron para períodos de retorno que van desde 475 (10 % de probabilidad de superación en 50 años) hasta 10 000 años (0,5 % de probabilidad de superación en 50 años), y los valores tabulados se enumeran en el Tabla 6-54.

**Tabla 6-54 Espectros Uniformes de Peligros**

Período (s)	Aceleración Espectral (g)			
	475 Años	975 Años	2475 Años	10 000 Años
PGA	0,37	0,49	0,66	0,97
0,05	0,56	0,75	1,02	1,52
0,1	0,77	1,01	1,38	2,09
0,2	0,73	0,95	1,29	1,96
0,3	0,57	0,74	1,01	1,51
0,4	0,47	0,61	0,83	1,22
0,5	0,39	0,52	0,70	1,03
0,75	0,28	0,38	0,51	0,76
1,0	0,23	0,30	0,42	0,63

Período (s)	Aceleración Espectral (g)			
	475 Años	975 Años	2475 Años	10 000 Años
2,0	0,11	0,15	0,22	0,33

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, junio 2020

La desagregación del análisis de peligros para un evento de 475 años muestra que las magnitudes intermedias en el rango de 5.0 Mw a 7.0 Mw, a distancias inferiores a 25 km, y que los grandes terremotos en el rango de 7.2 Mw a 7.9 Mw, a distancias entre 75 y 150 km, dominan el peligro. Para el evento de retorno de 2475 años, los eventos de mayor magnitud a mayor distancia contribuyen más al peligro sísmico.

El peligro sísmico determinista realizado, utilizando el programa EZ-Frisk, indicó que un evento de 7.2 Mw dentro de la zona de origen del arco de Ecuador, la zona en la que se encuentra el Proyecto es controlado con un PGA asociado de 0,54 g. La evaluación determinista del peligro de la falla activa más cercana, la falla Girón, dio lugar a un PGA de 0,21 g para la ruptura completa de las secciones noreste y suroeste.

### Parámetros de Diseño Sísmico

Los movimientos de tierra asociados con los terremotos a nivel de diseño se desarrollaron utilizando evaluaciones deterministas y probabilísticas. Las AGP de evaluación probabilística se resumen en la Tabla 6-55.

**Tabla 6-55 Aceleraciones Máximas de Tierra Calculadas PSHA**

Período de Retorno (años)	PGA (g)
475	0,37
975	0,49
2475	0,66
10 000	0,97

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, junio 2020

Para las estructuras de tierra, como las relaveras, la clasificación de peligros está comúnmente definida por las directrices de la Asociación Canadiense de Presas (CDA, 2014) basadas en la altura, el almacenamiento, la población aguas abajo en riesgo, los hábitats clave o las especies en riesgo, los recursos culturales en riesgo y las posibles pérdidas económicas. La evaluación actual define que una calificación de peligro "alta" es conservadoramente apropiada para la presa de relaves propuesta y se basa principalmente en los riesgos ambientales y culturales, pero esta calificación debe ser revisada durante el diseño final. Como tal, la instalación debe diseñarse teniendo en cuenta la PGA asociada con un período de retorno de 2475 años. Del mismo modo, es prudente evaluar las deformaciones de las instalaciones durante el evento del período de retorno de 10 000 años para garantizar que no se produzcan fallos catastróficos.

### Diseño Estructural

Las normas para el diseño sísmico de estructuras en Ecuador se especifican en el manual INEC-SE-DS peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente, que forma parte de las Normas Nacionales de Construcción. El manual está escrito principalmente para edificios, y define procedimientos para evaluar la clasificación del suelo del sitio (para la amplificación de los movimientos de tierra de roca base) y espectros de respuesta. Para los edificios estándar, el país se divide en una serie de zonas en las que se especifica un factor de aceleración base,  $Z$ , entre 0,15 g y 0,5 g para el diseño sísmico. El Proyecto se encuentra dentro de la

zona de aceleración base de 0,25 g (los parámetros especificados están asociados a un evento de retorno de 475 años). La selección final del nivel de riesgo adecuado y los valores de aceleración del diseño deben ser realizados por el diseñador estructural y de acuerdo con los códigos nacionales de construcción.

### Otros Peligros Sísmicos

Los peligros sísmicos potenciales para cualquier ubicación incluyen la rotura del suelo, la inestabilidad de la pendiente, el asentamiento inducido sísmico y el suavizado de licuefacción o tensión de los depósitos del subsuelo. No se espera que la ruptura del suelo sea un peligro para el Proyecto o las instalaciones asociadas, ya que no se han documentado fallas en la superficie cercana ni fallas activas. La licuefacción puede ocurrir dentro de depósitos granulares sueltos y saturados. Si se experimentan temblores significativos, los depósitos de relaves y el aluvión saturado en los drenajes prominentes tienen el potencial de licuar. El potencial de asentamiento sísmico de licuefacción de depósitos saturados y naturales no se espera en base a la compresión del subsuelo.

#### **6.1.1.6 Geomorfología**

La información de geomorfología presentada en este informe se extrae principalmente del informe Timbe et al., 2010 (Apéndice 6.1.4-A), sobre el estudio geomorfológico y de estabilidad de taludes para el proyecto Quimsacocha. El objetivo del estudio fue trazar un mapa de las zonas de susceptibilidad del terreno a la falla de la pendiente en el sector de Quimsacocha (una superficie aproximada de 3045 ha). El estudio se basó en los siguientes métodos:

- > Recopilación y análisis de la información existente,
- > Reconocimiento de campo dentro del área geográfica, y
- > Análisis de zonas susceptibles a movimientos de masas basados en factores contribuyentes a la inestabilidad del terreno (topografía, hidrografía, geología, uso del suelo y datos de lluvia).

Para la elaboración de la presente Línea Base de EsIA, Entrix, actualizó la geomorfología de toda el área geográfica, sobre la base de la información geomorfológica levantada el 2015 por SIGTIERRAS, como también de un análisis de la Estabilidad Geomorfológica de la referida área geográfica.

##### **6.1.1.6.1 Geomorfología Regional**

La metodología utilizada para cumplir con los objetivos propuestos incluyó lo siguiente:

- > Reconocimiento general de las estructuras geomorfológicas del sector, que se basa en el Sistema de Clasificación Geomorfológico, que se resume en la Tabla 6-56, en el que la región se define a la relación que existe entre las estructuras morfotectónicas, en función de cómo se encuentra dividido el territorio continental del Ecuador y las regiones geomorfológicas, a saber: región de la plataforma costanera, región de la cordillera occidental, región interandina, región de la Cordillera Real, región subandina, región oriental y región austral.
- > Cada región se divide en función de las características ecológicas que abarca, como son: la altitud, precipitación, temperatura, cobertura vegetal, actividades antrópicas, entre las más importantes; en el presente caso de estudio, se localiza en la región alta y fría de la cordillera occidental (páramo).
- > La unidad del cada paisaje geomorfológico engloba a los procesos morfogénicos generados por la evolución tectónica (endógenos), que son los que han formado las geoformas mapeadas en el sector, así como su modelado, que relaciona a las geoformas con la evolución morfodinámica (procesos

exógenos); en este caso, se tiene un estratovolcán modelado por la acción glaciaria de rocas volcánicas, anteriores al cuaternario<sup>3</sup>.

- > Análisis de los riesgos por procesos geomorfológicos. Se los ha desarrollado en el numeral como Estabilidad Geomorfológica.
- > Se colectó información temática, tanto bibliográfica como cartográfica, la cual fue clasificada y analizada. La información básica fue el Levantamiento de Cartografía Temática Escala 1:25 000, Lote 2, cantones Cuenca, Girón y San Fernando de SIGTIERRAS, 2015, así como información geomorfológica del área de implantación generada por la compañía en los últimos años (Estudio de Geomorfología y Estudio de Estabilidad de Pendientes para las Zonas de Interés del Proyecto Quimsacocha. Informe Final, noviembre 2010) (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1.15 Estudio Geomorfológico-Estabilidad 2010). Toda la información recopilada fue enriquecida con información obtenida durante las fases de gabinete y campo.
- > Primeramente, se reinterpretó el sector con ayuda de las imágenes satelitales (SPOT 7, resolución 1,5 m, 2019), se elaboró el Mapa de Pendientes, con lo cual se obtuvo el Mapa Geomorfológico Preliminar, que fue corroborado con observaciones de campo; luego, se definió el Mapa Geomorfológico definitivo, con sus respectivas leyendas (Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-8 Geomorfológico).

El Proyecto Loma Larga está inmersa en la denominada región de la cordillera occidental de los Andes, dentro de la cual se tiene el sistema de Cimas Altas Frías de la mencionada cordillera, que, en el área estudiada, comprende altitudes desde 3600 a 3950 msnm.

## Categorías

### Sistema de Clasificación Geomorfológica

En el Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-8, se presenta la información cartográfica obtenida en el presente estudio. Este mapa incluye todas las unidades y geoformas identificadas en el área geográfica. Las unidades del mapa se clasificaron en tres jerarquías, que se definen como:

- > Regiones.
- > Sistemas.
- > Paisajes geomorfológicos.

En la Tabla 6-56 se presenta una breve descripción de las unidades geomorfológicas identificadas y su jerarquía.

**Tabla 6-56 Unidades del Paisaje Geomorfológico**

Unidades Geomorfológicas			Símbolo	Pendiente (%)	Descripción	Susceptibilidad a los Fenómenos Morfodinámicos
Región	Sistemas	Unidades del Paisaje				
Cordillera occidental	Cimas Altas y Frías	Vestigios de edificios volcánicos	Ve	0-45	Flujos de lavas del antiguo edificio volcánico del Quimsacocha	Media a Alta a la erosión y movimientos en masa
		Coladas de lavas antiguas	CI	0-45	Flujos de lavas, brechas eocénicas del edificio volcánico del Quimsacocha, con fuerte erosión glaciaria	Media a moderada a la erosión y movimientos en masa.

<sup>3</sup> Resumen de notas de la Cátedra de Geomorfología CIGEMPA, UC, del autor, no publicadas, adaptada a la metodología de SIGTIERRAS 2015.

Unidades Geomorfológicas			Símbolo	Pendiente (%)	Descripción	Susceptibilidad a los Fenómenos Morfodinámicos
Región	Sistemas	Unidades del Paisaje				
					cuaternaria (relieves colinados bajos y superficies volcánicas onduladas). Pendiente de suave a abrupta. Drenaje radial.	
		Flujos dacíticos	Fd	0-25	De formas volcánicas, de alargadas a redondeadas (domos), de lavas ácidas, jóvenes.	Media a la erosión y movimientos en masa
		Barranco	Br	0 a 70	Cursos altos de los ríos, asociada con rocas volcánicas, pendientes transversales medias a fuertes (de 5 a 70%) y el río erosiona verticalmente.	Alta a Media a la erosión y movimientos en masa
		Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	Ld1	0 a 25	Son una mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos de muy diverso tamaño. Pendiente media (de 0 a 25%), desniveles relativos de 50 y 200 metros	Alta a la erosión y movimientos en masa
		Hondonadas pantanosas de origen glaciar-preglaciar	Hg	0-5	Zonas pantanosas de origen glaciar, rellenas de depósitos indiferenciados, con pendientes suaves.	Alta a las inundaciones a lo largo del año
		Fondo de valle glaciar	Fg	0-25	Valles en forma de U, con depósitos de tills y tilitas, con pendientes suaves a abruptas.	Baja a los procesos erosivos y movimiento en masa
		Humedal y/o almohadilla	Hu	0-5	Zonas mal drenadas, sobresaturadas, algunas son intermitentes, sobre potentes suelos orgánicos.	Alta a las inundaciones a lo largo del año

Fuente: Adaptado de SIGTIERRAS, 2015  
Elaboración: Entrix, junio 2020

En la Tabla 6-57 se indica la clasificación de las pendientes que se ha adoptado. Se tomó estos rangos de pendientes por cuanto se consideró que son más aplicables para el área geográfica, mismos que están cartografiados en el Mapa de Pendientes (Anexo B. Cartografía, Mapa 1.1-8 Geomorfológico).

**Tabla 6-57 Clasificación de las Pendientes**

Rangos de Pendientes	Término de Pendiente
0-5	Muy suave
5-15	Suave
15-25	Moderado
25-45	Abrupto
45-70	Muy abrupto
> 70	Extremadamente abrupto

Fuente: Adaptado de Sigtierras, 2015  
Recopilación: Entrix, junio 2020

### Paisajes Geomorfológicos

Se definen como paisajes geomorfológicos al conjunto relieves o de deformaciones de la superficie de la tierra que presentan rasgos morfológicos bien definidos. (Villota, Hugo. 1989). Se ha identificado los siguientes Unidades de Paisaje.

Los paisajes geomorfológicos se han desarrollado en un ambiente dominado por el edificio del estratovolcán Quimsacocha, con su extensa caldera, que ha sufrido fuerte erosión glaciár en el Reciente. La intensa actividad glaciár ha dejado como resultado dos geoformas volcánicas a destacar: los vestigios del edificio antiguo del volcán y las coladas volcánicas del Mioceno y, como resultado de la agradación glaciár, las hondonadas de origen glaciár-periglaciár y los fondos de los valles glaciáres.

#### *Vestigios del Edificio Volcánico (Vea)*

Son flujos de lavas andesíticas eocénicas del antiguo edificio de Quimsacocha, distribuidas en altitudes entre 3600 msnm hasta 3820 msnm, identificados en el sector sur del área estudiada, y corresponden al 24,16 % del área geográfica; sobre estos, se han desarrollado profundos suelos orgánicos. Estos paisajes colinados presentan pendientes no mayores al 45 %, formando una especie de lomas alargadas, con un desnivel relativo dominante de sus vertientes mayores a los 15-300 m, con perfiles de irregulares, mixtos a cóncavos.

En general, las condiciones de drenaje son buenas; en las áreas elevadas, la pendiente permite la adecuada evacuación de las aguas lluvias, mientras que las zonas deprimidas son drenadas por los cursos de agua que allí se ubican.

Esta unidad geomorfológica se presenta medianamente estable frente a los fenómenos morfodinámicos, la erosión es media y no se presentan fenómenos de remoción de masa importantes, la susceptibilidad a estos es de media a alta.



**Figura 6-57 (Cascada) Flujos Andesíticos de los Vestigios del Edificio Antigo del Quimsacocha (río Cristal)**

UTM: 696284, 9658754  
Fuente: Entrix, junio 2020



**Figura 6-58 Vestigios del Edificio Volcánico (dentro del área de implantación)**

UTM: 695250, 9664407  
Fuente: INVMINEC, marzo 2021

### *Coladas de Lavas Antiguas (CI)*

Flujos de lavas, brechas eocénicas del edificio volcánico del Quimsacocha, con fuerte erosión glacial cuaternaria formando relieves colinados bajos y superficies volcánicas onduladas, ocupan el 36,14 % del

área evaluada. Los primeros, dominan los contornos de la caldera, mientras que los segundos, el área del Proyecto, con pendiente de suave a abrupta, de 0 a 45 %. Drenaje radial, con un desnivel relativo dominante de sus vertientes, mayores a los 15-200 m, con perfiles de convexos a cóncavos y mixtos, sobre los cuales se tiene potentes suelos orgánicos.

Las condiciones de drenaje son aceptables; en las zonas elevadas, la pendiente permite la adecuada evacuación de las aguas lluvias, mientras que en las zonas deprimidas el drenaje es deficiente, por lo que se forman humedales y/o almohadillas.

Esta unidad geomorfológica se presenta relativamente estable frente a los fenómenos morfodinámicos, la erosión es baja y no se presentan fenómenos de remoción de masa importantes, la susceptibilidad a estos es de media a baja.



**Figura 6-59 Coladas de Lavas Antiguas Formando Colinas Bajas de Pendientes Moderadas a Abruptas y Superficies Onduladas en el Contorno de la Caldera de Quimsacocha**

UTM :696922, 9662192  
Fuente: Entrix, junio 2020



**Figura 6-60 Coladas de Lavas Antiguas (dentro del área de implantación)**

UTM: 698436, 9663810

Fuente: INVMINEC, marzo 2021

### *Flujos Dacíticos (Fd)*

Se distribuyen en áreas dentro y en el contorno este de la caldera, son flujos de dacitas relativamente jóvenes, posterior al colapso de la caldera, formando una serie de domos muy erosionados y alargados, pendientes inferiores al 25 %, con aceptable drenaje, con suelos formados a partir de materiales aluviales recientes, de textura gruesa en matriz variable. Drenaje radial, con un desnivel relativo de sus vertientes entre los 25 y 50 m, con perfiles de convexos a cóncavos. Representan el 1,58 % del área geográfica.

Esta unidad geomorfológica se presenta estable frente a los fenómenos morfodinámicos, la erosión es baja y no se presentan fenómenos de remoción de masa importantes, la susceptibilidad a estos es de media a baja.



**Figura 6-61 Flujos Dacíticos Formando Domas Alargados Erosionados (Cerro Casco) en el Contorno de la Caldera de Quimsacocha**

UTM: 697290, 9663760  
Fuente: Entrix, junio 2020



**Figura 6-62 Flujos Dacíticos (dentro del área de implantación)**

UTM: 696720, 9662136  
Fuente: INVMINEC, marzo 2021

### *Barranco (Br)*

Se distribuyen especialmente en sector sur del área superficial de estudio. Son los cursos superiores de los ríos Cistal y Falso. Esta geoforma se ha desarrollado en ambientes degradacional, es típica de los cursos altos de los ríos. Las pendientes transversales en general son fuertes (de 40 a 70%) y en algunos

casos muy fuertes o escarpadas (70 a 150%), por lo que presenta ausencia generalizada de suelos y una forma de valle generalmente en V. Representan el 1,58 % del área geográfica.

Esta unidad geomorfológica se presenta medianamente estable frente a los fenómenos morfodinámicos, la erosión es alta y no se presentan fenómenos de remoción de masa importantes, la susceptibilidad a estos es de media a alta.

#### *Depósitos de deslizamientos, masa deslizada (DII)*

Localizados en sector sur del área superficial de estudio, sobre los depósitos de la Formación Turi. Los depósitos de deslizamiento corresponden a las masas de roca y suelo producidas por inestabilidades gravitatorias, situadas al pie de los correspondientes escarpes de deslizamiento, existen ciertos indicios ayudan a reconocer tales depósitos de deslizamiento (anomalías en la red drenaje y en la fisiografía local, con marcadas prominencias y rugosidades; geometría en planta de la masa deslizada que se adapta a concavidades situadas a mayor altura).

Las pendientes de estos depósitos presentan gran variabilidad, habitualmente de suaves a fuertes (de 5 a 45%), los desniveles de 25 a más de 300 metros, las vertientes presentan longitud de moderadamente larga a muy larga (de 50 a más de 500 m). La forma de la vertiente de estos depósitos suele ser rectilínea, irregular, convexa y cóncava.

Representan el 1,58 % del área geográfica. Esta unidad geomorfológica se presenta muy inestable frente a los fenómenos morfodinámicos, la erosión es media a alta y presentan fenómenos de remoción de masa importantes, la susceptibilidad a estos es de muy alta.

#### *Hondonadas Pantanosas de Origen Glaciar-Preglaciar (Hg)*

Se distribuyen especialmente en áreas dentro de la caldera del Quimsacocha, ubicada fuera, pero cerca del área geográfica. En la quebrada Tomaloma se ha mapeado pequeños tramos de esta unidad cubierta por amplios humedales. Esta geoforma se ha desarrollado en ambientes glaciares a periglaciares, conformados por depósitos superficiales indiferenciados con un predominio de tillitas, de relieve plano a ondulado suave, pendientes inferiores al 5 %, con deficiente drenaje, por lo que es común observar muchos humedales y/o almohadillas y “lagunas de ombligo”, que también indican la baja permeabilidad de los potentes suelos orgánicos que la recubren, por lo cual se han generado amplios humedales y/o almohadillas. Corresponden el 0,27 % del área geográfica.

Esta unidad geomorfológica se presenta medianamente estable frente a los fenómenos morfodinámicos, la erosión es baja y es susceptible a inundaciones.



**Figura 6-63 Hondonada Pantanosa al Sur de la Caldera de Quimsacocha**

UTM: 694815, 9661591  
Fuente: Entrix, junio 2020



**Figura 6-64 Hondonadas Pantanosas de Origen Glaciar-Preglaciar (dentro del área de implantación)**

UTM: 697553, 9663537  
Fuente: INVMINEC, marzo 2021

### *Fondo de Valles Glaciares (Fg)*

Esta geoforma se localiza a lo largo de franjas verticales con dirección de norte a sur por el sector sur del área geográfica. Los materiales que lo conforman son tills y tillitas, los cuales se caracterizan por una pobre clasificación y ausencia de estratificación y ordenamiento interno; las pendientes oscilan de suaves a medias fuertes (de 5 a 40 %), drenajes de dendrítico a subdendrítico y formas del valle predominantemente en U, pero con algunas zonas planas, ocupando solo el 7,59 % del área geográfica.

Esta unidad geomorfológica se presenta medianamente estable frente a los fenómenos morfodinámicos; la erosión es baja.



**Figura 6-65 Fondo de Valle Glaciar (Quebrada Rumiguaycu)**

UTM: 698504, 9661135  
Fuente: Entrix, junio 2020



**Figura 6-66 Fondo de Valles Glaciares (dentro del área de implantación)**

UTM: 698885, 9664048  
Fuente: INVMINEC, marzo 2021

### *Humedales y/o Almohadillas (H)*

Zonas mal drenadas, sobresaturadas, algunas son intermitentes sobre potentes suelos orgánicos, estas se localizan en bajos topográficos de sectores planos, por lo que su pendiente es de 0 a 5 %. Conforman el 30,53 % del área estudiada.



**Figura 6-67 Humedal y/o Almohadilla dentro de la Caldera de Quimsacocha**

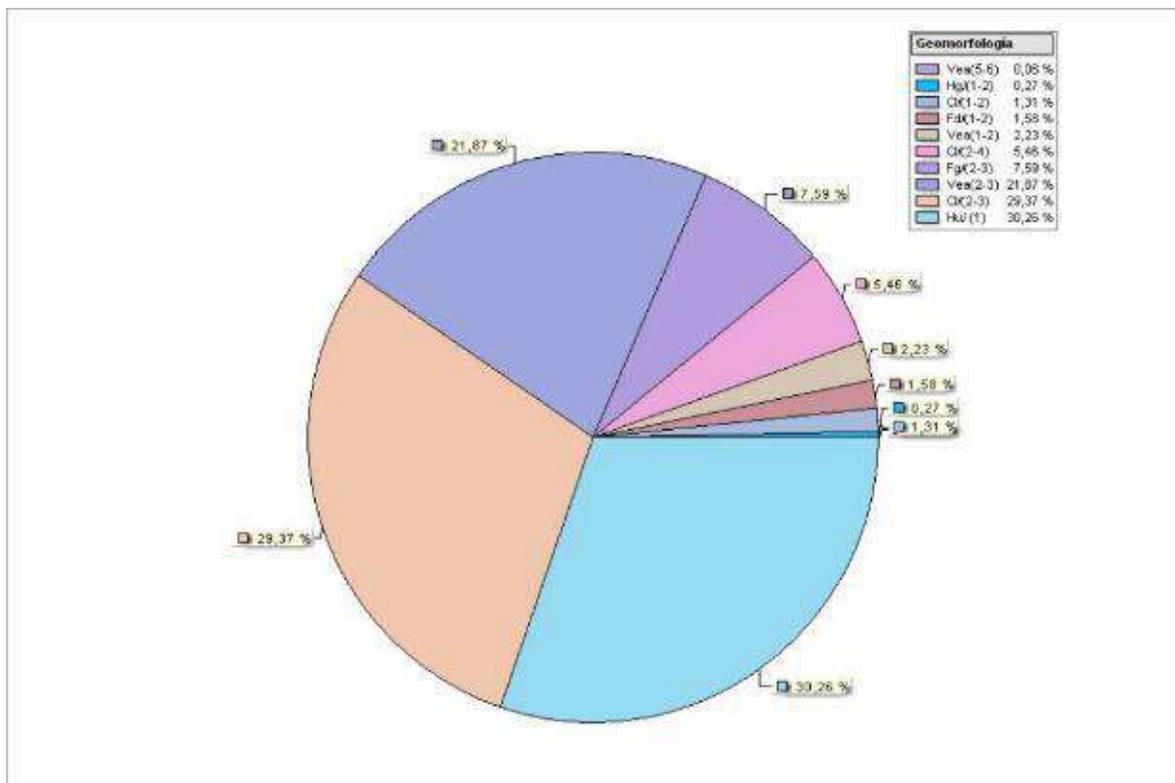
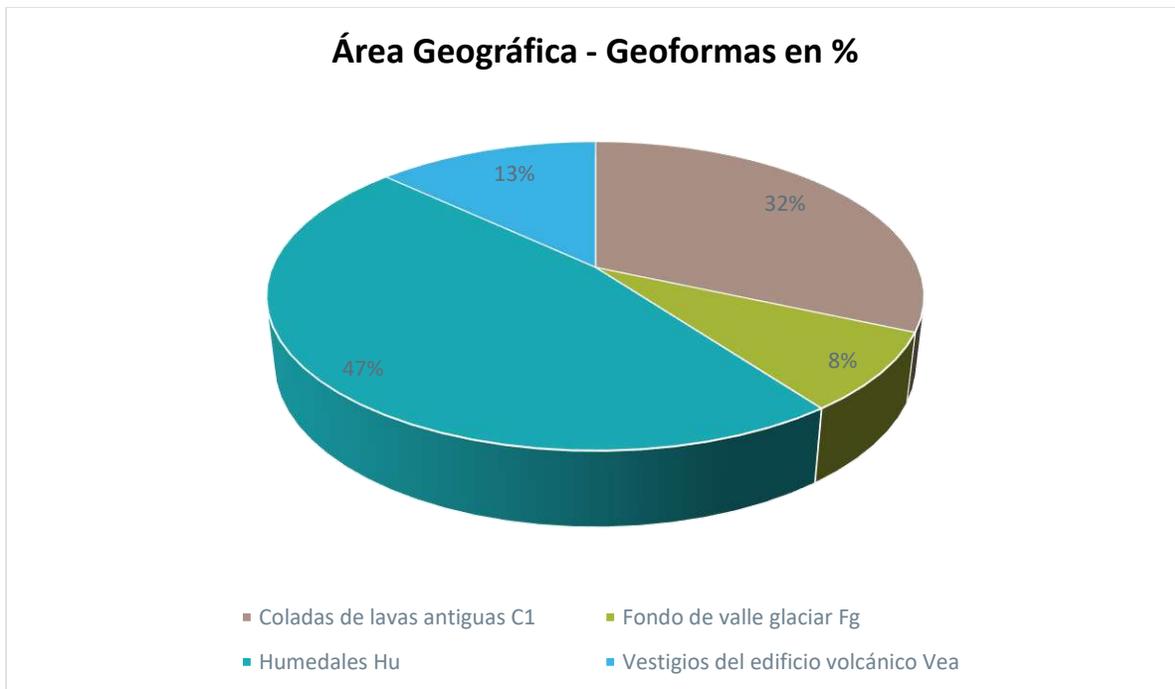
UTM: 697136, 9663565  
Fuente: Entrix, junio 2020



**Figura 6-68 Humedales y/o Almohadillas (dentro del área de implantación)**

UTM: 698004, 9662989  
Fuente: INVMINEC, marzo 2021

De acuerdo con la Figura 6-68, se puede observar que el mayor porcentaje del área geográfica estudiada está dominada por las geformas de coladas de humedales, lavas antiguas, vestigios del edificio antiguo y fondos de valle glaciar.



**Figura 6-69 Porcentaje de las Geoformas presentes en el Área Geográfica**

Fuente: DPMECUADOR SA, 2022  
 Elaborado: Entrix, marzo 2022

## **Estabilidad Geomorfológica**

La estabilidad es la capacidad que tienen los elementos de las estructuras de soportar las acciones sin volcar o caer. Desde el punto de vista geomorfológico, hace alusión a movimientos gravitacionales, como caídas, deslizamientos, flujos, etc.

### Metodología

La metodología que se empleó es de carácter descriptivo, analítico, correlacional e interpretativo.

Descriptivo, ya que, con el detalle de los subtemas desarrollados en esta Línea Base, de geología, pendiente del terreno, textura de los suelos, tectónica, cubierta vegetal y de precipitación que se efectuaron, con las observaciones y caracterizaciones permitieron definir su comportamiento geomorfológico.

- > Analítico, porque reúne a todos los aspectos antes indicados y los relaciona.
- > Correlacional, debido a que existe una correspondencia entre los diferentes rasgos analizados.
- > Interpretativo, ya que mediante el análisis y la correlación de las diferentes variables se desarrolló el análisis de Estabilidad Geomorfológica mediante una tabla de atributos del sistema computacional ArcGIS.

Este análisis permite definir que existen zonas estables o zonas afectadas por inestabilidad geomorfológica, metodología adaptada del Instituto Geográfico Militar (IGM), Instituto Panamericano de Geografía e Historia Sección Nacional del Ecuador (IPGH); Institut Francais de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM); Atlas Infográfico de Quito: Sociodinámica del Espacio y Política Urbana (Anexo B-Cartografía, 6.1-9 Mapa de Estabilidad Geomorfológica); además de las directrices para la cartografía regional de deslizamientos de tierra (*The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides*), el manual de deslizamientos de tierra: *Una guía para comprender los deslizamientos de tierra*; U.S. Geological Survey, 2008 (Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-9).

Esta metodología es una adaptación del Instituto Geográfico Militar (IGM), Instituto Panamericano de Geografía e Historia Sección Nacional del Ecuador (IPGH); Institut Francais de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM); Atlas Infográfico de Quito: Sociodinámica del Espacio y Política Urbana. La metodología anteriormente citada tiene relación con el Manual de Deslizamientos de tierra (*The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides*). U.S. Geological Survey, 2008.

Por otro lado, para tener una visión clara de los riesgos físicos naturales que podrían afectar al área geográfica, al final de este subtema, en el Tabla 6-58, se realiza una interpretación de la estabilidad geomorfológica de las unidades fisiográficas y los riesgos físicos naturales.

### Categorías

#### *Zonas Muy Estables (E1)*

Son todos aquellos medios actualmente sin problema de inestabilidad, debido a que algunos de los factores físico-naturales se presentan a favor del medio, dando lugar a que los procesos morfodinámicos de superficie no se puedan desarrollar.

Ocupan áreas planas a onduladas de las hondonadas pantanosas de origen glaciar-preglaciar con pendientes suaves, y ocupan áreas planas a onduladas de las coladas de lavas antiguas de pendientes moderadas con pendiente menor al 15 %, asociadas con la categoría Relativamente Estable E2. Ocupadas en algunos casos por vegetación natural poco intervenida y vegetación secundaria. Los suelos son orgánicos, profundos, sobresaturados, de baja permeabilidad, influenciadas por precipitaciones medias anuales del orden de los 1060 mm y temperatura promedio de 8,4°.

### *Zonas Medianamente Estables (E2; E1-E2)*

Esta categoría corresponde a áreas donde la estabilidad de uno a varios factores físico-naturales es moderada, lo que crea una mediana potencialidad de rotura del equilibrio natural.

Corresponde a las hondonadas pantanosas de origen glaciar-preglaciar con pendientes suaves a moderadas y coladas de lavas antiguas, de pendientes abruptas; vestigios de edificios volcánicos, con pendientes moderadas de pendientes menores al 25 %, así como los humedales y/o almohadillas, texturas finas de los suelos, presentan una cobertura de vegetación natural poco intervenida, vegetación secundaria y algunos cultivos.

### *Zonas Medianamente Inestables (E2- (E3); E3-(E2))*

Esta categoría corresponde a áreas donde la inestabilidad de varios factores físico-naturales es moderada a alta, lo que crea un riesgo potencial de rotura del equilibrio natural.

Se incluyen relieves de fondo de valle glaciar con pendientes abruptas, vestigios de edificios volcánicos con pendientes abruptas mayores al 45 %, así como los humedales y/o almohadillas y barrancos; la textura de los suelos es generalmente fina. Estas áreas están cubiertas con vegetación natural o secundaria, pastos y algunos cultivos.

Por lo general, el riesgo a los movimientos en masa en esta categoría es de potencial alto, tornándose vulnerable a la erosión hídrica. En el caso de los humedales y/o almohadillas son zonas propensas a las inundaciones, por el deficiente drenaje y baja permeabilidad.

### *Zonas Muy Inestables (E3)*

Esta categoría corresponde a áreas donde la inestabilidad de varios factores físico-naturales es moderada a alta, lo que crea un riesgo elevado de potencialidad de rotura del equilibrio natural.

Se incluyen depósitos de deslizamiento, masa deslizada, con pendientes no mayores al 50%, ocupan sectores de laderas abruptas; la textura de los suelos es general fina. Estas áreas están cubiertas con pastos y algunos cultivos y vegetación secundaria.

Por lo general, el riesgo a los movimientos en masa, en esta categoría, es de potencial muy alto, tornándose vulnerables a la erosión hídrica con procesos de erosión a nivel de cárcavas.

En el Tabla 6-58 se relaciona la estabilidad geomorfológica y el riesgo físico:

**Tabla 6-58 Estabilidad Geomorfológica y Riesgo Físico**

<b>Categoría</b>	<b>Paisaje Geomorfológico</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Procesos Geomorfológicos</b>	<b>Riesgo Físico</b>
Zona Estable	Hondonadas pantanosas de origen glaciar-preglaciar con pendientes suaves, coladas de lavas antiguas de pendiente moderada.	E1	Escurrimiento laminar. Socavamientos y erosión lateral. Reptación de suelos.	Bajo
Zona Medianamente Estable	Hondonadas pantanosas y humedales y/o almohadillas de origen glaciar-preglaciar con pendientes suaves, a moderadas, coladas de lavas antiguas, de pendientes abruptas; vestigios de edificios volcánicos con pendientes moderadas; humedales y/almohadillas.	E2; E1-E2	Socavamientos y erosión lateral. Movimientos en masa pequeños. Reptación de suelos.	Medio
Zona Medianamente Inestable	Fondo de valle glaciar con pendientes abruptas, Barrancos, Vestigios de edificios volcánicos con pendientes abruptas. Humedales y/o almohadillas.	E2-E3; E3-(E2)	Movimientos en masa pequeños a medianos. Reptación de suelos.	Medio a Alto

<b>Categoría</b>	<b>Paisaje Geomorfológico</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Procesos Geomorfológicos</b>	<b>Riesgo Físico</b>
Zona Muy Inestable	Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	E3	Movimientos en masa medianos a grandes.	Muy Alto

Fuente y Elaboración: Entrix, junio 2020

### Conclusiones

El Proyecto Loma Larga se localiza dentro de zonas de estable a mediana inestabilidad, está entre unas zonas de estabilidad E1, E2, predominan pendientes menores al 45 % de aceptable drenaje superficial y el sustrato rocoso es volcánico. En el sector sur, del área geográfica, se ha detectado zonas de características Muy Inestables.

De acuerdo con este análisis, fuera del área de implantación del proyecto Loma Larga existen riesgos de inestabilidad geomorfológica potenciales, el riesgo es de carácter bajo a medio. Los movimientos en masa se presentan con baja regularidad, especialmente en las épocas de grandes precipitaciones que están asociados a la sobresaturación de los suelos, a la fuerte pendiente natural que domina algunos sectores, al fracturamiento del sustrato rocoso y a áreas con intervención antrópica.

Un proceso muy generalizado que se observa en el sector analizado es la presencia de zonas afectadas por reptación de suelos, incluso en áreas planas; esto se debe a la constitución de los suelos superficiales, que, en su mayoría, son de origen orgánico y, en menor proporción, residuales, pero todos ellos se encuentran sobresaturados casi todo el año debido a las condiciones climáticas de la región.

Los procesos hidrodinámicos y gravitacionales son potentes y no corregibles, debido a las pendientes abruptas de algunos sectores, a las altas precipitaciones concentradas en la época lluviosa y a espesores de los suelos, por lo que se debe tomar medidas preventivas para evitar dichos fenómenos.

Es importante destacar que los sitios donde se proyecta cimentar las infraestructuras para la operación del Proyecto acorde con los estudios de factibilidad efectuados previamente se localizan en una zona estable geomorfológicamente; se ha detectado algunas áreas medianamente inestables debido a la presencia de humedales y/o almohadillas, que son el resultado de las características de los suelos (orgánicos) y el pobre drenaje de estos.

#### **6.1.1.6.2 Geomorfología Local**

##### **Metodología**

La información de geomorfología presentada en esta sección es un extracto del informe: IAMGOLD Ecuador S. A. 2010. Estudio de Geomorfología y Estudio de Estabilidad de Pendientes para las Zonas de Interés del Proyecto Quimsacocha. Informe Final, Timbe et al., 2010 (Apéndice 6.1.4-A) (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1.15 Estudio Geomorfológico-Estabilidad 2010) sobre el estudio geomorfológico y de estabilidad de taludes para el proyecto Quimsacocha. El objetivo del estudio fue elaborar un mapa de las zonas de susceptibilidad del terreno a la falla de la pendiente en el sector de Quimsacocha (una superficie aproximada de 3045 ha). Los detalles sobre los materiales y métodos utilizados para llevar a cabo el estudio geomorfológico se presentan en el Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.15 Estudio Geomorfológico-Estabilidad 2010. El estudio se basó en los siguientes métodos:

- > Recopilación y análisis de la información existente,
- > Reconocimiento de campo dentro del área geográfica, y
- > Análisis de zonas susceptibles a movimientos de masas y al potencial a la erosión basados en factores contribuyentes (topografía, hidrografía, geología, uso del suelo y datos de lluvia) a la inestabilidad del terreno.

La geomorfología del PLL (presentada en las Figura 6-70 a Figura 6-79) se clasifica en unidades geomorfológicas a través de la interpretación de la foto aérea para representar las formas de relieve y la morfometría respectiva (Tabla 6-59). Existen cuatro formas principales de relieve donde se identifican: colinas, zonas fluviales, zonas glaciares, escarpes y cañones.

La principal fuente de datos utilizada para la identificación de las diferentes formas de relieve fueron fotografías aéreas en blanco y negro del 2003. La Tabla 6-59 presenta las principales características de las fotografías aéreas. Estas fotografías aéreas fueron tomadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) dentro del marco del proyecto de la Carta Nacional; las fotografías tienen una escala espacial de aproximadamente 1:60 000.

**Tabla 6-59 Características de las Fotografías Aéreas Adquiridas (IGM)**

<b>Características</b>	Año 2003
<b>Fecha del vuelo</b>	05-07-2003
<b>Escala aproximada</b>	1:60 000
<b>Calidad de la imagen</b>	Baja resolución y contraste moderado
<b>Longitud focal (mm)</b>	152,91
<b>Número de fotos</b>	22815-22816-22817

Fuente y elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020

La calidad de la imagen de las fotografías aéreas es buena con un contraste de la imagen relativamente moderada. Estas fotografías tienen una resolución fotográfica baja y esto se traduce en que las imágenes abarcan grandes áreas del terreno. Estas características de las fotografías aéreas ocurren principalmente porque presentan un mayor ángulo de visualización y, por lo tanto, una mayor distorsión y desplazamiento de los rasgos del terreno. Analizando las fotografías aéreas, es bastante claro que la identificación de los rasgos del terreno es factible, ya que las formas de relieve son características grandes del paisaje y, por lo tanto, el detalle de estas fotografías es suficiente para elaborar un mapa geomorfológico.

#### Fotointerpretación

Para este estudio, la fotointerpretación tiene por objetivo la identificación de las diferentes formas de relieve del área del proyecto Quimsacocha por medio de fotografías aéreas. La interpretación de las fotografías aéreas fue llevada a cabo con un estereoscopio de espejo (Wild estereoscopio-4 veces de aumento). Mediante las observaciones de las formas de relieve en tres dimensiones, la interpretación visual de las fotografías aéreas se facilita. Las diferentes formas de relieve fueron observadas y delineadas con marcadores de tinta sobre acetatos transparentes. Las formas de relieve que fueron identificadas en este estudio se presentan en la Tabla 6-60.

A continuación, se presenta un resumen de las diferentes formas de relieve con sus respectivas unidades geomorfológicas, las cuales están indicadas en la leyenda del Mapa Geomorfológico del Proyecto Loma Larga (Figura 6-80).

**Tabla 6-60 Formas de Relieve y Tipos de Morfometría**

<b>Formas de Relieve</b>	<b>Morfometría</b>		<b>Símbolo</b>
Colinas	-	-	C
	Forma de talud	Rectilíneo	R
		Convexo	X
		Cóncavo	V

Formas de Relieve	Morfometría		Símbolo
	Forma de la cima de la colina	Convexo-cóncavo	Z
		Plana	P
		Redondo	D
		Angular	G
	Desnivel	< 50 m	1
		De 50 a 150 m	2
De 150 a 300 m		3	
Zonas fluviales	-	-	Vf
	Grado	Escarpado (pendientes <30 %)	Y
		Moderado (pendientes entre 15 y 30 %)	M
		Suave (pendientes inferiores al 15 %)	s
	Longitud de la pendiente	Largo (<100 m desde el lecho del río hasta el desvío de agua perpendicular al lecho del río)	L
		Short (>100 m desde el lecho del río hasta el desvío de agua perpendicular al lecho del río)	C
Zona glacial	Valle del glaciar	-	Vg
	Grado de inclinación de las laderas	Escarpado (pendientes superiores al 30 %)	Y
		Moderado (pendientes entre 15 y 30 %)	M
		Suave (pendientes inferiores al 15 %)	s
	Longitud de las pendientes:	Largo (longitud superior a 100 m desde el lecho del río hasta la división de agua perpendicular al lecho del río)	L
		Corto (longitud a menos de 100 m desde el lecho del río hasta la división de agua perpendicular al lecho del río)	C
	Fondo del valle	-	F
	Valle colgante	-	tú
	Grado de inclinación de las laderas	Escarpado (pendientes superiores al 30 %)	Y
		Moderado (pendientes entre 15 y 30 %)	M
Suave (pendientes inferiores al 15 %)		s	
Fondo del valle	-	F	
Escarpa	-	-	Y
Cañones	-	-	C'

Fuente y elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-70 Vista ESE desde el Área de Depósito de Loma Larga**

\* Muestra las cimas de las colinas redondeadas (Cxd2), el valle glacial con pendiente moderadamente larga y empinada (Vgml) incidido por la zona fluvial (VFms) con pendiente moderadamente empinada y corta. El valle glacial está cubierto por una sobrecarga orgánica. El acantilado de la izquierda muestra una caída de depósitos coluviales no consolidados en pendientes más pronunciadas.

Fuente y Elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-71 Vista SE desde la Estación Meteorológica través del Páramo Colinado**

\* Barranco poco profundo drenando de abajo a derecha a centro izquierda típico del inicio de los arroyos de drenaje de orden superior

Fuente y Elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-72** Vista Norte a través del Área del Depósito de Loma Larga y el Páramo Inclinado Suave a Moderado a Pendientes Pronunciadas de la Línea de la Cresta que Exhibe la Caída

Fuente y Elaboración: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-73** Vista NE desde el Área de la Planta de Proceso Propuesta a través de la Meseta de Glaciar Suavemente Inclineda

Fuente y Elaboración: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-74 Vista hacia el Norte a través del Área de Depósito Mineral**

\*Meseta ondulada (páramo) flanqueada por terreno moderado a escarpado y líneas de cresta separadas por cuencas de drenaje de nivel superior en forma de U a V.

Fuente y Elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-75 Vista hacia el Norte a través de la Ruta de Acceso a las Perforaciones de Exploración**

\*Los suelos saturados y orgánicos susceptibles de erosión son atravesados por el camino de acceso, y las líneas de cerca establecidas para mantener los recorridos dentro del corredor definido

Fuente y Elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-76 Sendero de Exploración al Área de Perforación;**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-77 Vista SW desde el Área de la Planta de Proceso Propuesta a través de la Meseta Glacial Suavemente Ondulante**

Fuente y Elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-78 Vista Norte a través de la Zona Superior Propuesta FTSE, Valle Glacial Suavemente Inclinado en las Cabeceras del Arroyo Cristal**

Fuente y Elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020



**Figura 6-79 Vista Este Aguas Abajo Río Cristal**

\*Terreno glacial suavemente inclinado de drenaje superior dan paso a formas fluviales progresivamente más incisas con roca expuesta intermitente NE de FTSE; paredes de valle flanqueadas por pendientes moderadas a empinadas a lo largo de crestas con desniveles aislados y características de fluencia del suelo

Fuente y elaboración: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, junio 2020

### Mapa Geomorfológico

En la Tabla 6-61 se presenta un desglose de las principales formas de terreno en el área geográfica. El paisaje está dominado principalmente por zonas glaciares, con 46 % (652 ha); de esta superficie, 20 % (285 ha) corresponde a valles glaciares (VG) y 26 % (367 ha) a valles colgantes (VC). Por otro lado, los valles fluviales (VF) representan el 36 % (501 ha) de la superficie, lo que hace que el VF sea un relieve importante en la composición del paisaje. Aunque las colinas (C) representan solo el 13 % (180 ha) de la superficie total estudiada, estas formas terrestres son importantes para entender el modelado glaciar y fluvial de la región, ya que las colinas están modeladas por procesos de erosión. Finalmente, se tiene las escarpas con 2 % (33 ha) y cañones con 3 % (40 ha), formas terrestres que representan solo el 5 % de la superficie total. Estas formas terrestres son el resultado de actividades tectónicas, fallas geológicas, procesos de erosión fluvial y movimientos de masas (como deslizamientos de tierra) (Summerfield, 1991).

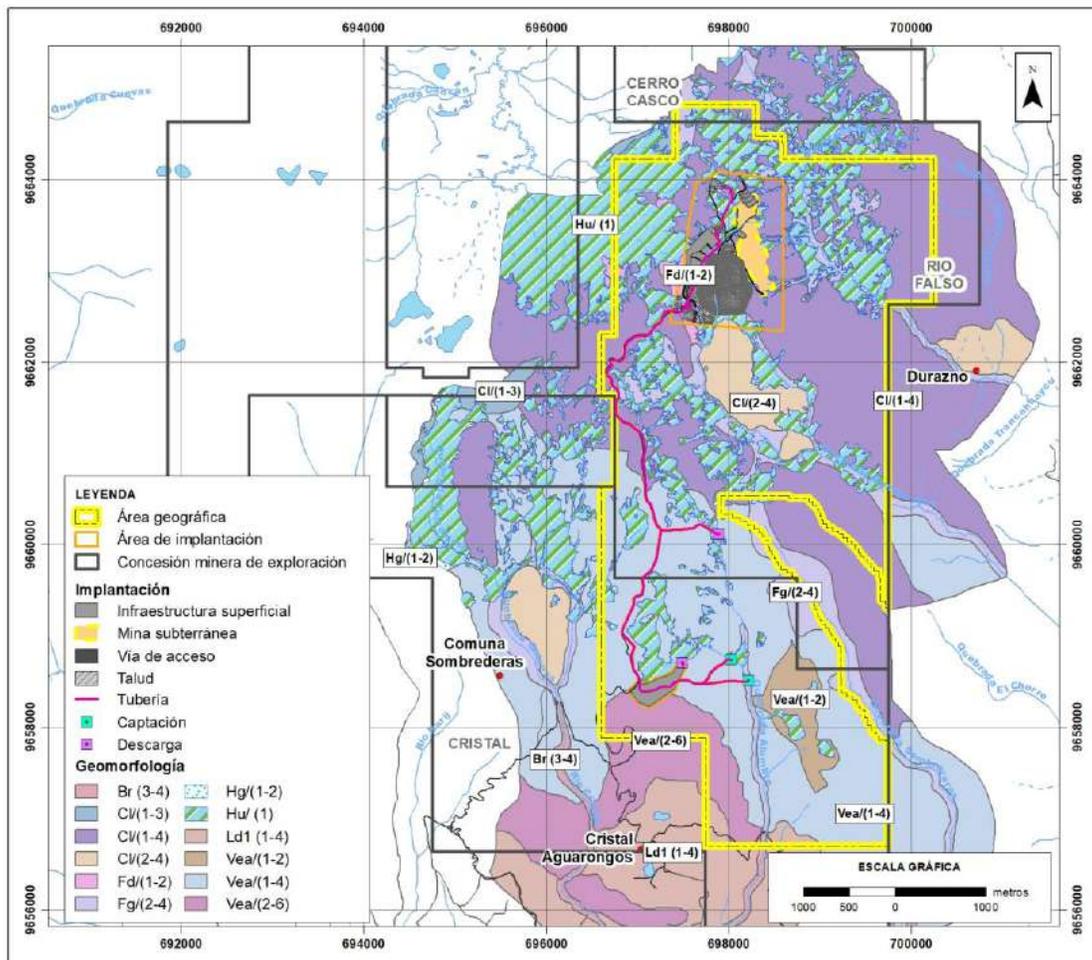
**Tabla 6-61 Principales Formas de Relieve en el Área geográfica**

Formas de Relieve	Superficie (ha)	Superficie (%)
<b>Colinas</b>	180	13
<b>Zonas Fluviales Zonas</b>	501	36
<b>Zona Glacial:</b>	652:	46:
<b>Valle del Glaciar</b>	285	20
<b>Valle Colgante</b>	367	26
<b>Escarpa</b>	33	2
<b>Cañones</b>	40	3

Fuente y elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020

Las formas de susceptibilidad a la inestabilidad aumentan con la inclinación de la pendiente. Las geoformas, como VF, VG y VC, que se caracterizan por pendientes pronunciadas (e), moderadas (m) y pendientes cortas (c), que también son susceptibles a la inestabilidad (como caídas de rocas y deslizamientos de tierra superficiales) sin una gestión adecuada del suelo. Esta susceptibilidad a la inestabilidad se intensificó en suelos formados en litologías de baja resistividad. Las áreas de escarpas (E) y los cañones son el resultado de procesos naturales de tectonismo, erosión fluvial y deslizamientos de tierra. Es importante mencionar que la mayoría de las formas de tierra ubicadas en la parte sur del Proyecto (VGml, VGf, Crg3, Cxd1, Czd1, C, E y VFmc) (la ubicación propuesta para el FTSF) se perturban en comparación con la mayoría de las formas de tierra (como VFel y VCm) en la parte norte de la zona de estudio (la ubicación propuesta para las obras subterráneas).

La Figura 6-80 presenta el mapa geomorfológico del proyecto Loma Larga.



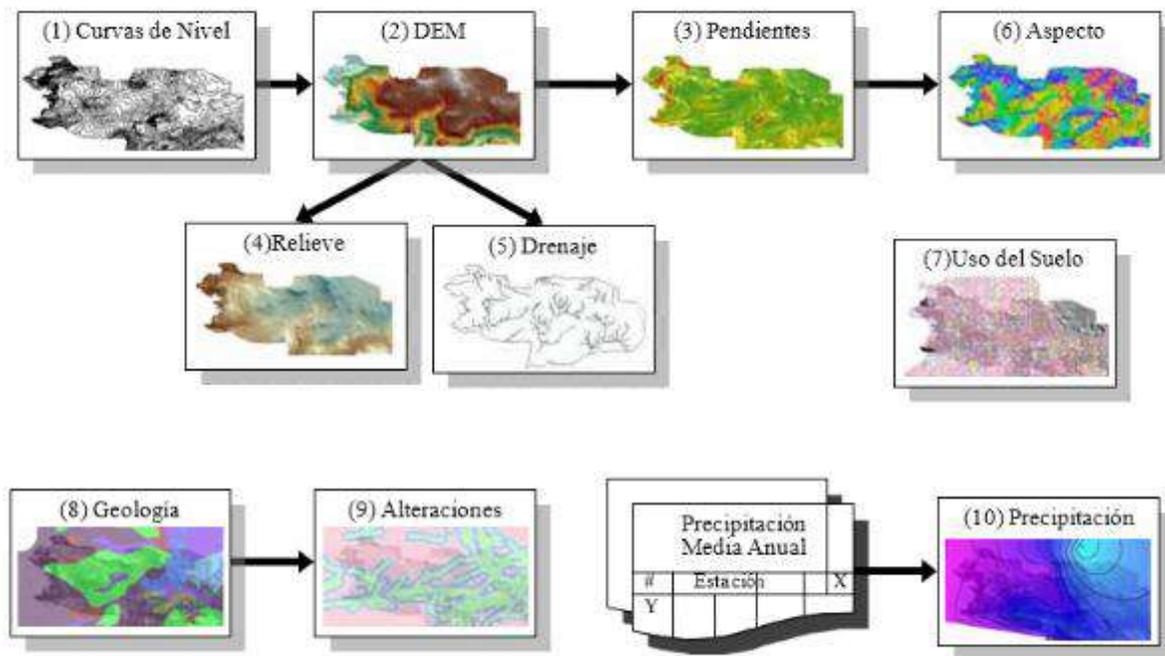
**Figura 6-80 Geomorfología del Proyecto Loma Larga**

Fuente y elaboración Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-8 Geomorfológico).

## Susceptibilidad a los Deslizamientos de Tierra

### Metodología

El mapa de zonificación de la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra (Figura 6-82) se desarrolló para identificar áreas con diferentes susceptibilidades a deslizamientos de tierra en las áreas de estudio de INVMINEC. En los capítulos 2 y 3 del estudio de estabilidad de pendientes ("Estudio de Estabilidad de Pendientes"), en el Figura 6-81, se presentan los detalles del análisis cartográfico y los métodos utilizados. Las diferentes clasificaciones se asignaron a los variados mapas temáticos según su efecto en los deslizamientos de tierra; de esta manera, se asignó un peso a cada capa como atributo en el SIG. Los mapas en formato vectorial se reclasificaron según el peso de la clase, y se convirtieron al formato ráster utilizando el valor de la clasificación para cada celda. Los diferentes mapas ráster se utilizaron como parámetros de entrada para el análisis de zonificación. En la siguiente figura se muestra el esquema empleado para la elaboración de mapas a partir de información base:



**Figura 6-81 Esquema de Elaboración de Mapas a Partir de Información Base**

Fuente y elaboración: Estudio de Geomorfología y estabilidad de pendientes para las zonas de intereés del proyecto Quimsacocha, IAMGOLD, noviembre 2010

Después de la creación de las capas primarias, técnicas de SIG como filtrado, distancias de *buffering*, operaciones lógicas, conversión de mapas vector a ráster y viceversa, la reclasificación y operaciones de mapas ráster fueron aplicadas.

Detalles de los diferentes mapas temáticos que se emplean para la zonificación de la susceptibilidad de deslizamientos se dan en el Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1.15 Estudio Geomorfológico-Estabilidad 2010.

#### Mapa de Zonificación de la Susceptibilidad de Deslizamientos

Utilizando los diferentes mapas temáticos, dos modelos distintos fueron aplicados para la zonificación, estos son: el modelo de índice simple y el modelo de índice basado en litología ponderada (Kouli, M. 2010). Los mapas fueron normalizados para compararlos cuantitativamente. Estos mapas fueron clasificados usando intervalos iguales en cinco niveles de susceptibilidad: Muy Bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto. Esto permite incorporar la interacción de los diferentes factores que afectan a los deslizamientos sin entender la relación que existe entre ellos. Una vez identificadas las diferentes zonas, se puede tomar decisiones sobre el apropiado desarrollo que se puede dar a la zona, el tipo de mitigación que se puede usar y/o las zonas que deben ser evitadas. En la Tabla 6-62 se presenta, de una manera descriptiva, el grado de susceptibilidad con los factores que pueden estar afectando al deslizamiento.

**Tabla 6-62 Zonas de Susceptibilidad a Deslizamiento**

Grado de Susceptibilidad	Comentarios	Superficie (%)
Muy Bajo (1)	Laderas no climáticas con discontinuidades favorables que no muestran signos de deslizamientos de tierra.	6,4

<b>Grado de Susceptibilidad</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Superficie (%)</b>
Bajo (2)	Pendientes que tienen algunas fisuras, materiales insaturados parcialmente erosionados con discontinuidades favorables, donde no hay evidencia para predecir deslizamientos de tierra.	77,7
Moderado (3)	Pendientes con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, donde no se han producido deslizamientos de tierra, pero no hay total garantía de que no se produzcan.	9,8
Alto (4)	Pendientes que tienen zonas de falla, alta a moderada intemperie y discontinuidades desfavorables, donde se han producido o es probable que se produzcan deslizamientos de tierra.	6,1
Muy Alto (5)	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente desgastadas y saturadas y discontinuidades desfavorables, donde se han producido deslizamientos de tierra o existe una alta posibilidad de que ocurran.	0,002

Fuente: Estudio de Geomorfología y estabilidad de pendientes para las zonas de interés del proyecto Quimsacocha, IAMGOLD, noviembre 2010

Elaboración: Entrix, junio 2020

El círculo rojo en la Figura 6-82 identifica zonas de susceptibilidad de deslizamiento de tierras altas a muy altas. Como se presenta en la Figura 6-82, la zona de muy alta susceptibilidad (área de aproximadamente 0,02 ha) se encuentra en su mayor parte fuera del área de implantación del Proyecto, en el límite occidental.

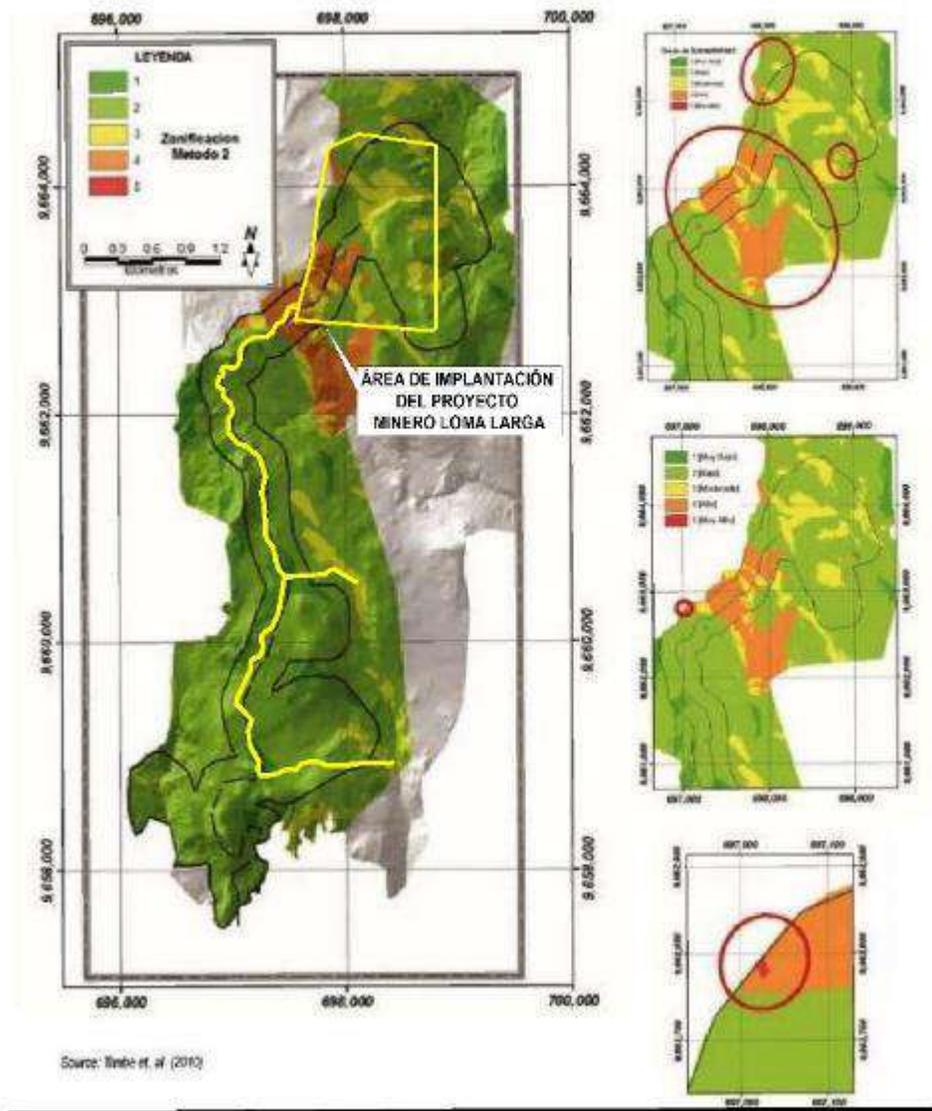


Figura 6-82 Zonas de Susceptibilidad a Deslizamientos de Tierra

Fuente y elaboración: Estudio de Geomorfología y estabilidad de pendientes para las zonas de interés del proyecto Quimsacocha, IAMGOLD, noviembre 2010

### Susceptibilidad a la Erosión

#### Metodología

Los diferentes mapas temáticos (suelos, litología, pendientes y uso del suelo) elaborados para este estudio fueron combinados para producir un mapa de susceptibilidad a la erosión. El método utilizado en este análisis es la superposición de los diferentes mapas temáticos mediante la utilización de un sistema de información geográfica. Hemos utilizado el programa Idrisi Andes, en particular, la herramienta llamada 'Overlay' que permite realizar esta operación de superposición de las diferentes imágenes en ráster.

Antes de ejecutar la operación de superposición de los mapas, es necesario reclasificar cada mapa temático para poder lograr un ranking de susceptibilidad, proceso detallado en el **Anexo C. Respaldo**

**Línea Base, C.1.15 Estudio Geomorfológico-Estabilidad 2010.** Tres clases de susceptibilidad fueron dadas, tal como se indica en la Tabla 6-63.

**Tabla 6-63 Descripción de la Clasificación de Susceptibilidad a Erosión**

Tipo de Clase	Descripción
Clase 1	No susceptible a erosión
Clase 2	Ligeramente susceptible a erosión
Clase 3	Susceptible a erosión

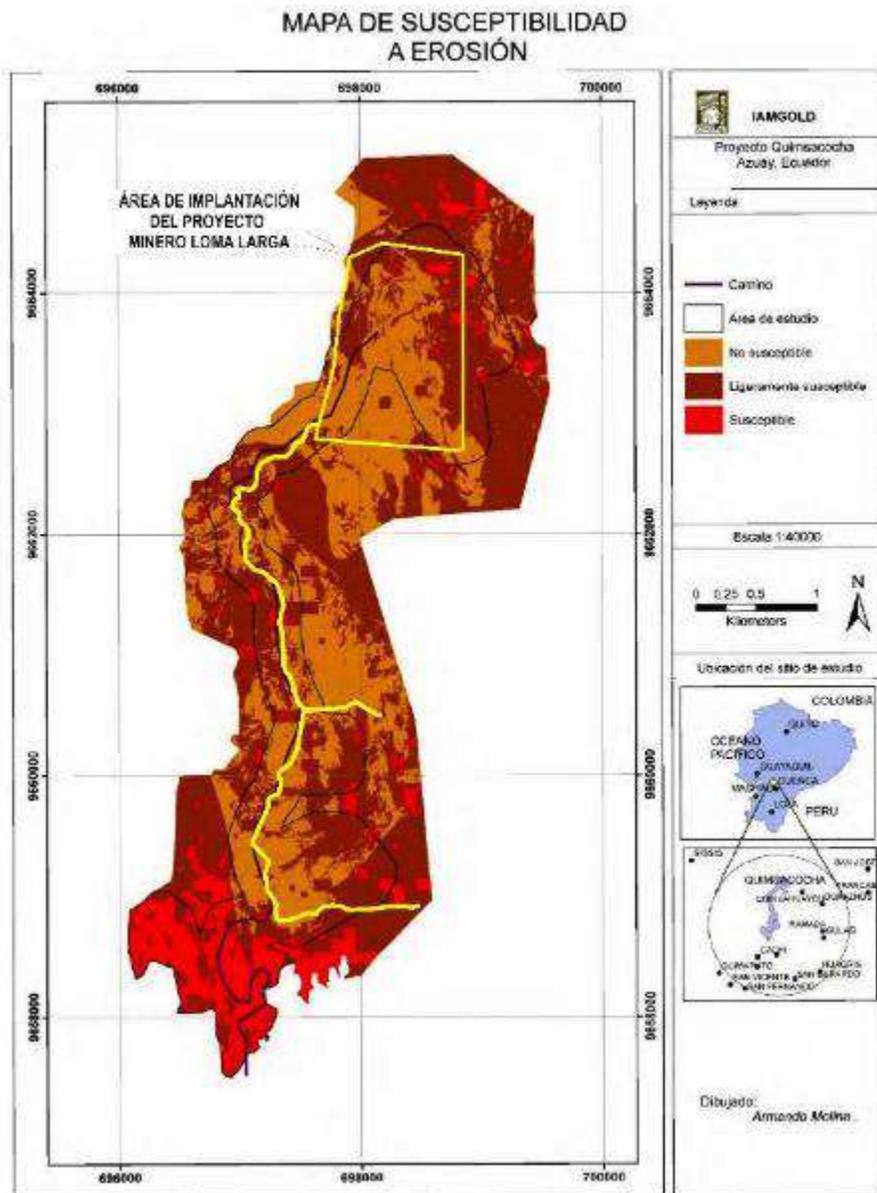
Fuente y elaboración: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, junio 2020

#### Resultados del Análisis de Susceptibilidad a Erosión

Este estudio se llevó a cabo para un área de 1270 ha. Aproximadamente el 35 % (445 ha) de la superficie estudiada está subyacente por una litología principalmente porfirítica dacítica, flujos de lava andesita y brechas, cubierta por una capa de suelo no susceptible a la erosión, debido a la litología que no es propensa a la meteorización y a la cobertura vegetal. Esta zona está cubierta de suelos andosol saturados e histosoles, exhibe laderas de pendientes menores al 15 %, y está completamente cubierta de vegetación natural de páramo y bosque montano. Por el contrario, el 53 % (673 ha) se clasifica como moderadamente estable. Esta clase está influenciada principalmente por la pendiente (15 a 30 %) y el tipo de litología, como los depósitos de morrena, los flujos de escombros y los flujos de lava andesítica. Estas áreas moderadamente estables están cubiertas por suelos moderadamente estables compuestos por Cambisoles y vegetación degradada de páramo y pinares. Finalmente, el 12 % (152 ha) se clasifica como susceptible a la erosión. Estas áreas susceptibles tienen pendientes superiores al 30 %, están cubiertas principalmente por Leptosoles, cultivos y páramo perturbado.

En general, se puede concluir que los riesgos de que ocurran modificaciones en el paisaje debido a procesos de erosión son limitados, ya que solamente el 12 % del territorio estudiado es propenso a este tipo de degradación del suelo. Sin embargo, analizando la distribución espacial de estas áreas inestables, está muy claro que pendientes empinadas superiores al 30 % y usos del suelo como páramo degradado, cultivos y bosque de pino son los factores que más influyen a producir procesos de erosión. Además, los suelos que están formados sobre litologías de materiales débiles (flujos piroclásticos y flujos de lava andesítica) convierten a estas áreas muy susceptibles a sufrir degradación de la tierra. De los factores enumerados anteriormente, solamente el uso del suelo puede ser controlado por los seres humanos, ya que la topografía y la litología son producto de procesos naturales. Por lo tanto, se vuelve primordial mantener la vegetación nativa, como el páramo y el bosque montano, con el objetivo de proteger el suelo en contra de factores climáticos, como la lluvia.

La Figura 6-83 presenta la susceptibilidad a la erosión dentro del área de implantación del proyecto Loma Larga.



**Figura 6-83 Mapa de Susceptibilidad por Erosión**

Fuente y elaboración: Estudio de Geomorfología y estabilidad de pendientes para las zonas de interés del proyecto Quimsacocha, IAMGOLD, noviembre 2010

### Conclusiones

El mayor porcentaje del área evaluada se ubica en una zona de baja susceptibilidad a deslizamientos y representa el 77,7 %.

La zona de muy alta susceptibilidad (área de aproximadamente 0,02 ha) se encuentra fuera del área de implantación del Proyecto, en el límite occidental.

Se concluye que el área estudiada se la puede valorar con una susceptibilidad de media a baja, valores muy correlacionables con la determinada en la evaluación de la estabilidad geomorfológica, en el análisis geomorfológico regional de este estudio.

Los riesgos de que ocurran modificaciones en el paisaje debido a procesos de erosión son limitados, ya que solamente el 12 % del territorio estudiado es propenso a este tipo de degradación del suelo.

La vegetación es vital para evitar riesgos de erosión; por lo tanto, es necesario enfocarse en el manejo del suelo de forma sustentable.

#### **6.1.1.7 Vulcanismo**

El vulcanismo en el Ecuador se identifica por medio de varios cientos de volcanes activos o latentes, que, en su mayoría, se hallan distribuidos a lo largo de las cumbres de los Andes septentrionales del país.

En la década de los setenta se reconocieron ocho volcanes como activos (Hall, 1977), en vista que estos habían experimentado actividad en tiempos históricos. Actualmente, se considera que unos 55 volcanes deben ser considerados como tales o potencialmente activos.

Los volcanes considerados como potencialmente peligrosos están distribuidos a lo largo de la cordillera occidental del valle interandino de la Cordillera Real y en la región oriental, desde la frontera con Colombia, al norte, hasta el sur de Riobamba. Su distribución y sus mecanismos eruptivos reflejan el control y geometría de la zona de subducción que subyace hacia la mitad septentrional del Ecuador.

Los numerosos volcanes tienen influencia en mayor grado al valle interandino. Las áreas que podrían ser amenazadas por futuras erupciones se encuentran no solamente en dicho valle, sino también en los flancos occidentales y orientales de los Andes.

El volcán Sangay es el más cercano al Proyecto, se encuentra a una distancia aproximada de 150 km. Por tal motivo, esta región no presenta amenazas volcánicas significativas; a continuación, se presenta la ficha técnica del indicado volcán.

**Tabla 6-64 Ficha Técnica del Volcán Sangay**

<b>Volcán Sangay<sup>4</sup></b>	
Nombre	Sangay
Coordenadas	2°00'09"S-78°20'27"O
Altura	5230 msnm
Diámetro	10-12 km
Tipo de volcán	Estratovolcán
Última erupción	1628 hasta el presente
Estado	Activo
Actividad reciente	Explosiones estrombolianas, columnas de ceniza, generación de flujos piroclásticos, flujos de lava y actividad fumarólica.
Monitoreo	Sismicidad y desgasificación

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, junio 2020

<sup>4</sup> Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica del Ecuador, 2017

#### **6.1.1.7.1 Conclusión**

En el área no se evidencian riesgos mayores asociados a la actividad volcánica del país; el evento que puede incidir en el área del proyecto Loma Larga es la caída de ceniza tras una erupción volcánica del Sangay, que se encuentra en continua actividad, siempre y cuando se dé un evento explosivo de gran magnitud y la dirección del viento sea la indicada.

#### **6.1.1.8 Edafología y Calidad del Suelo**

##### **6.1.1.8.1 Introducción**

La importancia de la caracterización de suelos ha sido ampliamente reconocida por muchos años, y los esfuerzos por clasificar a los suelos y mapearlos son continuamente necesarios (Arrouays et al., 2020; Bashir et al., 2019). Aunque en los últimos años han existido esfuerzos por mejorar las técnicas para la distribución espacial de los suelos (Arrouays et al., 2020), aún existe una deficiencia de información base sobre suelos para fines agrícolas y ambientales (Zhang et al., 2016). En el caso de Ecuador, la necesidad de brindar información sobre los suelos a escalas más operativas (escalas pequeñas) se ha evidenciado con el desarrollo de información geopedológica a escala 1:25 000 a nivel nacional (SIGTIERRAS, 2019). Sin embargo, a pesar de ser una escala apropiada para una evaluación de recursos naturales a nivel local-regional y que sirve de asistencia para la toma de decisiones relacionadas con el uso sostenible de los recursos, esta información geopedológica ha sido priorizada para zonas agroproductivas, disminuyendo su estudio de detalle en zonas catalogadas —por los desarrolladores de tal información— como de exclusión, entre tales zonas están las de humedales y/o almohadillas y otros de suelos poco desarrollados (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019). Para esta línea base (ver sección 2.1) se tiene un ambiente típico de un ecosistema de páramo, donde es característica la presencia de zonas de pajonales y humedales y/o almohadillas con suelos dominantes Andosoles e Histosoles (Quichimbo and Cisneros, 2013), pero estos no se indican en el último estudio geopedológico gubernamental, pese a que su escala cartográfica (1:25 000) permite la identificación y caracterización de tales suelos para el área geográfica.

##### **6.1.1.8.2 Objetivos**

###### **Objetivo General**

El objetivo principal de este trabajo fue realizar un estudio sobre la caracterización de los suelos en base al análisis de sus propiedades hidrofísicas, químicas y de fertilidad (edafológicas) en el Proyecto Loma Larga (PLL).

###### **Objetivos Específicos**

- > Realizar una caracterización de la calidad de suelos conforme a la normativa ambiental nacional.
- > Presentar una caracterización de la distribución espacial de los tipos de suelos mediante el mapeo de los tipos de suelos en el área geográfica.
- > Caracterizar la capacidad de uso agrícola del suelo para el área geográfica.

##### **6.1.1.8.3 Metodología**

###### **Calidad de Suelos**

La metodología para la caracterización de la calidad del suelo está basada en la “Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados” (Anexo 2 del A.M. 097-A). El muestreo para esta caracterización indica un énfasis para el área de implantación del proyecto. Por lo tanto, se establecieron siete puntos de muestreo de suelos (PMS) de muestras compuestas, distribuidos de la siguiente manera: cinco puntos dentro del área de implantación de la infraestructura minera (AO) y dos para el área de implantación de la infraestructura lineal, específicamente tuberías de captación y de descarga de agua tratada (PL). Adicionalmente, la Compañía definió seis puntos en zonas

estratégicas, repartidas en el área de (AI) cinco puntos y un punto fuera del área geográfica superficial por accesibilidad (PMS12), localizado en la cuenca Bermejos. Hay que mencionar que el punto PMS1 ha sido ubicado en una zona de actividad agropecuaria para tener información en referencia a esta actividad en la calidad de los suelos. La ubicación de los 13 puntos de muestreo indicados en la Figura 6-84, se presenta en la Tabla 6-65 a continuación, seguido de fotografías para cada uno de estos puntos.

**Tabla 6-65 Codificación y Localización de los Puntos de Muestreo de Suelos (PMS) en el Área Geográfica**

Punto de Muestreo de Suelos (PMS)	Coordenadas (WGS84/Zona 17 Sur)	
	Este (m)	Norte (m)
PMS1	695590	9658505
PMS2	697746	9658494
PMS3	694620	9660283
PMS4	697082	9661122
PMS5	695576	9661744
PMS6	697197	9661638
PMS7	698065	9661874
PMS8	697480	9662701
PMS9	697956	9662625
PMS10	698514	9663451
PMS11	698458	9662865
PMS12	697109	9664742
PMS13	697756	9663298

Fuente: P. Quichimbo; Entrix, junio y julio 2020  
 Elaboración: P. Quichimbo, agosto 2020

A continuación, se muestran las fotografías de los sitios de muestreo; todas proporcionadas por Gruentec Environmental Services en su reporte de análisis del 10 de julio, 2020.



Foto 1: Sitio de muestreo PMS1



Foto 2: Sitio de muestreo PMS2



Foto 3: Sitio de muestreo PMS3



Foto 4: Sitio de muestreo PMS4



Foto 5: Sitio de muestreo PMS5



Foto 6: Sitio de muestreo PMS6

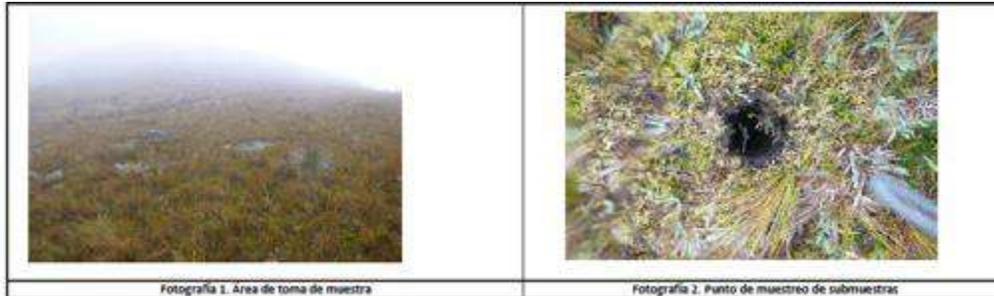


Foto 7: Sitio de muestreo PMS7



Foto 8: Sitio de muestreo PMS8

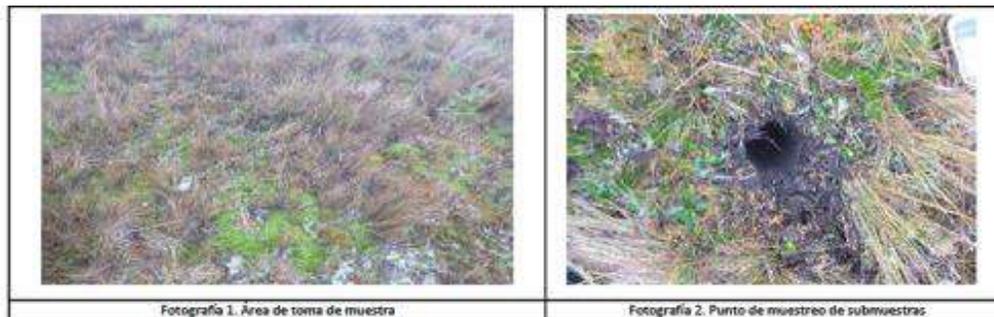


Foto 9: Sitio de muestreo PMS9

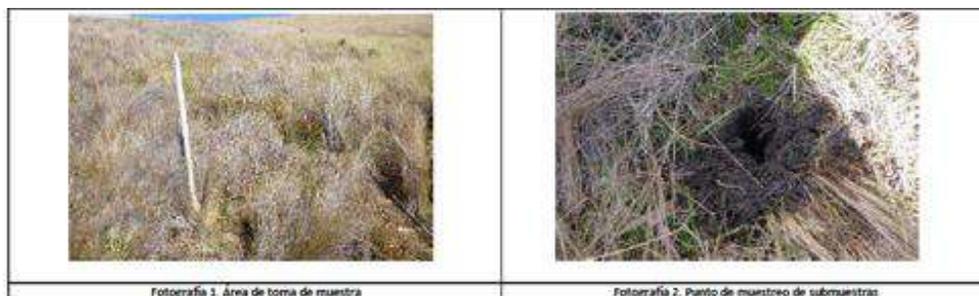


Foto 10: Sitio de muestreo PMS10



Foto 11: Sitio de muestreo PMS11



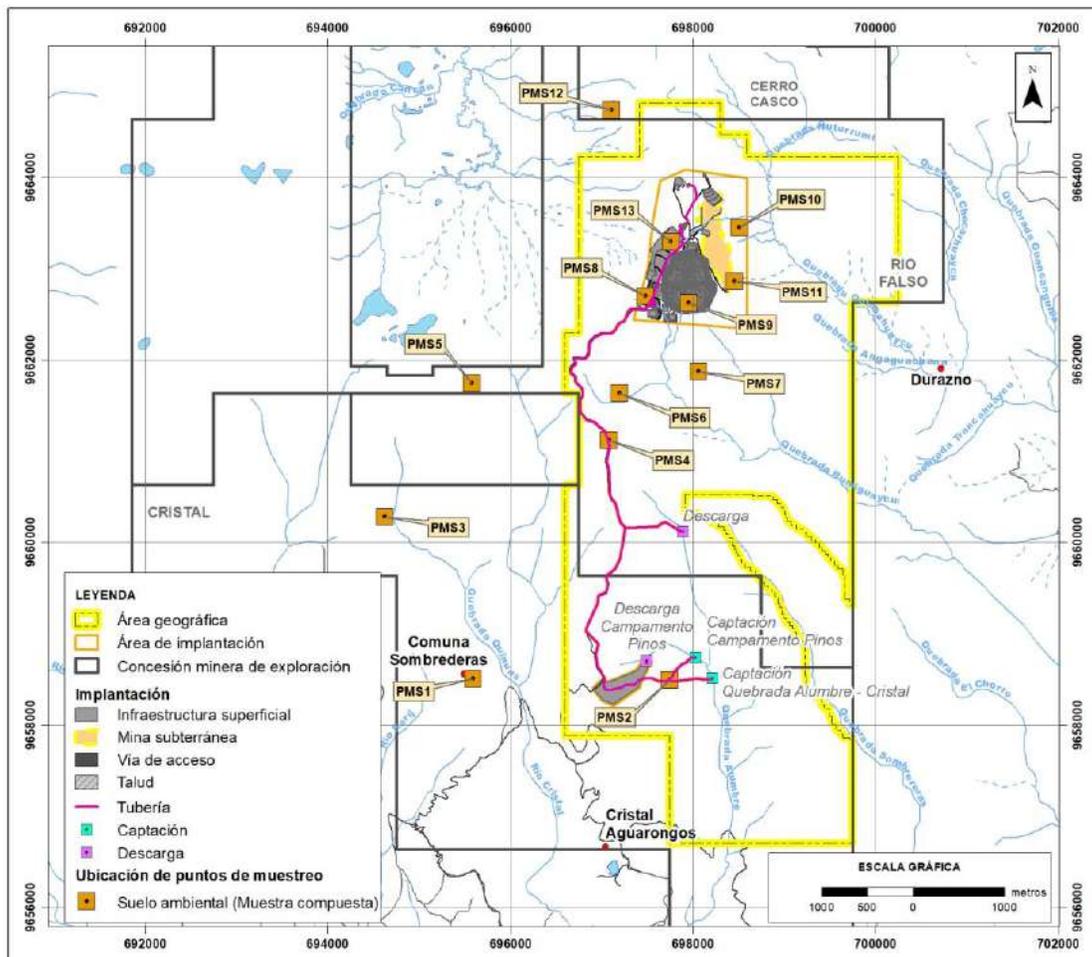
Foto 12: Sitio de muestreo PMS12



Foto 13: Sitio de muestreo PMS13

Para el muestreo, de acuerdo con la norma antes mencionada y con lo establecido en el numeral 4.5 (Muestreo y Análisis de Suelos) de este documento, específicamente en concordancia con el numeral 4.5.1.1, se lo tiene que hacer por cada 100 ha, mediante una muestra compuesta formada de 15 a 20 submuestras georreferenciadas. El área de muestreo comprende una superficie aproximada de 176 ha, se dividió en dos subáreas, una de 100 ha (AO-1) y la otra de 76 ha (AO-2), con la finalidad de ajustarse a los lineamientos de la normativa ambiental que exige un muestreo por cada 100 ha. Además, la normativa

exige que, en caso de existir diferentes tipos de suelos, se lo debe hacer por los tipos de suelos encontrados. Al respecto, en el Proyecto Loma Larga predominan dos tipos de suelos: Andosoles e Histosoles (Quichimbo and Cisneros, 2013), por lo que para cada una de las dos subáreas del área de implantación se definieron dos sitios de muestreo: un sitio en una zona de humedales y/o almohadillas, asociados a suelos de tipo Histosol, y un segundo sitio en una zona de pajonal, asociado a suelos de tipo Andosol. También se estableció un sitio adicional dentro de la subárea AO-2 (la de 76 ha), debido a que existe un área considerable de afloramientos rocosos que están asociados a suelos de tipo Leptosol. De manera que, en total, para las subáreas AO, cinco sitios de muestreo fueron definidos, y para cada uno de ellos se diseñó una cuadrícula dentro de la cual se tomaron 20 submuestras de forma aleatoria correspondientes a una capa de 30 cm de profundidad. Para el muestreo en el PL, (zona lineal,) de acuerdo con la normativa, se debe tener un punto de muestreo por cada 5 km, y se estableció una zona *buffer* de 50 m (25 m a cada lado a partir del eje de la zona lineal) en cada una de las dos secciones designadas para el PL (PL-1 y PL-2, para los puntos PMS2 y PMS4 respectivamente). En cada una de estas dos secciones se tomaron aleatoriamente 20 submuestras para formar las muestras compuestas de los puntos antes señalados.



**Figura 6-84 Muestreo de Calidad de Suelo**

Fuente: Pablo Quichimbo, agosto 2020

Elaboración Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-7 Muestras Suelo)

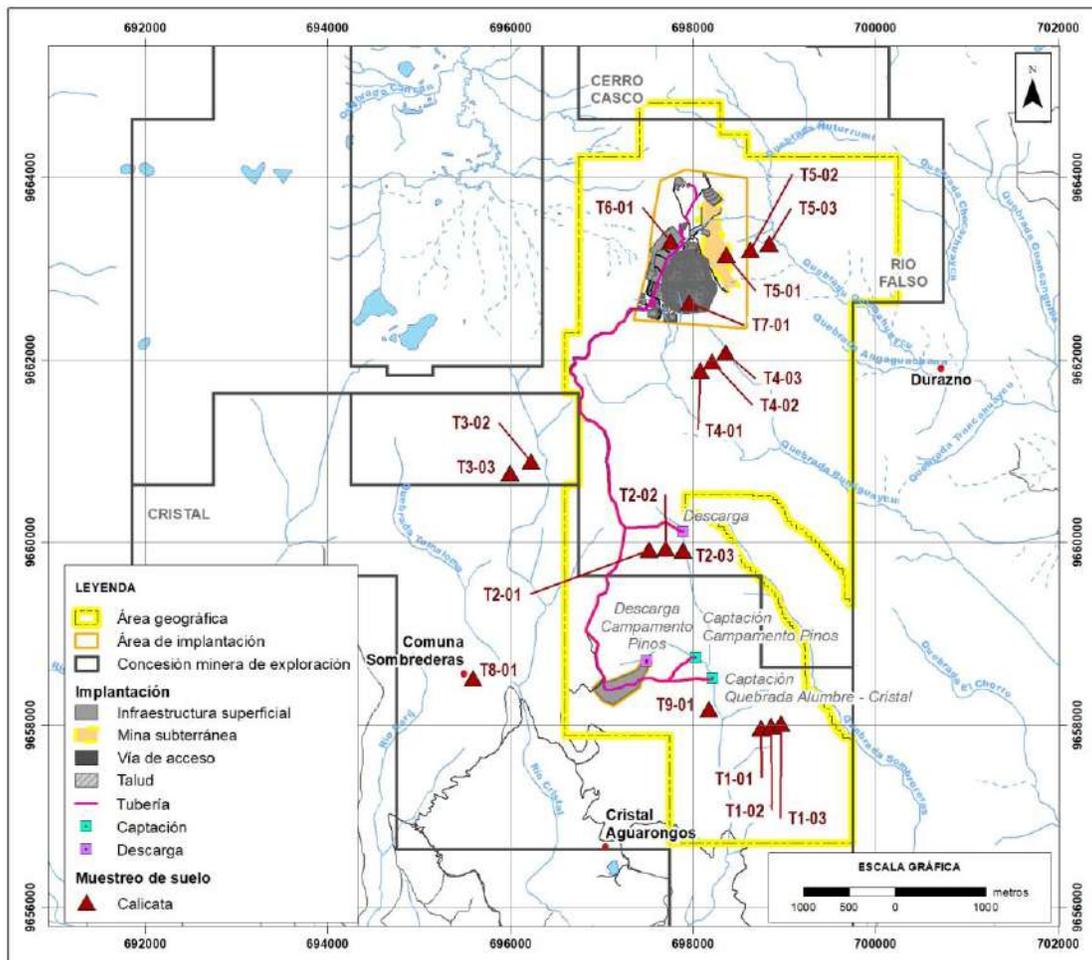
## **Distribución Espacial de los Suelos (mapeo)**

La metodología para la generación de información de la distribución espacial de los suelos mediante el mapeo, se basa en el uso de covariables ambientales (McBratney et al., 2003), de la caracterización de las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos mediante las descripciones de perfiles de suelos y de la toma de muestras de suelos para los respectivos análisis de laboratorio (Legros and Sarma, 2006). El uso de covariables ambientales (por ejemplo: topografía, la vegetación, el material parental, el clima, tiempo y el mismo suelo) se ha dado desde los primeros trabajos de mapeo hasta los más recientes enfoques de distribuciones espacio-temporales de los suelos o de sus características (Arrouays et al., 2020; Bockheim et al., 2014; Jenny, 1941; McBratney et al., 2003). En los últimos años, el enfoque geopedológico ha sido usado dada la gran relación existente entre los tipos de suelos y las geofomas presentes en un espacio geográfico (Rodrigo-Comino et al., 2018).

En el Ecuador, el enfoque geopedológico ha sido usado para la generación de información de suelos a nivel nacional dentro del proyecto “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional”, desarrollado por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) desde el 2009, por encargo de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), tarea luego asumida por el Instituto Espacial Ecuatoriano, que en la actualidad fue disuelto y absorbido por el Instituto Geográfico Militar (IGM). Tal enfoque fue usado para la elaboración de mapas de los cantones de San Fernando, Nabón y Cuenca —donde se encuentra el área geográfica, AE—. Sin embargo, el mapa de suelos generado para esos cantones no muestra una discretización de los tipos de suelos para la línea base —tal cartografía muestra geofomas diferentes para el Proyecto Loma Larga (SIGTIERRAS, 2019), pero todas ellas representando a un solo tipo de suelo, Andisoles— de acuerdo con la clasificación de la Taxonomía de Suelos Norteamericana (Soil Survey Staff, 2014). No se incluye a los Histosoles que se encuentran también de una manera significativa en el área geográfica. Por lo tanto, para evidenciar fundamentalmente la presencia de aquellos suelos (Histosoles), además de los Andisoles y otros posibles suelos, se siguió una metodología que se basó en técnicas de geomorfometría (Pike et al., 2009) y técnicas de mapeo no probabilístico (Pennock, 2004) empleando covariables provenientes de la topografía (modelo digital de elevación) y una imagen satelital SPOT® (Satellite Pour l’Observation de la Terre-SPOT7, fecha de adquisición: 30-07-2019) provista por la Compañía, más la información sobre tipo de suelos correspondientes a las descripciones de 18 perfiles de suelos y barrenaciones asociadas a los tipos de suelos clasificados según la información de los perfiles (la ubicación georreferenciada de estos 18 puntos se muestra en la Figura 6-85 ).

La ubicación de las excavaciones para la descripción de los perfiles con fines de identificación de suelos (clasificación) obedece a un muestreo no probabilístico, con 12 puntos que siguieron transectos cortos (cuatro transectos de tres calicatas cada transecto) para la identificación de patrones de variación a lo largo de las pendientes alta, media y baja, asociados a posibles Leptosoles, Andosoles e Histosoles, respectivamente; y 6 puntos en sitios estratégicos de áreas de humedales y/o almohadillas y pajonales asociados a los tipos de suelos dominantes (Andisoles e Histosoles) en la zona del Proyecto. (Figura 6-85 ).

La clasificación de los suelos se realizó según la última actualización de la Base Referencial Mundial para el Recurso Suelo (IUSS Working Group WRB, 2015), y la distribución espacial de los suelos en la zona del proyecto se lo realizó en base al primer nivel, que corresponde a la identificación de los Grupos de Suelos de Referencia (GSR).



**Figura 6-85 Diseño de Muestreo para la Descripción de Perfiles de Suelos en el Proyecto Loma Larga con Fines de Clasificación de Suelos**

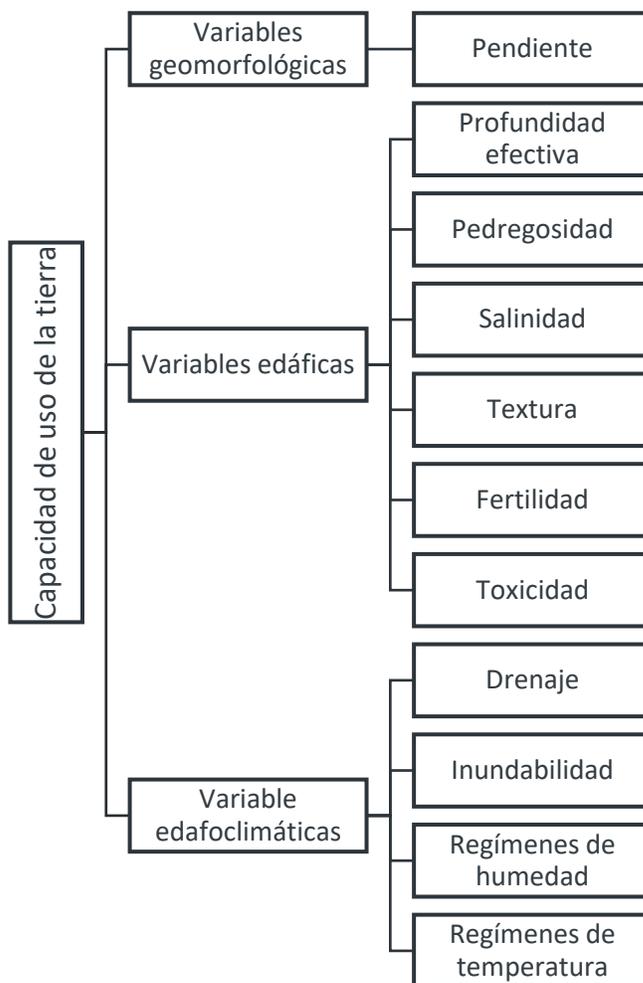
Fuente y elaboración: P. Quichimbo, junio a agosto 2020

### Caracterización de la Capacidad de Suelos para Uso Agrícola

En la literatura existen varios términos relacionados con la capacidad de uso del recurso suelo, por ejemplo: calidad de suelo, productividad del suelo, calidad de sitio, productividad de sitio y capacidad de tierras (Osman, 2013); sin embargo, todos ellos tienen como finalidad el uso apropiado del suelo. Aunque existen diferentes sistemas de clasificación de la capacidad de uso de la tierra, que incluyen diferentes variables ambientales (Calzolari et al., 2009), todos ellos tienen como un núcleo central al suelo —modelos edafocéntricos—.

En el Ecuador, existen varias experiencias de diferentes enfoques para determinar la capacidad de uso de los suelos, ya sea con fines específicos o generales de producción vegetal de diferente tipo (Bydekerke et al., 1998; Dercon et al., 1998; Quichimbo et al., 2017). El Estado ecuatoriano a nivel nacional ha promovido la generación de información de la capacidad de uso de la tierra para todo el territorio nacional en el contexto del proyecto “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional”, por CLIRSEN —actual Instituto Geográfico Militar (IGM) y la metodología empleada para esos trabajos es una adaptación para las condiciones del país del sistema americano USDA-LCC-American Land Capability Classification— (Klingebiel and Montgomery, 1961). Esta capacidad de uso no se refiere a un uso

específico para un cultivo, sino a uno más amplio de producción vegetal en el contexto agrícola, forestal o de conservación. Así, este sistema adaptado de capacidad de uso también mantiene la predominancia de las diferentes propiedades del suelo para la determinación de las ocho clases del sistema original estadounidense. Las clases son definidas en función del uso potencial y de las limitaciones para la productividad, de manera que las primeras cuatro categorías permiten el uso agrícola de los suelos, mientras que las clases restantes son o para uso de vegetación nativa de pastos o arbórea —las clases 6 a la 7 o de uso exclusivo para conservación— (Calzolari et al., 2009; Klingebiel and Montgomery, 1961). Tal metodología adaptada ha sido empleada para generar los mapas de capacidad de uso a nivel nacional con memorias técnicas por cantones —por ejemplo, para generar los mapas de capacidad de uso de las tierras de los cantones San Fernando, Girón y Cuenca (SIGTIERRAS and Consorcio Tracasa/Nipsa, 2015a, 2015b, 2015c) —; dentro de la superficie de estos cantones se encuentra el área geográfica. El presente estudio siguió la misma metodología (del CLIRSEN) que, para la generación de las clases de capacidad de uso, se basa en el uso de las variables indicadas en la Figura 6-86.



**Figura 6-86 Variables Usadas para la Determinación de las Clases de Uso de la Tierra**

Fuente: SIGTIERRAS and Consorcio Tracasa/Nipsa (2015c)  
Elaboración: P. Quichimbo, agosto 2020

Estas variables tienen que cumplir con ciertas especificaciones de parámetros para ser asignadas a una clase de capacidad de uso específica. Estos parámetros, para el Ecuador, han sido definidos en función de sus regiones, de acuerdo con el proyecto “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio

a Nivel Nacional” por CLIRSEN, y es la que el gobierno nacional promueve mediante la distribución y gestión de la información para el uso de los ciudadanos o instituciones de forma abierta y libre mediante la plataforma SIGTIERRAS. Las especificaciones de los parámetros para la región Sierra se muestran en la Figura 6-87, y en base a los resultados de los análisis fisicoquímicos de los 18 perfiles de suelos se desarrolló la definición de la capacidad de uso de la tierra para el área geográfica.

Factor	Variables	CLASES DE CAPACIDAD DE USO							
		Agricultura y otros usos - Arables				Poco riesgo de erosión	Aprovechamiento forestales o con fines de conservación - No arables		
		Sin limitaciones a ligeras		Con limitaciones de ligeras a moderadas		Con limitaciones fuertes a muy fuertes	Con limitaciones muy fuertes		
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Erosión	Pendiente (%)	Menor a 2	Menor a 5	Menor a 12	Menor a 25	Hasta 12	Menor a 40	Menor a 70	Cualquiera
Suelo	Profundidad efectiva (cm)	Mayor a 100	Mayor a 50	Mayor a 20	Mayor a 20	Cualquiera	Mayor a 50	Mayor a 20	Cualquiera
	Textura superficial	Grupo 1	Grupo 1, 2 y 3	Grupo 1, 2 y 3	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
	Pedregosidad (%) (sólo con piedras a cantos grandes)	Menor a 10	Menor a 25	Menor a 25	Menor a 25	Menor a 50	Menor a 25	Menor a 50	Cualquiera
	Fertilidad	Alta	Alta y mediana	Alta, mediana y baja	Alta, mediana y baja	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
	Salinidad (dS/m)	Menor a 2	Menor a 4	Menor a 8	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
Humedad	Toxicidad	Sin o nula	Sin o nula y ligera	Sin o nula, ligera y media	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
	Drenaje	Bueno	Bueno y moderado	Excesivo, bueno y moderado	Excesivo, bueno y moderado	Excesivo, bueno, moderado y mal drenado	Excesivo, bueno, moderado y mal drenado	Excesivo, bueno, moderado y mal drenado	Excesivo, bueno, moderado y mal drenado
Climático	Periodos de inundación	Sin o muy corta	Sin o muy corta	Sin o muy corta y corta	Sin o muy corta y corta	Sin o muy corta, corta, mediana y larga	Sin o muy corta y corta	Sin o muy corta, corta y mediana	Sin o muy corta, corta, mediana, larga y permanente
	Regímenes de humedad del suelo	Údico	Údico y Ústico	Údico y Ústico	Údico y Ústico	Údico, Ústico, Perídico, Ácuico, Perácuico y Arídico	Údico, Ústico y Perídico	Údico, Ústico Perídico y Arídico	Údico, Ústico Perídico, Ácuico, Perácuico y Arídico
	Regímenes de temperatura del suelo	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico, isotérmico e isomésico	Isohipertérmico, isotérmico e isomésico	Isohipertérmico, isotérmico, isomésico e isoquírmico

**Figura 6-87 Valores de los Parámetros que Determinan las Clases de Capacidad de Uso de Tierras para la Serranía Ecuatoriana**

Fuente y Elaboración: SIGTIERRAS and Consorcio Tracasa/Nipsa (2015c)

#### 6.1.1.8.4 Equipos de Medición

Para el muestreo de suelos para la caracterización de su calidad, se procedió de acuerdo con la normativa ambiental, según la cual la toma de muestras será efectuada por un laboratorio acreditado. Se contrataron los servicios del laboratorio Gruentec Environmental Services, de manera que, tanto equipos de medición, herramientas y materiales para el muestreo, así como el muestreo mismo, se ejecutaron bajo los diferentes métodos que garantizan el cumplimiento de la normativa ambiental, ya que el laboratorio mencionado cuenta con la respectiva acreditación (Acreditación N° SAE LEN 05-008). Mayor detalle de los registros y acreditaciones consta en el Anexo C. Respaldos Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.3 Resultados de Laboratorio, C.1.3.4 Suelo.

Para la caracterización espacial de los suelos (clasificación y mapeo de suelos) se usaron los equipos de medición, herramientas y materiales que se detallan en la Tabla 6-66 a Tabla 6-68.

**Tabla 6-66 Materiales e Insumos para la Descripción de Perfiles**

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
DP1	Palas	Pala	2
DP2	Barretas	Barreta	2
DP3	Mochila de campo de 50 L (para cargar muestras de suelos y otros materiales de campo)	Mochila	4

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
DP4	Cámara de fotos con estuche, con baterías extras	Cámara	2
DP5	GPS con estuche (si es posible, de precisión)	GPS	2
DP6	Cuchillos pedológicos (o pueden ser cuchillos de cocina de tamaño normal)	Cuchillo	2
DP7	Tabla de colores Munsell (si no las hay, se podría usar aplicaciones de celular)	Tabla de colores Munsell	1
DP8	Tijera de podar Felco N° 2	Tijera	2
DP9	Lupa, de preferencia de 10 aumentos	Lupa	2
DP10	Caja plástica para cargar las herramientas (caja de herramientas multiusos de 16 pulgadas)	Caja	1
DP11	Atomizador de plástico para agua	Atomizador	2
DP12	Flexómetros de 3 m	Flexómetro	2
DP13	Cinta métrica (cinta de sastre) de 1,5 m	Cinta Métrica	4
DP14	Cinta adhesiva de plástico transparente	Rollo de cinta	2
DP15	Resma de hojas de papel normal con porta-hojas de plástico.	Resma	2
DP16	Bomba hidráulica para evacuar el agua, esto para los histosoles	Bomba	1

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, junio 2020

**Tabla 6-67 Materiales e Insumos para las Barrenaciones**

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
B1	Barreno tipo Edelman	Barreno	2
B2	Fundas plásticas (rollo de fundas de 5 x 10 pulgadas)	Rollo	3
B3	Machetes	Machete	2
B4	Clinómetros (pueden ser los de la marca Suunto Tandem, que ya vienen con la brújula incluida)	Clinómetro	1
B5	Brújula	Brújula	1
B6	Cintas de 50 m	Cinta	2

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, junio de 2020

**Tabla 6-68 Materiales e Insumos para la Toma de Muestras Inalteradas de Suelos**

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
MI1	Anillos de acero inoxidable (o de hierro galvanizado) de 100 cm <sup>3</sup>	Anillo	300
MI2	Tapas de plástico para los anillos (para los dos lados de los anillos)	Tapa	600
MI3	Martillo tipo combo de acero de 2 kg	Combo de acero	2
MI4	Martillo tipo combo de goma dura de 1-2 kg	Combo de goma	2
MI5	Tomador de muestras artesanales	Tomador de muestra	2
MI6	Pedazos de madera dura de 10 cm de ancho x 15 cm de largo y de 3 cm de grosor	Pedazo de madera	4
MI7	Sierra de cortar hierro (para nivelar las superficies del suelo en los anillos)	Sierra	3

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
MI8	Rollo de cinta adhesiva de papel tipo Masking de 18 mm de ancho	Rollo de cinta	5

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, junio de 2020

Para la caracterización de la capacidad de uso agrícola del suelo se usaron los equipos de medición, herramientas y materiales para la toma de muestras de suelo alteradas y de las pruebas de campo (pruebas de infiltración) que se listan en la Tabla 6-69 y Tabla 6-70.

**Tabla 6-69 Materiales e Insumos para la Toma de Muestras Alteradas de Suelos**

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
MA1	Fundas plásticas de halar grandes	Paquete de 100 unidades	2
MA2	Fundas para muestras de suelos (rollo de fundas de 10 x 16 pulgadas)	Rollo	3
MA3	Marcadores permanentes de color negro de punta gruesa (caja de 10 unidades)	Caja	2
MA4	Balanza colgante de campo (puede ser digital o analógica para pesos superiores a 1 kg)	Balanza	1

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, junio 2020

**Tabla 6-70 Materiales e Insumos para las Pruebas de Campo (pruebas de infiltración)**

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
PI1	Soportes para flotadores con sus respectivos flexómetros de 3 m	Soporte	3
PI2	Flexómetros de repuesto (de 3 m)	Flexómetro	3
PI3	Flotadores	Flotador	3
PI4	Barreno de diámetro un poco mayor al diámetro del flotador	Barreno	1
PI5	Cepillo de cerdas de plástico de tipo cilindro para limpiar las paredes del agujero realizado con el barreno (cepillo de diámetro similar o inferior al del barreno)	Cepillo	2
PI6	Botellones de 20 litros para transporte de agua	Botellones	3

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, junio de 2020

#### 6.1.1.8.5 Procedimientos de Campo

##### Calidad de Suelo

Luego del diseño de muestreo descrito en la metodología y dando cumplimiento a la normativa ambiental en lo que respecta a la toma de muestras (trabajo de campo) (la normativa menciona que la toma de muestras debe ser efectuada por un laboratorio acreditado), se procedió a contratar los servicios del laboratorio Gruentec Environmental Services, que cuenta con la respectiva acreditación (Acreditación N° SAE LEN 05-008). De acuerdo con la metodología descrita, la codificación y localización (coordenadas) de estas se indican en la Tabla 6-71. Las 13 muestras compuestas resultaron de la mezcla de 260 submuestras. Cada muestra compuesta está conformada de 20 submuestras tomadas al azar y corresponden a los 30 cm superficiales del suelo.

**Tabla 6-71 Codificación y Localización de las Submuestras de Calidad de Suelo**

Código	Submuestra	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
PMS1	PMS1-01	695546	9658531
	PMS1-02	695545	9658481
	PMS1-03	695556	9658480
	PMS1-04	695557	9658520
	PMS1-05	695565	9658538
	PMS1-06	695565	9658508
	PMS1-07	695575	9658460
	PMS1-08	695584	9658531
	PMS1-09	695584	9658521
	PMS1-10	695585	9658481
	PMS1-11	695594	9658546
	PMS1-12	695605	9658529
	PMS1-13	695605	9658510
	PMS1-14	695616	9658520
	PMS1-15	695614	9658469
	PMS1-16	695625	9658540
	PMS1-17	695635	9658550
	PMS1-18	695635	9658530
	PMS1-19	695634	9658510
	PMS1-20	695635	9658469
PMS2	PMS2-01	697082	9659521
	PMS2-02	697374	9658448
	PMS2-03	696828	9659054
	PMS2-04	696907	9658884
	PMS2-05	696825	9659055
	PMS2-06	697943	9658511
	PMS2-07	696837	9658972
	PMS2-08	696999	9658486
	PMS2-09	696955	9658696
	PMS2-10	697581	9658495
	PMS2-11	697020	9658542
	PMS2-12	696971	9658562
	PMS2-13	697467	9658520
PMS2	PMS2-14	697024	9658455
	PMS2-15	696885	9659210

Código	Submuestra	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
	PMS2-16	698165	9658489
	PMS2-17	697809	9658475
	PMS2-18	696953	9659381
	PMS2-19	696924	9659425
	PMS2-20	697568	9658525
PMS3	PMS3-01	694583	9660291
	PMS3-02	694577	9660249
	PMS3-03	694584	9660329
	PMS3-04	694589	9660298
	PMS3-05	694585	9660269
	PMS3-06	694584	9660238
	PMS3-07	694594	9660328
	PMS3-08	694596	9660309
	PMS3-09	694606	9660309
	PMS3-10	694605	9660257
	PMS3-11	694615	9660319
	PMS3-12	694615	9660290
	PMS3-13	694625	9660308
	PMS3-14	694625	9660278
	PMS3-15	694624	9660238
	PMS3-16	694646	9660259
	PMS3-17	694645	9660236
	PMS3-18	694655	9660318
	PMS3-19	694664	9660297
	PMS3-20	694666	9660238
PMS4	PMS4-01	697220	9660007
	PMS4-02	697306	9662558
	PMS4-03	697095	9660641
	PMS4-04	696758	9661461
	PMS4-05	697089	9660747
	PMS4-06	697630	9660174
	PMS4-07	697077	9660954
	PMS4-08	697121	9662281
	PMS4-09	697159	9660439
	PMS4-10	696851	9662046
	PMS4-11	697423	9660166

Código	Submuestra	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
	PMS4-12	697223	9659814
	PMS4-13	696715	9662017
	PMS4-14	697320	9660147
	PMS4-15	696966	9661262
	PMS4-16	697241	9659927
	PMS4	PMS4-17	697215
PMS4-18		697059	9659665
PMS4-19		697230	9660217
PMS4-20		697030	9661252
PMS5	PMS5-1	695531	9661719
	PMS5-2	695542	9661789
	PMS5-3	695540	9661749
	PMS5-4	695542	9661729
	PMS5-5	695542	9661700
	PMS5-6	695551	9771769
	PMS5-7	695561	9661729
	PMS5-8	695561	9661719
	PMS5-9	695572	9661779
	PMS5-10	695571	9661759
	PMS5-11	695572	9661739
	PMS5-12	695581	9661758
	PMS5-13	695591	9661739
	PMS5-14	695601	9661788
	PMS5-15	695601	9661769
	PMS5-16	695601	9661729
	PMS5-17	695610	9661779
	PMS5-18	695609	9661740
	PMS5-19	695611	9661699
	PMS5-20	695621	9661720
PMS6	PMS6-1	697153	9661612
	PMS6-2	697162	9661683
	PMS6-3	697161	9661663
	PMS6-4	697162	9661643
	PMS6-5	697170	9661634
	PMS6-6	697170	9661603
	PMS6-7	697181	9661673

Código	Submuestra	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
PMS6	PMS6-8	697192	9661673
	PMS6-9	697192	9661653
	PMS6-10	697192	9661634
	PMS6-11	697192	9661624
	PMS6-12	697192	9661605
	PMS6-13	697203	9661673
	PMS6-14	697202	9661642
	PMS6-15	697204	9661633
	PMS6-16	697202	9661612
	PMS6-17	697223	9661612
	PMS6-18	697232	9661643
	PMS6-19	697243	9661611
	PMS6	PMS6-20	697242
PMS7	PMS7-1	698019	9661899
	PMS7-2	698020	9661879
	PMS7-3	698017	9661870
	PMS7-4	698020	9661829
	PMS7-5	698032	9661918
	PMS7-6	698020	9661909
	PMS7-7	698029	9661879
	PMS7-8	698029	9661838
	PMS7-9	698039	9661869
	PMS7-10	698050	9661899
	PMS7-11	698049	9661868
	PMS7-12	698049	9661859
	PMS7-13	698061	9661889
	PMS7-14	698061	9661848
	PMS7-15	698070	9661813
	PMS7-16	698081	9661910
	PMS7-17	698080	9661879
	PMS7-18	698090	9661889
	PMS7-19	698100	9661880
	PMS7-20	698111	9661878
PMS8	PMS8-1	697436	9662665
	PMS8-2	697445	9662705
	PMS8-3	697445	9662705

Código	Submuestra	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur		
		Este (m)	Norte (m)	
	PMS8-4	697445	9662675	
	PMS8-5	697455	9662714	
	PMS8-6	697454	9662705	
	PMS8-7	697455	9662696	
	PMS8-8	697465	9662715	
	PMS8-9	697466	9662705	
	PMS8-10	697466	9662696	
	PMS8-11	697476	9662716	
	PMS8-12	697475	9662706	
	PMS8-13	697484	9662716	
	PMS8-14	697484	9662706	
	PMS8-15	697496	9662716	
	PMS8-16	697494	9662706	
	PMS8-17	697505	9662716	
	PMS8-18	697506	9662706	
	PMS8-19	697515	9662725	
	PMS8-20	697516	9662716	
	PMS9	PMS9-1	697909	9662670
		PMS9-2	697909	9662639
		PMS9-3	697922	9662640
PMS9-4		697920	9662621	
PMS9-5		697931	9662631	
PMS9-6		697941	9662639	
PMS9-7		697939	9662619	
PMS9-8		697950	9662670	
PMS9-9		697952	9662650	
PMS9-10		697950	9662620	
PMS9-11		697962	9662669	
PMS9-12		697959	9662639	
PMS9-13		697959	9662617	
PMS9-14		697961	9662610	
PMS9-15		697982	9662631	
PMS9-16		697981	9662598	
PMS9-17		697992	9662674	
PMS9-18		697959	9662591	
PMS9-19		697922	9662599	

Código	Submuestra	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
	PMS9-20	697931	9662591
PMS10	PMS10-1	698539	9663435
	PMS10-2	698549	9663475
	PMS10-3	698549	9663464
	PMS10-4	698550	9663424
	PMS10-5	698528	9663486
	PMS10-6	698529	9663445
	PMS10-7	698528	9663416
	PMS10-8	698539	9663454
	PMS10-9	698509	9663406
	PMS10-10	698520	9663495
	PMS10-11	698517	9663487
	PMS10-12	698520	9663443
	PMS10-13	698482	9663406
	PMS10-14	698488	9663493
	PMS10-15	698498	9663437
	PMS10-16	698510	9663426
	PMS10-17	698468	9663467
	PMS10-18	698480	9663497
	PMS10-19	698477	9663440
	PMS10-20	698557	9663477
PMS11	PMS11-1	698422	9662889
	PMS11-2	698419	9662851
	PMS11-3	698421	9662831
PMS11	PMS11-4	698431	9662898
	PMS11-5	698433	9662840
	PMS11-6	698442	9662905
	PMS11-7	698444	9662879
	PMS11-8	698441	9662862
	PMS11-9	698442	9662848
	PMS11-10	698441	9662830
	PMS11-11	698441	9662820
	PMS11-12	698452	9662840
	PMS11-13	698451	9662821
	PMS11-14	698463	9662880
	PMS11-15	698460	9662828

Código	Submuestra	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
	PMS11-16	698471	9662851
	PMS11-17	698473	9662840
	PMS11-18	698470	9662817
	PMS11-19	698484	9662820
	PMS11-20	698493	9662820
	PMS12	PMS12-1	697065
PMS12-2		697064	9664747
PMS12-3		697063	9664726
PMS12-4		697063	9664697
PMS12-5		697075	9664787
PMS12-6		697074	9664698
PMS12-7		697085	9664747
PMS12-8		697084	9664726
PMS12-9		697097	9664767
PMS12-10		697094	9664747
PMS12-11		697095	9664707
PMS12-12		697104	9664697
PMS12-13		697116	9664718
PMS12-14		697122	9664767
PMS12-15		697125	9664746
PMS12-16		697124	9664697
PMS12-17		697134	9664726
PMS12-18		697142	9664758
PMS12-19		697144	9664706
PMS12-20		697153	9664727
PMS13	PMS13-1	697709	9663333
	PMS13-2	697707	9663324
	PMS13-3	697712	9663303
	PMS13-4	697711	9663292
	PMS13-5	697730	9663332
	PMS13-6	697732	9663303
PMS13	PMS13-7	697731	9663292
	PMS13-8	697741	9663283
	PMS13-9	697749	9663332
	PMS13-10	697752	9663312
	PMS13-11	697751	9663293

Código	Submuestra	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
	PMS13-12	697761	9663282
	PMS13-13	697772	9663293
	PMS13-14	697771	9663274
	PMS13-15	697770	9663254
	PMS13-16	697790	9663294
	PMS13-17	697789	9663272
	PMS13-18	697790	9663262
	PMS13-19	697789	9663254
	PMS13-20	697800	9663284

Fuente: P. Quichimbo, junio y julio 2020  
Elaboración: P. Quichimbo, agosto 2020

### Mapeo de Suelos

El procedimiento de campo para la descripción de los tipos de suelo en la zona del proyecto y de su distribución espacial (mapeo) incluyó la realización de 18 excavaciones (calicatas) y 156 barrenaciones levantadas en campo, más otras barrenaciones provenientes de fuentes secundarias que están dentro del Proyecto Loma Larga (Quichimbo and Cisneros, 2013). Las coordenadas de las excavaciones se muestran en la Tabla 6-72, mientras que las de las barrenaciones se indican en la Tabla 6-73.

La descripción de los perfiles se realizó de acuerdo con los lineamientos de la “Guía de Descripción de Suelos” de la FAO (FAO, 2009). Para la clasificación de suelos, se tomaron muestras alteradas en cada horizonte identificado en la descripción del perfil; hay que mencionar que la identificación de los horizontes en campo fue redefinida posteriormente en base a los resultados de las determinaciones de los análisis fisicoquímicos. Para los análisis fisicoquímicos, las muestras alteradas fueron almacenadas en fundas plásticas debidamente etiquetadas hasta ser enviadas al laboratorio.

Los análisis fisicoquímicos contemplados fueron: textura, pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MOS), contenido de nutrientes totales (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl, Ni), fósforo disponible (Bray), nitratos, sulfatos, amonio, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de saturación de bases (SB) y acidez intercambiable. Cabe mencionar que, para la clasificación de los suelos, son de importancia la CIC, MOS, el porcentaje de SB y la acidez intercambiable, además de ciertos atributos morfológicos, que definen predominantemente a los materiales, propiedades y materiales de diagnóstico.

Los diferentes análisis de los parámetros fisicoquímicos antes mencionados fueron realizados por el laboratorio AGROBIOLAB (Certificado de Acreditación N° OAE LE 07-C07).

**Tabla 6-72 Codificación y Localización de las Excavaciones para la Descripción de Perfiles de Suelos en el Área geográfica**

Excavación (calicata)	Coordenadas WGS84-Zona 17 Sur	
	Este (m)	Norte (m)
T1-01	698747	9657959
T1-02	698855	9657984
T1-03	698963	9658013
T2-01	697525	9659916

Excavación (calicata)	Coordenadas WGS84-Zona 17 Sur	
	Este (m)	Norte (m)
T2-02	697704	9659927
T2-03	697897	9659905
T3-02	696230	9660887
T3-03	696000	9660753
T4-01	698084	9661879
T4-02	698211	9661979
T4-03	698364	9662077
T5-01	698367	9663144
T5-02	698636	9663202
T6-01	697756	9663294
T7-01	697965	9662628
T8-01	695591	9658504
T9-01	698177	9658164
T5-03	698838	9663271

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, junio de 2020

**Tabla 6-73 Codificación y Localización de las Barrenaciones para el Mapeo de Suelo**

Código	Zona	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
Z1-1	1	694541	9660026
Z1-2	1	694741	9661226
Z1-3	1	694741	9661026
Z1-4	1	694741	9660826
Z1-5	1	694741	9660626
Z1-6	1	694741	9660426
Z1-7	1	694741	9660226
Z1-8	1	694741	9660026
Z1-9	1	694741	9659826
Z1-10	1	694941	9661626
Z1-11	1	694941	9661226
Z1-12	1	694941	9660826
Z1-13	1	694941	9660426
Z1-14	1	694941	9660026
Z1-15	1	695141	9661626
Z1-16	1	695141	9661426
Z1-17	1	695141	9661226

Código	Zona	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
Z1-18	1	695141	9661026
Z1-19	1	695141	9660826
Z1-20	1	695141	9660626
Z1-21	1	695141	9660426
Z1-22	1	695141	9660226
Z1-23	1	695141	9660026
Z1-24	1	695141	9659826
Z1-25	1	695141	9659626
Z1-26	1	695141	9659426
Z1-27	1	695341	9661626
Z1-28	1	695341	9661226
Z1-29	1	695341	9660826
Z1-30	1	695341	9660426
Z1-31	1	695341	9660026
Z1-32	1	695341	9659626
Z1-33	1	695341	9659226
Z1-34	1	695341	9658826
Z1-35	1	695541	9661626
Z1-36	1	695541	9661426
Z1-37	1	695541	9661226
Z1-38	1	695541	9661026
Z1-39	1	695541	9660826
Z1-40	1	695541	9660626
Z1-41	1	695541	9660426
Z1-42	1	695541	9660226
Z1-43	1	695541	9660026
Z1-44	1	695541	9659826
Z1-45	1	695541	9659626
Z1-46	1	695541	9659426
Z1-47	1	695541	9659226
Z1-48	1	695541	9659026
Z1-49	1	695541	9658826
Z1-50	1	695541	9658626
Z1-51	1	695541	9658426
Z1-52	1	695741	9661626

Código	Zona	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
Z1-53	1	695741	9661226
Z1-54	1	695741	9660826
Z1-55	1	695741	9660426
Z1-56	1	695741	9660026
Z1-57	1	695741	9659626
Z1-58	1	695741	9659226
Z1-59	1	695741	9658826
Z1-60	1	695941	9662026
Z1-61	1	695941	9661826
Z1-62	1	695941	9661626
Z1-63	1	695941	9661426
Z1-64	1	695941	9661226
Z1-65	1	695941	9661026
Z1-66	1	695941	9660826
Z1-67	1	695941	9660626
Z1-68	1	695941	9660426
Z1-69	1	695941	9660226
Z1-70	1	695941	9660026
Z1-71	1	695941	9659826
Z1-72	1	695941	9659626
Z1-73	1	695941	9659426
Z1-74	1	695941	9659226
Z1-75	1	695941	9659026
Z1-76	1	695941	9658826
Z1-77	1	695941	9658626
Z1-78	1	696141	9662026
Z1-79	1	696141	9661626
Z1-80	1	696141	9661226
Z1-81	1	696141	9660826
Z1-82	1	696141	9660426
Z1-83	1	696141	9660026
Z1-84	1	696141	9659626
Z1-85	1	696141	9659226
Z1-86	1	696141	9658826
Z1-87	1	696341	9660626

Código	Zona	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
Z1-88	1	696341	9660426
Z1-89	1	696341	9660226
Z1-90	1	696341	9660026
Z1-91	1	696341	9659826
Z1-92	1	696541	9660426
Z1-93	1	696541	9660026
Z2-94	2	698341	9657626
Z2-95	2	698341	9657426
Z2-96	2	698341	9657226
Z2-97	2	698341	9657026
Z2-98	2	698541	9658426
Z2-99	2	698541	9658026
Z2-100	2	698541	9657626
Z2-101	2	698541	9657226
Z2-102	2	698741	9658626
Z2-103	2	698741	9658426
Z2-104	2	698741	9658226
Z2-105	2	698741	9658026
Z2-106	2	698741	9657826
Z2-107	2	698741	9657626
Z2-108	2	698741	9657426
Z2-109	2	698741	9657226
Z2-110	2	698941	9658426
Z2-111	2	698941	9658026
Z2-112	2	698941	9657626
Z2-113	2	699141	9657626
Z3-114	3	698141	9665626
Z3-115	3	698141	9665226
Z3-116	3	698341	9665626
Z3-117	3	698341	9665426
Z3-118	3	698341	9665226
Z3-119	3	698541	9665626
Z3-120	3	698541	9665226
Z3-121	3	698741	9665426
Z3-122	3	698741	9665226

Código	Zona	Coordenadas WGS84 Zona 17 Sur	
		Este (m)	Norte (m)
Z3-123	3	698941	9665226
Z3-124	3	699141	9665426
Z3-125	3	699141	9665226
Z3-126	3	699141	9665026
Z3-127	3	699341	9665226
Z3-128	3	699341	9664826
Z3-129	3	699341	9664426
Z3-130	3	699341	9664026
Z3-131	3	699341	9663626
Z3-132	3	699341	9663226
Z3-133	3	699341	9662826
Z3-134	3	699541	9665026
Z3-135	3	699541	9664826
Z3-136	3	699541	9664626
Z3-137	3	699541	9664426
Z3-138	3	699541	9664226
Z3-139	3	699541	9664026
Z3-140	3	699541	9663826
Z3-141	3	699541	9663626
Z3-142	3	699541	9663426
Z3-143	3	699541	9663226
Z3-144	3	699541	9663026
Z3-145	3	699541	9662826
Z3-146	3	699541	9662626
Z3-147	3	699741	9664826
Z3-148	3	699741	9664426
Z3-149	3	699741	9664026
Z3-150	3	699741	9663626
Z3-151	3	699741	9663226
Z3-152	3	699741	9662826
Z3-153	3	699741	9662626
Z3-154	3	699941	9664426
Z3-155	3	699941	9664226
Z3-156	3	699941	9664026

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, junio de 2020

## **Capacidad de Uso del Suelo**

*In situ*, se desarrollaron pruebas de infiltración para determinar la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) según el procedimiento del *Auger-hole Method* (Oosterbaan and Nijland, 1994). Estas se realizaron por triplicado y para la capa superficial (horizontes A o H) y la subsuperficial (horizontes B o C), siempre considerando una profundidad efectiva en la cual las raíces de las plantas pueden crecer sin limitaciones. También, para las capas superficiales y subsuperficiales, se tomaron muestras inalteradas para la determinación de propiedades hidrofísicas, muestras que fueron tomadas mediante anillos de Kopecky de 100 cm<sup>3</sup>. Las pruebas de laboratorio para estas muestras inalteradas fueron para la determinación de la densidad aparente del suelo y para determinar diferentes estados de humedad del suelo (contenido de humedad asociado al potencial del suelo de humedad) y fueron analizadas por el laboratorio AGROBIOLAB. Los estados de humedad corresponden al punto de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Los parámetros químicos del suelo relacionados con la fertilidad de los suelos, por ejemplo: capacidad de intercambio catiónico, pH, saturación de bases, materia orgánica, acidez intercambiable y carbonatos, se lo realizó solo para las capas superficiales (A o H) y las subsuperficiales que no sean un horizonte C (por ejemplo, pueden ser de horizontes A/C, AH o B). Estas determinaciones provinieron de las muestras alteradas tomadas para la descripción de perfiles de suelos.

### **6.1.1.8.6 Análisis de Datos**

El tratamiento (estadístico) de los datos se realizó mediante estadística descriptiva y análisis exploratorio de datos usando el programa R (R Core Team, 2020). Para la generación de la distribución espacial de los tipos de suelos (mapas), se usó las técnicas indicadas en la metodología. Todos los análisis de los datos fueron realizados usando el programa R (R Core Team, 2020) y QGIS (QGIS Development Team, 2020).

### **6.1.1.8.7 Resultados y Discusión**

#### **Caracterización de la Calidad del Suelo**

La Tabla 6-74 muestra los resultados analíticos por parte del laboratorio Gruentec Environmental Services obtenidos para cada una de las muestras compuestas de suelo de los 13 puntos de muestreos.

**Tabla 6-74 Resultados de los Análisis Químicos de los Parámetros de Calidad de Suelos para los 13 Puntos de Monitoreo de Suelos (PMS) en el Proyecto Loma Larga**

Parámetros Extracción Acuosa 2:1	Unidad	Tabla 1, Anexo 2 A.M. 097-A	Muestras												
			PMS1	PMS2	PMS3	PMS4	PMS5	PMS6	PMS7	PMS8	PMS9	PMS10	PMS11	PMS12	PMS13
pH	unidad	6-8	<u>5,1</u>	<u>4,2</u>	<u>4,6</u>	<u>4,7</u>	<u>4,7</u>	<u>4,8</u>	<u>4,6</u>	<u>5,2</u>	<u>4,7</u>	<u>4,8</u>	<u>4,5</u>	<u>4,6</u>	<u>5,4</u>
Conductividad	µS/cm	200	27	28	24	16	17	13	17	26	13	19	29	20	40
Cianuro libre	mg/kg	0.9	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
<b>Parámetros generales en suelos</b>															
Boro soluble en agua caliente	mg/kg	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Humedad	%	N/A	59,1	59,6	58,6	61,9	58,3	60,9	64,8	70,7	60,7	58,7	62,0	60,1	64,8
<b>Aniones solubles en agua (peso húmedo)</b>															
Fluoruro	mg/kg	200	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<b>Metales en peso seco</b>															
Cromo hexavalente	mg/kg	0,4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Arsénico	mg/kg	12	1,7	<u>73</u>	0,4	3,4	1,1	0,7	<u>18</u>	0,6	5,8	<u>39</u>	4,6	2,9	<u>14</u>
Azufre	mg/kg	250	<u>2080</u>	<u>1489</u>	<u>2725</u>	<u>1267</u>	<u>1787</u>	<u>1819</u>	<u>1876</u>	<u>1116</u>	<u>1370</u>	<u>1167</u>	<u>646</u>	<u>1121</u>	<u>1139</u>
Bario	mg/kg	200	85	47	54	35	36	19	32	48	34	29	22	23	125
Cadmio	mg/kg	0,5	0,2	0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Cobalto	mg/kg	10	2,0	3,1	1,4	1,8	2,2	1,3	0,5	3,5	0,6	1,1	0,3	0,6	12
Cobre	mg/kg	25	24	<u>27</u>	1,9	<u>29</u>	<u>29</u>	19	<u>33</u>	10	18	<u>39</u>	11	24	8,6
Cromo	mg/kg	54	8,1	10	5,3	9,0	11	6,2	10	4,0	5,5	6,8	3,5	4,3	5,0
Estaño	mg/kg	5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Mercurio	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Molibdeno	mg/kg	5	1,1	1,5	1,0	0,8	0,8	0,6	1,8	0,3	0,9	1,3	0,5	1,3	0,4
Níquel	mg/kg	19	5	6	<1	3	4	2	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Parámetros Extracción Acuosa 2:1	Unidad	Tabla 1, Anexo 2 A.M. 097-A	Muestras												
			PMS1	PMS2	PMS3	PMS4	PMS5	PMS6	PMS7	PMS8	PMS9	PMS10	PMS11	PMS12	PMS13
Plomo	mg/kg	19	5,8	72	<0,1	7,9	10	5,1	46	4,7	19	28	14	8,0	9,0
Selenio	mg/kg	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1
Vanadio	mg/kg	76	46	74	8,0	52	74	35	31	23	35	66	11	21	46
Zinc	mg/kg	60	58	31	<0,2	39	49	15	6,0	7,6	23	26	1,7	6,6	35
<b>Metales en sólidos</b>															
Relación de adsorción de sodio	*	4	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4
<b>Alifáticos no clorinados</b>															
1,2-Dibromoetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bromoformo	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bromometano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Dibromometano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Estireno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
<b>BTEX en suelo (peso seco)</b>															
Benceno	mg/kg	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Etilbenceno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
m+p-xileno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
O-xileno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Tolueno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
<b>Clorinados alifáticos en suelo (peso seco)</b>															
1,1,1-Tricloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1,1,2,2-Tetracloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1,1,2-Tricloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1,1-Dicloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03

Parámetros Extracción Acuosa 2:1	Unidad	Tabla 1, Anexo 2 A.M. 097-A	Muestras												
			PMS1	PMS2	PMS3	PMS4	PMS5	PMS6	PMS7	PMS8	PMS9	PMS10	PMS11	PMS12	PMS13
1,1-Dicloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1,2 Dicloropropano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1,2-Diclorobenceno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1,2-Dicloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1,3-Diclorobenceno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1,4-Diclorobenceno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bromodichlorometano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cis 1,3 Dicloropropeno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
cis-1,2-Dicloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Clorobenceno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cloroformo	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
<b>Clorinados alifáticos en suelo (peso seco)</b>															
Clorometano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cloruro de metileno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cloruro de vinilo	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Dibromoclorometano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Diclorodifluorometano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Tetracloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Tetracloruro de carbono	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Trans 1,3 Dicloro propeno	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
trans-1,2-Dicloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Tricloroetano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03

Parámetros Extracción Acuosa 2:1	Unidad	Tabla 1, Anexo 2 A.M. 097-A	Muestras												
			PMS1	PMS2	PMS3	PMS4	PMS5	PMS6	PMS7	PMS8	PMS9	PMS10	PMS11	PMS12	PMS13
Triclorofluorometano	mg/kg	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en peso seco:</b>															
Acenaftaleno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Acenafteno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Antraceno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo (a) antraceno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo (a) pireno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en peso seco:</b>															
Benzo (k) fluoranteno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo (g, h, i) perileno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo (k) fluoranteno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Criseno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dibenzo (a, h) antraceno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fenantreno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fluoranteno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fluoreno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Indeno (1, 2, 3 c, d) pireno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Naftaleno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pireno	mg/kg	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Parámetros orgánicos en peso seco:</b>															
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40)	mg/kg	150	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

Parámetros Extracción Acuosa 2:1	Unidad	Tabla 1, Anexo 2 A.M. 097-A	Muestras												
			PMS1	PMS2	PMS3	PMS4	PMS5	PMS6	PMS7	PMS8	PMS9	PMS10	PMS11	PMS12	PMS13
<b>Pesticidas Organoclorados en peso húmedo:</b>															
Hexaclorociclohexano	mg/kg	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Clorofenoles:</b>															
2, 6 Dichlorophenol	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
2, 3, 4, 6 Tetrachlorophenol	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
2, 4, 5-Trichlorophenol	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
2, 4, 6-Trichlorophenol	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
2, 4-Dichlorophenol	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
2-Chlorophenol	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
4-Chloro-3methylphenol	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pentachlorophenol	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>Clorobencenos en peso seco:</b>															
1, 3 Dichlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1, 4 Dichlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1, 2 Dichlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1, 2, 3 Trichlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1, 2, 3, 4 Tetrachlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1, 2, 3, 5 Terachlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1, 2, 4, 5 Tetrachlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1, 2, 4- Trichlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Parámetros Extracción Acuosa 2:1	Unidad	Tabla 1, Anexo 2 A.M. 097-A	Muestras												
			PMS1	PMS2	PMS3	PMS4	PMS5	PMS6	PMS7	PMS8	PMS9	PMS10	PMS11	PMS12	PMS13
Hexachlorobenzene	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>Bifenilos Policlorados:</b>															
Aroclor 1016	mg/kg	N/A	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aroclor 1221	mg/kg	N/A	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aroclor 1232	mg/kg	N/A	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aroclor 1242	mg/kg	N/A	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aroclor 1248	mg/kg	N/A	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aroclor 1254	mg/kg	N/A	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aroclor 1260	mg/kg	N/A	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bifenilos policlorados PCB totales	mg/kg	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Fuente: Reporte de laboratorio Gruentec Environmental Services, 10 de julio 2020

Elaboración: P. Quichimbo, agosto 2020

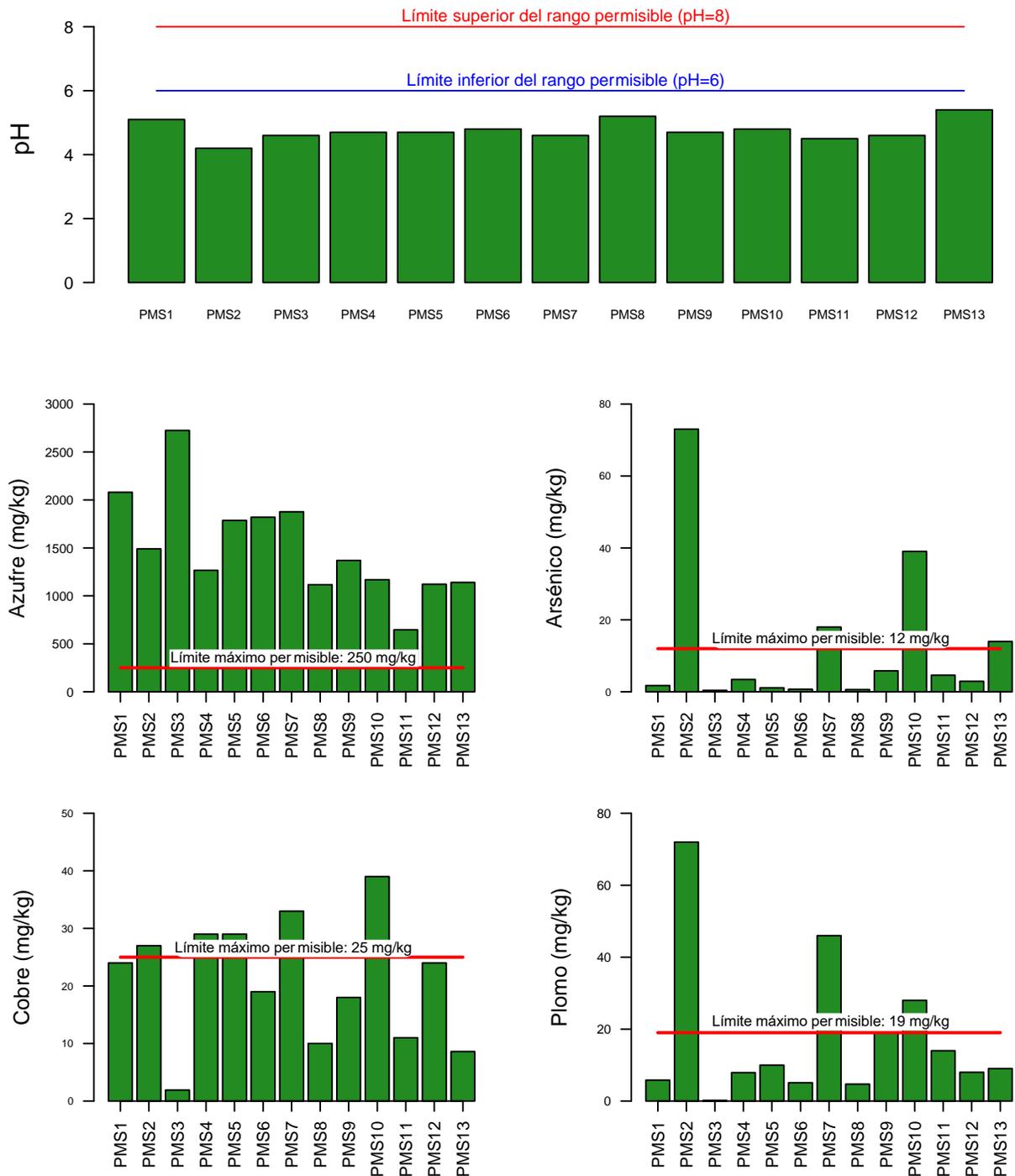
De acuerdo con la normativa, los criterios de calidad del suelo se los categoriza en tres grupos (Tabla 1, Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A): a) parámetros generales, b) parámetros inorgánicos y c) parámetros orgánicos. En el caso de los parámetros generales, de los tres parámetros que conforman este grupo (pH, conductividad eléctrica y relación de adsorción de sodio), solo los valores de pH están por debajo del límite inferior del rango permisible (rango permisible del pH: 6-8) (Figura 6-88), mostrando los suelos un valor promedio de  $4,8 \pm 0,3$ . Aunque estos valores están fuera de rango, son considerados normales para suelos de ambientes de páramo en los Andes del sur del Ecuador, que tienen un alto contenido de materia orgánica, lo que hace que presenten valores bajos de pH (Buytaert et al., 2011).

En el caso de los parámetros inorgánicos, la gran mayoría de los elementos se encontraron bajo los límites máximos permisibles, exceptuando el S, As, Cu y Pb. En el caso del S, todas las muestras sobrepasaron notablemente (promedio  $1508 \pm 539$  mg/kg) el límite máximo permisible (250 mg/kg); sin embargo, esto es de esperarse debido al alto contenido de materia orgánica de los suelos de páramo, tal como se indicó anteriormente, y es ampliamente conocido que el contenido total de S se correlaciona significativamente con la materia orgánica (Scherer, 2009). En el caso del As, Cu y Pb existieron muestras que excedieron los límites permisibles, lo que se puede evidenciar en la Figura 6-88, donde se observa que los puntos que sobrepasan los límites permisibles están distribuidos en toda el AE, dando cuenta de que su ocurrencia no depende del tipo de área (AO, PL o AI), y que posiblemente las concentraciones elevadas pueden tener un origen geogénico localizado (provenientes de la hidrólisis de las rocas exudados) y ser traídas a los horizontes superficiales del suelo por acción de la vegetación, flujos de agua o expuestas por los afloramientos rocosos.

En el caso del As que es un elemento ubicuo en la corteza terrestre por los procesos de meteorización de las rocas, éste puede fácilmente ser transportado a la superficie de los suelos por la actividad biológica en los suelos, entre ellos la absorción de elementos por la vegetación (Burghilea et al., 2018), y debido a que los suelos del área presentan un alto contenido de materia orgánica en los horizontes superficiales formando complejos de órgano-metálicos, entonces le brindan a las capas superficiales del suelo la capacidad de retenerlos en las zonas de intercambio iónico (Gonzalez-Rodriguez and Fernandez-Marcos, 2021), esto explicaría la abundancia y en ciertos puntos el exceso de este elemento.

El caso del Cu es similar, estudios como el de Rahman et al. (1996) mencionan que la acumulación de Cu es debido a procesos de biociclaje de elementos y que particularmente en los horizontes superficiales ricos en humus dan como resultado la formación de complejos orgánicos con el Cu, los cuales son muy estables y son de baja movilidad lo que permite su acumulación en tales horizontes, esto estaría relacionado a los valores elevados de Cu en ciertos puntos que sobrepasan los valores máximos permisibles.

En el caso de los parámetros orgánicos, todas las muestras estuvieron por debajo del límite máximo permisible.



**Figura 6-88 Valores de Ciertos Parámetros de Calidad de Suelos que para Ciertos Puntos (PMS) Sobrepasan los Valores Máximos Permisibles**

Fuente: Reporte de laboratorio Gruentec, 10 de julio de 2020  
 Elaboración: P. Quichimbo, agosto 2020

## Caracterización y Distribución Espacial de los Suelos

### Descripción de Perfiles de Suelos

La descripción de los 18 perfiles de suelos (calicatas) se presenta en el Anexo C. Respaldos de línea base, C.1 Componente físico, C.1.19 Descripción de perfiles de suelo.

### Clasificación de los Suelos

De acuerdo con la Guía de Descripción de Suelos (FAO, 2009), la pendiente principal es uno de los primordiales criterios de diferenciación de suelos, de manera que los 18 perfiles de suelos fueron categorizados según la posición topográfica en terrenos ondulados a montañosos. La categorización de los transectos ocurre en tres niveles de la pendiente principal: a) alta: cresta y hombro de ladera, b) media: espalda de ladera y c) baja: pie de pendiente y base, y muestra como resultado los siguientes tipos de suelos, asociados a estos niveles, indicados en la Tabla 6-75.

De la Tabla 6-75 se puede notar que los Histosoles y los Andosoles con características hísticas están confinados a las partes bajas de las pendientes. Los Andosoles con características hísticas no logran cumplir con los requisitos para ser clasificados como Histosoles, sobre todo en lo que concierne al porcentaje de carbono orgánico y de profundidad, pero en su estado de evolución están muy cercanos a los Histosoles.

En el caso de la pendiente media, se puede notar que los Andosoles dominan este grupo; sin embargo, estos presentan una gran diversidad de subtipos, tal como se puede observar particularmente por los diferentes calificadores principales.

En la parte alta empiezan a aparecer rasgos de evolución de esos suelos hacia Cambisoles; sin embargo, también dan señales de que han provenido de suelos Leptosoles que no se han hallado en los perfiles descritos, pero que se puede derivar del calificador Leptic, asociadas a zonas cercana a los afloramientos rocosos o zonas de muy poca profundidad del Solum (horizontes A + B o H + A + B).

**Tabla 6-75 Tipos de Suelos Clasificados según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo\* Asociados a la Pendiente Principal en el Proyecto Loma Larga**

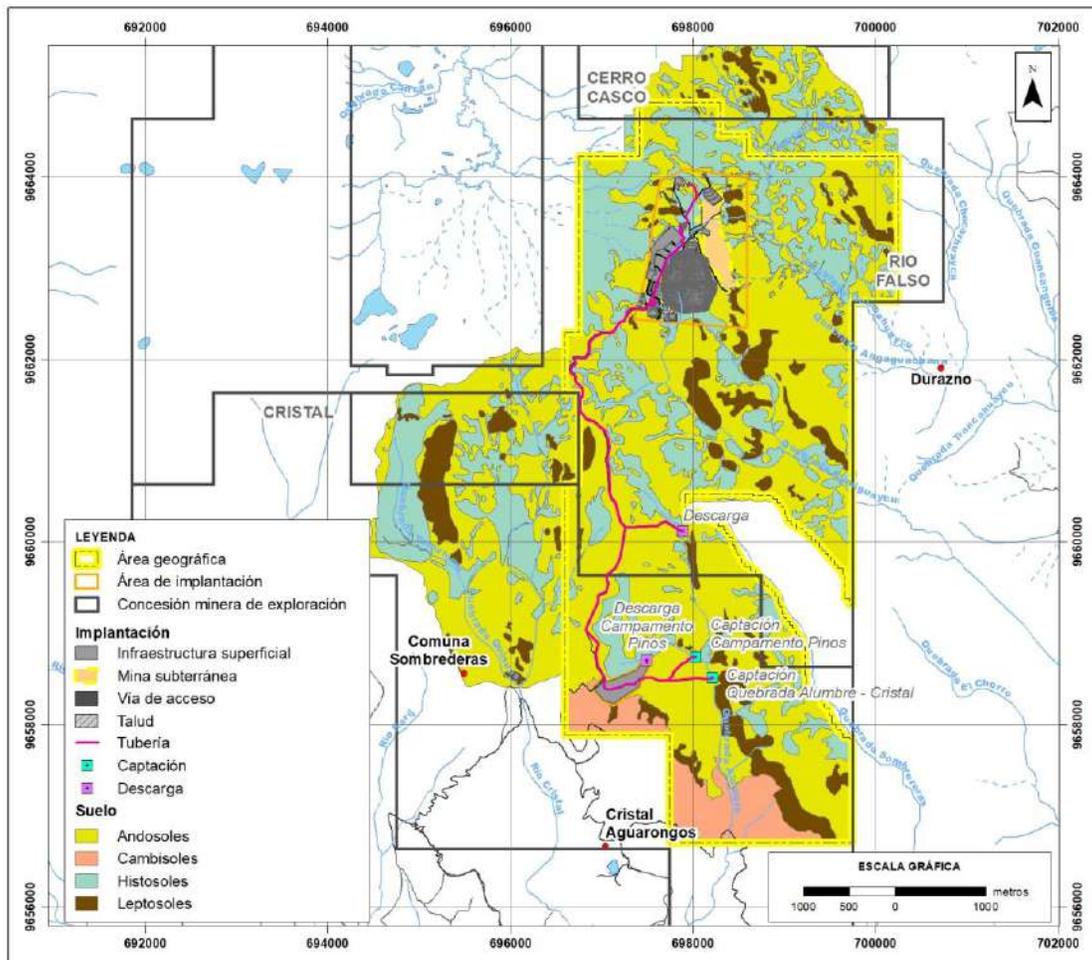
Pendiente Principal	Grupo de Suelo de Referencia	Tipos de Suelos Asociados
Alta	Cambisol (n=2)	Dystric Andic Cambisol
	Andosol (n=2)	Dystric Leptic Aluandic Andosol (Melanic); Dystric Aluandic Andosol (Melanic)
Media	Andosol (n=7)	Dystric Aluandic Andosol (Melanic); Dystric Leptic Aluandic Andosol (Melanic); Dystric Skeletic Aluandic Andosol (Melanic); Dystric Follic Aluandic Andosol (Clayic)
Baja	Andosol (n=4)	Dystric Histic Aluandic Andosol; Dystric Histic Gleyic Aluandic Andosol (Clayic); Dystric Leptic Aluandic Andosol (Melanic)
	Histosol (n=3)	Dystric Rheic Fibric Histosol; Dystric Rheic Fibric Histosol over Leptic Histosol.
* Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Working Group WRB, 2015)		

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, agosto 2020

### Distribución Espacial de los Suelos

La distribución espacial de los suelos se desarrolló para los Grupos de Suelos de Referencia como unidades dominantes: Andosoles, Histosoles y Leptosoles; con relación a estos últimos, ciertamente no fueron identificados en los perfiles de suelos, pero se sabe que están altamente asociados a las zonas de cumbres y/o de afloramientos rocosos en codominancia con Cambisoles o con Andosoles con calificadores lépticos. En forma similar ocurre con las zonas de Histosoles, que también están asociados a suelos

Andosoles con características hísticas. Con esas consideraciones, se visualiza en la Figura 6-89 el mapa de suelos generado para el área geográfica.



**Figura 6-89 Mapa de Suelos según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo para el Proyecto Lama Larga**

Fuente: Pablo Quichimbo, agosto 2020  
Elaboración Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-6 Suelo)

### **Caracterización de la Capacidad de Uso Agrícola del Suelo**

#### Características Edafológicas

La Tabla 6-76, a continuación, muestra los resultados de los ensayos edafológicos para cada una de las muestras de los 18 puntos de muestreo presentados e identificados en la Figura 6-85.

**Tabla 6-76 Resultados de Laboratorio de Parámetros Edafológicos**

Perfil	Horizonte	Profundidad	pH (H2O)	Cond. Electr. (mmhos/cm)	Al + H (meq/100ml)	CICE (meq/100 ml)	MO (%)	C (%)	Dens. Apar. (g/cm <sup>3</sup> )	CIC (meq/100 ml)	Sat. Bases (%)
T1-01	1	0-19,5	5,2	0,27	0,60	11,71	42,53	24,67	0,25	16,00	67,31
	2	19,5-41	5	0,32	1,35	9,13	48,35	28,05	0,27	29,00	19,24
	3	41-68,5	5,2	0,11	2,75	9,77	30,13	17,48	0,33	60,00	11,00
	4	68,5-92,5	5,1	0,09	3,80	20,14	6,91	4,03	0,66	54,00	30,44
	5	92,5-124,5	5,5	0,08	8,00	28,61	1,46	0,85	0,76	35,00	62,89
	6	124,5-157	5,9	0,09	1,50	24,03	0,79	0,46	0,90	33,00	61,45
	7	157-203+	5,6	0,06	1,40		0,47	0,27	1,10	27,00	85,93
T1-02	1	0-38	4,7	0,32	15,00	20,60	33,72	19,56	0,55	74,00	4,05
	2	38-49	5	0,06	8,70	11,45	23,29	13,51	0,64	68,00	2,37
	3	49-60	5,3	0,02	1,75		3,20	1,86	0,82	32,00	4,41
T1-03	1	0-27,5	4,5	0,39	16,30	18,93	29,69	17,22	0,55	84,00	2,19
	2	27,5-43,5	4,8	0,07	19,00	20,66	12,73	7,38	0,60	62,00	2,08
	3	43,5-59	4,8	0,06	30,00	31,38	4,96	2,88	0,74	41,00	3,54
	4	59-72	4,8	0,06	34,70	37,61	0,83	0,48	1,11	32,00	4,06
	5	72-167	5,2	0,03	25,00		0,12	0,07	1,03	21,00	12,71
T2-01	1	0-22,5	5,1	0,09	7,10	10,12	15,03	8,72	0,66	58,00	3,93
	2	22,5-38,5	5,2	0,07	6,20	7,57	6,94	4,03	0,89	36,00	3,78
	3	38,5-71	5,4	0,05	5,20	6,68	4,51	2,62	0,98	30,00	4,17
	4	71-87,5	5,9	0,05	1,20	2,54	1,35	0,78	1,30	26,00	4,73
	5	87,5-115	5,9	0,02	3,00		0,20	0,12	1,48	22,00	7,09
T2-02	1	0-36,5	5,2	0,25	10,20	13,94	21,20	12,30	0,72	62,00	3,31
	2	36,5-52,5	5,3	0,05	5,00	8,26	5,86	3,40	0,92	34,00	4,65
	3	52,5-77	5,2	0,04	1,50		1,39	0,81	1,21	64,00	2,08
T2-03	1	0-18	4,7	0,36	1,60	8,78	41,56	24,11	0,23	20,00	29,45
	2	18-45,5	4,7	0,14	8,50	13,32	32,27	18,72	0,33	74,00	3,85

Perfil	Horizonte	Profundidad	pH (H2O)	Cond. Electr. (mmhos/cm)	Al + H (meq/100ml)	CICE (meq/100 ml)	MO (%)	C (%)	Dens. Apar. (g/cm3)	CIC (meq/100 ml)	Sat. Bases (%)
	3	47,5-57,5	5,3	0,05	9,00	10,52	3,44	2,00	1,27	30,00	5,00
	4	57,5-89	5,2	0,04	4,50		1,96	1,14	1,39	26,00	7,12
T3-02	1	0-43	4,8	0,09	10,90	18,10	40,78	23,65	0,51	90,00	2,23
	2	43-61	5,4	0,03	0,86		5,96	3,46	1,14	35,00	3,54
T3-03	1	0-32,5	5,2	0,40	1,20	7,85	33,87	19,53	0,20	20,00	25,05
	2	325-50	4,8	0,16	7,40	10,54	18,34	10,64	0,36	41,00	6,51
	3	50-62	5,4	0,04	4,70	7,47	10,16	5,89	0,67	36,00	7,83
	4	62-74,5	5,4	0,03	4,00		3,73	2,16	0,87	24,00	9,50
	5	74,5-210	5,2	0,05	6,00		0,49	0,28	0,97	22,00	14,64
T4-01	1	0-30	4,5	0,13	10,00	12,85	33,81	19,61	0,57	48,00	4,71
	2	30-41,5	5,3	0,12	7,50	9,09	16,33	9,47	1,15	39,00	3,33
T4-02	1	0-33,5	4,6	0,14	11,00	13,55	32,08	18,61	0,63	68,00	2,66
	2	33,5-40	4,9	0,09	9,50	11,16	25,30	14,68	0,61	68,00	1,97
	3	40-85,5+	5,4	0,06	0,65	2,04	2,21	1,28		31,00	6,06
T4-03	1	0-33	4,8	0,21	1,50	3,75	35,76	20,74	0,21	24,00	8,63
	2	33-76	5,1	0,12	7,00	12,59	40,26	23,35	0,27	52,00	6,87
	3	76-111	5,4	0,14	1,50	11,08	33,96	19,70	0,20	36,00	22,47
	4	111-168+	4,8	0,14	6,50	24,57	2,70	1,57	1,21	30,00	99,63
T5-01	1	0-41	4,5	0,10	14,10	16,04	25,24	14,64	0,51	52,00	2,77
	2	41-65	4,5	0,12	24,50	26,02	8,27	4,80	0,72	48,00	2,75
	3	65-83,5	4,8	0,06	40,70		0,10	0,06	1,51	44,00	3,34
T5-02	1	0-42	4,5	0,18	14,00	17,73	32,14	18,64	0,59	76,00	3,21
	2	42-56,5	4,9	0,08	20,00	22,14	10,28	5,96	0,79	62,00	2,84
	3	56,5-89	5,6	0,10	5,20	21,56	0,61	0,35	1,30	40,00	35,68
T5-03	1	0-13	5,3	0,11	0,80	9,37	31,49	18,27	0,40	35,00	18,60
	2	13-36	5,3	0,10	2,50	14,17	23,46	13,61	0,38	48,00	16,48

Perfil	Horizonte	Profundidad	pH (H2O)	Cond. Electr. (mmhos/cm)	Al + H (meq/100ml)	CICE (meq/100 ml)	MO (%)	C (%)	Dens. Apar. (g/cm3)	CIC (meq/100 ml)	Sat. Bases (%)
	3	36-55,5	4,9	0,16	12,50	23,53	9,37	5,44	0,64	52,00	24,90
	4	55,5-89	5,3	0,16	17,50	29,04	2,23	1,29	0,83	35,00	33,03
	5	89-124+	5,6	0,11	8,00	19,85	1,74	1,01	0,98	22,00	45,82
T6-01	1	0-38	5,3	0,65	0,70	21,71	46,84	27,17	0,13	23,00	55,09
	2	38-62	5,5	0,67	0,50	8,40	41,33	23,97	0,22	38,00	18,16
	3	62-103	6,3	0,14	1,00	4,72	45,62	26,46	0,30	16,00	17,75
	4	103-116,5	5,3	0,10	1,56	12,91	39,75	23,06	0,35	66,00	12,92
	5	116,5-127	4,6	0,19	16,00	34,70	4,52	2,62	0,58	64,00	35,48
	6	127-135	5,3	0,20	1,40		24,30	14,10	0,27	44,00	24,39
	7	135-155	5,2	0,05	8,20		1,96	1,14	0,95	26,00	57,04
	8	155-166	5,1	0,18	2,20		18,11	10,50	0,23	29,00	25,83
	9	166-185+	5,4	0,09	8,50		2,68	1,55	1,15	34,00	52,85
T7-01	1	0-38	4,6	0,18	8,50	10,71	28,53	16,55	0,40	52,00	3,31
T8-01	1	0-45	5	0,13	7,50	9,34	24,45	14,18	0,61	50,00	3,34
	2	45-89,5	5	0,09	6,70	8,14	10,10	5,86	0,70	47,00	2,70
	3	89,5-115	5,2	0,06	0,60		1,09	0,63	1,30	31,00	5,00
T9-01	3	10-24	4,3	0,19	14,00	15,88	38,51	22,34	0,47	50,00	2,68
	4	24-57,5	4,7	0,13	12,00	13,44	30,91	17,93	0,41	88,00	1,53
	5	57,5-70	5	0,09	3,50	4,59	13,33	7,73	0,55	54,00	2,76
	6	70-82	5,1	0,03	3,20	4,48	6,87	3,98	0,53	60,00	2,00
	7	82-112	5,2	0,07	0,43		2,68	1,55	1,06	31,00	4,10

Fuente: Reporte de laboratorio AGROBIOLAB, 27 de julio 2020  
 Elaboración: P. Quichimbo, agosto 2020

Página en blanco

Estos parámetros edafológicos, además de servir para la clasificación de suelos, permitieron evaluar la fertilidad química de los suelos. Se pudo notar que, a pesar de la alta CIC (CIC > 20 meq/100 g de suelo) de la mayoría de los horizontes con una abundancia de raíces de ‘común’ a ‘muchas’, estos presentan una baja saturación de bases, pero, sobre todo, la toxicidad por aluminio (indicado por la alta acidez intercambiable:  $Al + H > 1,5$  meq/100 ml) conduce a una muy baja fertilidad de los suelos (Tabla 6-77), y ese es uno de los factores que influye también en la capacidad de uso de la tierra que se analiza en la siguiente sección.

### **Caracterización de la Capacidad de Uso de la Tierra**

Para la caracterización de la capacidad de uso, se parte del análisis de las variables edafológicas y las ambientales asociadas a esta, que definen en gran magnitud a las clases de capacidad de uso (Figura 6-86). La caracterización de estas variables para cada suelo tuvo como base la profundidad dominante característica (efectiva) de las raíces derivada de la información de descripción de los perfiles, las cuales estuvieron en función de los horizontes que mostraban la abundancia de raíces catalogadas como “común” y “muchas”, de acuerdo con la Guía de Descripción de Suelos (FAO, 2009). De igual manera, los horizontes involucrados en la determinación de la profundidad dominante de las raíces fueron la base para la evaluación de las variables de fertilidad, salinidad y toxicidad, que se usan para la generación de las clases de capacidad de uso. Para la evaluación de tales variables se usaron los rangos de estimación de fertilidad natural para suelos de la Sierra ecuatoriana (CLIRSEN-SIGAGRO, 2011). En esta misma fuente constan los rangos para todas las otras variables que se usaron para la determinación de la capacidad de uso (Figura 6-87). El resultado de la evaluación de tales variables para cada uno de los perfiles se muestra en la Tabla 6-77.

Página en blanco

**Tabla 6-77 Evaluación de las Variables Usadas para la Determinación de la Capacidad de Uso en Función de los 18 Perfiles de Suelos del Proyecto Loma Larga**

<b>Id. Perfil</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Profundidad Efectiva</b>	<b>Pedregosidad</b>	<b>Drenaje</b>	<b>Inundabilidad</b>	<b>Fertilidad</b>	<b>Salinidad</b>	<b>Toxicidad por AI</b>	<b>Humedad</b>	<b>Temperatura</b>
T1-01	Media	Poco profundo	<10 %	Moderado	Permanente	Muy baja	No salino	Media	Muy húmeda	Muy frío
T1-02	Media	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T1-03	Plana	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T2-01	Suave	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T2-02	Media	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T2-03	Suave	Poco profundo	<10 %	Bueno	Permanente	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T3-02	Suave	Poco profundo	>50 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T3-03	Suave	Moderadamente profundo	<10 %	Bueno	Permanente	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T4-01	Suave	Poco profundo	<10 %	Moderado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T4-02	Media-fuerte	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T4-03	Suave	Moderadamente profundo	<10 %	Moderado	Permanente	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T5-01	Media	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T5-02	Media-fuerte	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T5-03	Media	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Permanente	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T6-01	Suave	Moderadamente profundo	<10 %	Bueno	Permanente	Muy baja	No salino	Media	Muy húmeda	Muy frío

<b>Id. Perfil</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Profundidad Efectiva</b>	<b>Pedregosidad</b>	<b>Drenaje</b>	<b>Inundabilidad</b>	<b>Fertilidad</b>	<b>Salinidad</b>	<b>Toxicidad por Al</b>	<b>Humedad</b>	<b>Temperatura</b>
T7-01	Plana	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Permanente	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T8-01	Media-fuerte	Poco profundo	<10 %	Mal drenado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío
T9-01	Media-fuerte	Poco profundo	<10 %	Moderado	Larga	Muy baja	No salino	Alta	Muy húmeda	Muy frío

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, agosto de 2020

Con el uso de matrices de interacción, se definió la clase de capacidad de uso (Merlo et al., 2010) para cada uno de sitios de los perfiles de suelos. Como resultado final, todos los suelos de los perfiles descritos pertenecieron a la Clase VIII (Tabla 6-78), concluyendo que los suelos presentan limitaciones muy fuertes para la agricultura.

**Tabla 6-78 Determinación de las Clases de Capacidad de Uso de la Tierra (CUT) para los 18 Perfiles del Área geográfica**

Id. Perfil	CUT por la Pendiente	CUT Afectada por Profundidad	CUT Afectada por Drenaje	CUT Afectada por Pedregosidad	CUT Afectada por Inundabilidad	CUT Afectada por Fertilidad	CUT Afectada por Salinidad	CUT Afectada por Toxicidad de Al	CUT Afectada por Humedad	CUT Afectada por Temperatura	CUT
T1-01	IV	IV	IV	IV	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T1-02	IV	IV	IV	IV	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T1-03	I	III	III	V	V	V	V	V	V	VIII	VIII
T2-01	III	III	III	V	V	V	V	V	V	VIII	VIII
T2-02	IV	IV	IV	IV	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T2-03	III	III	III	III	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T3-02	III	III	III	V	V	V	V	V	V	VIII	VIII
T3-03	III	III	III	III	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T4-01	III	III	III	III	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T4-02	VI	VII	VII	VII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T4-03	III	III	III	III	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T5-01	IV	IV	IV	IV	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T5-02	VI	VII	VII	VII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T5-03	IV	IV	IV	IV	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T6-01	III	III	III	III	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T7-01	I	III	III	III	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T8-01	VI	VII	VII	VII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
T9-01	VI	VII	VII	VII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII

Fuente y elaboración: P. Quichimbo, agosto de 2020

#### 6.1.1.8.8 Conclusiones

Los suelos en el Proyecto Loma Larga presentan ciertas particularidades con relación a algunos parámetros de calidad de suelos (por ejemplo, los de los elementos As, Cu y Pb), por lo tanto, se recomienda realizar estudios más específicos para determinar el origen y dinámica de tales elementos, sobre todo porque sobrepasan los umbrales permitidos bajo la ley ecuatoriana, pese a que se encuentran dentro de un área que no muestra alteraciones de los suelos.

El mapa de suelos generado tiene una incertidumbre no valorada, puesto que se basó en un número reducido de perfiles de suelo; sin embargo, es de gran ayuda para el soporte a la toma de decisiones en torno al manejo y uso apropiado de los suelos para el área geográfica. Sin duda, este mapa puede ser mejorado con la inclusión, a futuro, de más perfiles de suelos.

La capacidad de uso de la tierra, determinado en base a los perfiles de suelos estudiados, indica que los suelos en el zona del Proyecto no son aptos para la agricultura. Adicionalmente, al caer todos los suelos en la categoría VIII, muestra indubitadamente que no es necesaria la generación de un mapa de clases de capacidad de uso para el área geográfica.

#### **6.1.1.8.9 Propiedades Físicas Edafológicas de los Suelos**

Para la descripción de las características físicas se tomó en cuenta las siguientes: a) estructura, b) textura, c) densidad aparente, d) porosidad y e) permeabilidad. La caracterización de estas variables fue con base en los 18 perfiles de suelos descritos y de las determinaciones analíticas de laboratorio de las muestras de suelos asociadas a tales perfiles, no obstante, para el caso de la permeabilidad se tuvo como base la profundidad dominante (efectiva) de las raíces.

##### **Estructura**

La estructura de los suelos se refiere a la organización natural de las partículas del suelo dentro de unidades discretas conocidas como agregados o peds resultantes de procesos pedogénicos (FAO, 2009). En este sentido, los horizontes que muestran un grado y tipología de estructuración – descritos morfológicamente según la “Guía para la descripción de suelos” (FAO, 2009) – son los horizontes superficiales (horizontes A y H) y los subsuperficiales (horizontes B) – en los horizontes C normalmente los procesos de estructuración son muy incipientes debido a que los procesos pedogénicos son muy lentos comparados son los horizontes suprayacentes (Schaetzl and Thompson, 2016). Los suelos dominantes en el área geográfica, Andosoles, se caracterizan por presentar una estructura dominante de tipo granular y de un grado de estructuración predominantemente fuerte en los horizontes superficiales A; en tanto que, en el horizonte B, la estructura dominante es de tipo bloques subangulares, con un grado de estructuración que varía de débil a fuerte (ver Anexo C. Respaldos LB, C.1 Físico, C.1.19 Descripción perfiles suelo). En los suelos de tipo Histosol, el horizonte H es un horizonte apedal (sin estructuración, de tipo masiva), mientras que los horizontes que le subyacen al H (horizontes A y B) tienen predominantemente un grado de estructuración débil y de tipo granular en el horizonte A; y, de tipo bloques subangulares e igualmente con un grado de estructuración predominantemente débil para el horizonte B. En los suelos de tipo Cambisol, el grado de estructuración es predominantemente moderado con un tipo de estructura predominantemente granular.

##### **Textura**

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de las partículas primarias del suelo y se lo describe como una clase textural (FAO, 2009); esta propiedad física del suelo está bien correlacionada con la distribución del tamaño de partículas de la fracción tierra fina del suelo – fracción con partículas de diámetro inferior a 2 mm – (Geering and Bing So, 2016). La distribución del tamaño de partículas primarias – porcentaje de arena, limo y arcilla – fue determinada por el laboratorio AGROBIOLAB – Certificación de Acreditación N° OAE LE 07-C07 –, por medio del método de Bouyoucos.

En la Tabla 6-79 se puede observar los valores promedios de los porcentajes de las partículas primarias (arena, limo y arcilla) organizados por horizontes para cada uno de los tipos de suelos encontrados en el área geográfica. Se puede notar una relativa homogeneidad de los valores porcentuales de las tres partículas primarias entre los tres tipos de suelos – los coeficientes de variación de arenas, limos y arcillas mostraron valores promedios de 18%, 27% y 21%, respectivamente –. Esta relativa homogeneidad hace que los suelos sean clasificados como suelos predominantemente francos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la determinación metodológica-analítica en laboratorio para la fracción arena puede no haber sido dispersada correctamente, particularmente para los horizontes superficiales (horizontes A), esto se puede evidenciar por el alto contenido de arena reportado en el horizonte A (promedio de los tres tipos de suelos = 51% de arena) y que es cercano al valor del porcentaje encontrado en el horizonte C (promedio de los tres tipos de suelos = 54% de arena). Normalmente se esperaría que la fracción arena en la capa superficial sea inferior a la del horizonte B y notablemente inferior a la del C (por el efecto de una mayor meteorización del horizonte superficial versus los subsuperficiales B y C, particularmente para los suelos

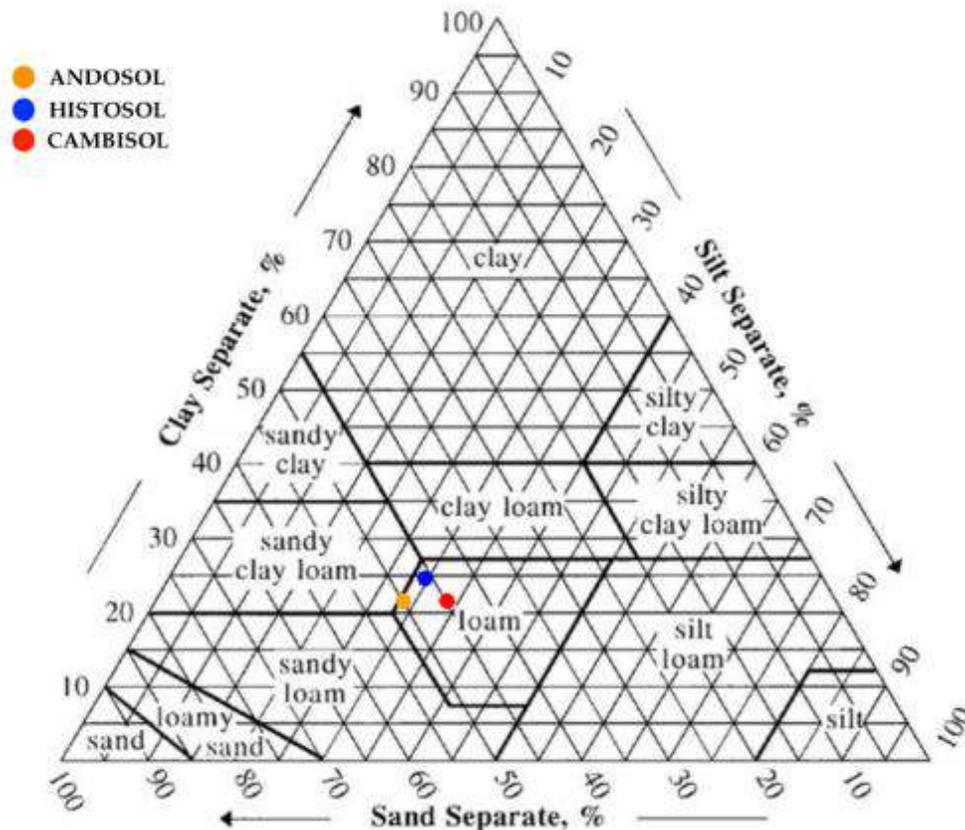
dominantes – Andosol e Histosol – en el área geográfica), esto no se puede evidenciar en los suelos del área geográfica, ya que la tendencia mostrada es de un aumento de arena en el horizonte A.

**Tabla 6-79 Porcentajes (valores promedios) de partículas primarias (arena, limo y arcilla) según tipo de suelo (basados en los datos de 18 perfiles de suelos) y por horizonte**

Suelo	Horizonte	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Histosol	H	-	-	-
	A	51	35	15
	B	33	39	28
	C	56	16	28
Andosol	A	56	27	17
	B	39	37	24
	C	58	20	22
Cambisol	A	46	33	21
	C	47	32	21

Fuente: Reporte de laboratorio AGROBIOLAB, julio de 2020  
Elaboración: P. Quichimbo, abril 2021

Estos aspectos metodológicos-analíticos para la determinación de tamaños de partículas es un problema comúnmente indicado en estudios de suelos de páramos en el sur del Ecuador, donde se menciona que por el elevado contenido de materia orgánica de los suelos, se tiende a la formación complejos órgano-metálicos (que requieren un proceso de dispersión más fuerte) que dan origen a pseudo-agregados de tamaño similar al de las arenas (Buytaert et al., 2005, 2002); sin embargo, estos pseudo-agregados son muy estables y contribuyen a la estructuración del suelo – esto también explica la asociación de la materia orgánica con un estructuración de grado fuerte de los suelos en la capa superficial (tal como se indica en la sección anterior sobre la estructura).



**Figura 6-90** Clase textural de los tres tipos de suelos encontrados en el área geográfica

Fuente: Reporte de laboratorio AGROBIOLAB, julio de 2020

Elaboración: P. Quichimbo, abril 2021

### Densidad aparente

La densidad aparente del suelo es definida como la masa de un suelo por unidad de volumen (FAO, 2009). La densidad aparente del suelo fue estimada en base a la toma de muestras inalteradas de suelo con anillos de Kopecky de 100 cm<sup>3</sup> y el valor de la masa mediante el secado estándar a 105 °C en laboratorio. La determinación de laboratorio se la realizó en dos instituciones: i) Laboratorio AGROBIOLAB, y ii) Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad de Cuenca (LFS-UCUENCA). De forma global, los valores de la densidad aparente del suelo obtenidos por AGROBIOLAB resultaron ser ligeramente mayores que los del LFS-UCUENCA (en promedio las muestras de AGROBIOLAB fueron aproximadamente 0.08 g cm<sup>-3</sup> mayores que los de la LFS-UCUENCA), sin embargo, estadísticamente no mostraron diferencias significativas (Mann–Whitney test;  $\alpha = 0.05$ ,  $p > 0.05$ ).

En la Tabla 6-80 se pueden observar los valores promedio de la densidad aparente por tipo de suelo de acuerdo a sus horizontes (valores basados en los datos de los horizontes de los 18 perfiles de suelos).

Como es de esperarse el valor de la densidad aparente aumenta con la profundidad de los suelos – desde los horizontes superficiales a los subsuperficiales – y esta tendencia se evidencia en los tres tipos de suelos.

**Tabla 6-80 Densidad aparente (valores promedio en g cm<sup>-3</sup>) de los suelos (basados en los datos de 18 perfiles de suelos) organizados por horizontes (valores entre paréntesis corresponde a los valores de la desviación estándar)**

Suelo	Horizonte	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )
<i>Histosol</i>	H	0,23 (0,05)
	A	0,32 (0,04)
	B	0,88 (0,26)
	C	1,02 (0,1)
<i>Andosol</i>	A	0,57 (0,14)
	B	0,90 (0,27)
	C	1,11 (0,17)
<i>Cambisol</i>	A	0,84 (0,28)
	C	1,5 (0,02)

Fuente: Reporte de laboratorio AGROBIOLAB, julio de 2020  
Elaboración: P. Quichimbo, abril 2021

Hay que mencionar que los valores para los horizontes superficiales de los suelos Andosoles e Histosoles – horizontes A y H, respectivamente –, encontrados en el Proyecto (Tabla 6-80), así como los valores de densidad aparente para los horizontes subsuperficiales (B y C) (Tabla 6-80), son consistentes con los reportados por otros estudios de suelos de páramo en el sur del Ecuador (Buytaert et al., 2006; Quichimbo et al., 2012).

### Porosidad

Según FAO (2009), la porosidad es una indicación del volumen total de espacios porosos de los suelos. Usualmente el principio básico para su determinación está basado en el radio entre el volumen de poros y el volumen total de un (de una muestra) suelo y existen varios métodos para su estimación, uno ampliamente usado es el del picnómetro que mide el volumen de aire en los poros del suelo (Cameron and Buchan, 2016), sin embargo un método análogo y de fácil determinación, es el de considerar el volumen de agua contenido en una muestra saturada de suelo de volumen conocido, de manera que la masa de material saturado menos la masa de sólidos secada al horno, dividida por la densidad del agua, da el volumen de agua, esto dividido por el volumen de muestra original da la porosidad (Nimmo, 2004). Este principio del método de saturación con agua (equivalente a un pF = 0 de retención de humedad del suelo) fue usado para la estimación de la porosidad y, por lo tanto, muestras inalteradas fueron enviadas al Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad de Cuenca para su determinación.

Los resultados de la porosidad de las muestras de los suelos se indican en la Tabla 6-81, y están organizados según el tipo de suelo y de sus horizontes. Los resultados para los suelos dominantes (Andosoles e Histosoles) del presente estudio son consistentes con los que reporta la literatura, por ejemplo Buytaert et al. (2006) señala para los horizontes superficiales (horizontes A) en Andosoles en el sur del Ecuador, valores promedio de 78.4% – que es muy similar al valor de 78.2% del presente estudio (Tabla 6-81). –; mientras que para los horizontes superficiales de los Histosoles (horizonte H) se ha reportado valores de 82% – también en un estudio en el sur del Ecuador reportado por Quichimbo et al. (2012).

**Tabla 6-81 Porosidad (valores porcentuales promedio) de los suelos (basados en los datos de 18 perfiles de suelos) organizados por horizontes**

Suelo	Horizonte	Porosidad (%)
<i>Histosol</i>	H	88,0
	A	86,4
	B	66,0
	C	59,4
<i>Andosol</i>	A	78,2
	B	58,5
	C	53,0
<i>Cambisol</i>	A	68,5
	C	47,3

Fuente: Reporte de Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad de Cuenca, octubre de 2020.  
Elaboración: P. Quichimbo, abril 2021

### Permeabilidad

La permeabilidad de un suelo se refiere a su facilidad para la transmisión de fluidos – como por ejemplo el agua – (Alexander, 2013). Una de las propiedades relacionadas con la caracterización de la permeabilidad es la conductividad hidráulica del suelo, que no es más que una medida de la capacidad de un suelo para conducir agua (Dane et al., 2016). Para determinar la conductividad hidráulica de los suelos se consideró la que corresponde a la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ), para lo cual se realizaron pruebas de campo según el procedimiento del “Auger-hole Method” (Oosterbaan and Nijland, 1994); estas pruebas se realizaron por triplicado para la capa de suelo asociada a una profundidad en la cual las raíces de las plantas pueden crecer sin limitaciones, esta profundidad dominante (efectiva) de las raíces se obtuvo de la información de la descripción de los perfiles, las mismas que estuvieron en función de las capas que mostraban la abundancia de raíces catalogadas como “común” y “muchas” de acuerdo a la Guía de Descripción de Suelos (FAO, 2009) – hay que acotar también que los horizontes involucrados en la determinación de la profundidad dominante de las raíces fueron la base para la evaluación de las variables de fertilidad, salinidad y toxicidad que se usaron para la generación de las clases de capacidad de uso—. Por lo tanto, los resultados de la caracterización de la conductividad hidráulica se resumen por tipo de suelo y se lo muestra en la Tabla 6-82. La conductividad hidráulica saturada mayor de los Histosoles comparada a la de los Andosoles y Cambisoles está asociada a su mayor porosidad (Tabla 6-82); de acuerdo Buytaert et al. (2005) una alta porosidad, combinada con una alta conductividad saturada, permite altas tasas de infiltración, sin embargo, la conductividad hidráulica cae rápidamente en condiciones ligeramente insaturadas y da como resultado un drenaje subterráneo lento, que es sostenido por la elevada capacidad de almacenamiento de agua de los suelos de páramo.

**Tabla 6-82 Valores promedio de la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) para la profundidad dominante de las raíces por tipo de suelo basados en los datos de 18 perfiles de suelos**

Suelo	$K_{sat}$ (cm h <sup>-1</sup> )
<i>Histosol</i>	1,7 (0,99)
<i>Andosol</i>	0,84 (1,17)
<i>Cambisol</i>	0,34 (0,16)

Fuente: Levantamiento de suelos, junio a agosto 2020.  
Elaboración: P. Quichimbo, abril 2021

## **Conclusiones**

El grado de estructuración varía entre los suelos dominantes (Andosol e Histosol). Los suelos Andosol se caracterizan por presentar un grado de estructuración mayor en los horizontes A y B comparados con los mismos horizontes en los suelos Histosol, aunque el tipo de estructura dominante es el mismo en ambos suelos (granular en los horizontes A y bloques subangulares en el horizonte B). Debido a que el grado de estructuración es el factor variable y fue determinado morfológicamente (determinación cualitativa basada en las descripciones de los perfiles), se podría complementar a futuro la caracterización de esta propiedad con una determinación cuantitativa de laboratorio (por ejemplo, mediante análisis de estabilidad de agregados por tamizaje en húmedo).

Con relación a la textura de los suelos en el área geográfica, ésta resultó ser uniforme (suelos de clase textural franco) debido a la homogeneidad en la distribución del tamaño de las partículas (tanto entre los suelos como entre sus horizontes minerales); sin embargo, hay que tener en cuenta una posible dispersión incompleta – desarrollada en laboratorio – de coloides minerales (arcillas) de los suelos de los horizontes superficiales minerales (horizontes A), esto se puede evidenciar por una alta proporción de arenas en estos horizontes, se recomienda a futuro realizar una comparación con otros métodos de dispersión – por ejemplo con pretratamientos de dispersión más agresivos o con dispersiones por medio de ultrasonido –.

En relación con la densidad aparente se pudo evidenciar un hecho normal en ambientes de páramo de tener suelos que muestran, a nivel de horizontes superficiales, valores de densidad considerablemente menores que los de suelos de tierras más bajas (zonas ecológicas de bosques montanos, donde la densidad aparente de los suelos a nivel superficial es usualmente mayor a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ ). Adicionalmente también se pudo ver una tendencia normal de un aumento de los valores de densidad con el aumento de la profundidad de los suelos.

En cuanto a la porosidad, se concluye que todos los suelos en el área geográfica muestran una alta porosidad a nivel superficial – típica de los suelos de páramo – y que esta porosidad es inversamente proporcional a la densidad aparente de los suelos.

Finalmente, en relación con la permeabilidad – analizada desde el punto de vista de la conductividad hidráulica saturada –, se pudo observar notables diferencias entre los suelos, siendo los suelos de tipo Histosol los que mayores valores de conductividad hidráulica mostraron para la profundidad dominante de las raíces. Sin embargo, pese a las diferencias, los suelos en el Proyecto Loma Larga pueden permitir una alta regulación hidrológica (flujos base altos y constantes), gracias a sus características hidrofísicas, entre ellas la alta conductividad hidráulica, por ejemplo la cantidad de agua que proviene por precipitación – que es normalmente de baja intensidad (inferior a  $2 \text{ mm h}^{-1}$ ) – no supera la capacidad de infiltración de los suelos indicada por una mayor conductividad hidráulica saturada (valor de  $K_{sat}$  promedio de los tres suelos en el área geográfica:  $9,6 \text{ mm h}^{-1}$ ).

### **6.1.1.9 Uso de Suelo**

#### **6.1.1.9.1 Uso de la Tierra según la cobertura**

El Proyecto Loma Larga con base en el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra escala 1:100000 generado por el Ministerio de Ambiente y Agua en 2018, se encuentra dentro de las siguientes categorías de uso de la tierra.

#### **Bosque**

Bosque nativo: Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural; se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos.

Vegetación arbustiva y herbácea

Vegetación arbustiva: Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas no arbóreas. Incluye áreas degradadas en transición a una cobertura densa del dosel.

Páramo: Vegetación tropical altoandino-caracterizada por especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona.

Vegetación Herbácea: Áreas constituidas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección.

Tierra agropecuaria

Área bajo cultivo agrícola y pastos plantados, o que se encuentran dentro de una rotación entre éstos.

Zona antrópica

Área poblada: Áreas principalmente ocupadas por viviendas y edificios destinados a colectividades o servicios públicos.

#### **6.1.1.10 Uso de suelo según la cobertura vegetal**

La clasificación de la cobertura vegetal se realizó mediante la interpretación de la imagen satelital Spot7 de resolución 1,5 m/píxel de julio 2019, mediante el software ArcGIS 10.2. Se generó un primer análisis mediante el método de Clasificación No Supervisada; los resultados fueron verificados por interpretación visual, considerando la correlación de forma, tonos, colores y patrón de las categorías resultantes. Este mapa sirvió de base para verificar en campo el tipo de vegetación.

Con los puntos de control obtenidos durante la jornada de campo realizada por el equipo de la Compañía en abril de 2020, se procedió a reclasificar las categorías de cobertura vegetal y uso del suelo. De la misma manera, la delimitación de humedales y/o almohadillas fue determinada en campo en julio de 2020, mediante el uso de receptores GPS, a fin de garantizar que la información responda a las condiciones actuales del área. La información registrada fue validada e integrada al análisis, obteniendo así 10 clases de cobertura vegetal y uso del suelo:

##### **6.1.1.10.1 Páramo (Par)**

Hábitat abierto dominado por hierbas, especialmente de gramíneas con el hábito de penachos o macollas de los géneros *Calamagrostis*, *Cortaderia* y *Festuca*. Arbustos leñosos de los géneros *Chuquiraga*, *Diplostephium*, *Gynoxys*, *Hesperomeles*, *Brachyotum* y *Miconia* se encuentran de manera dispersa y, en ocasiones, aglomerados. Un componente importante de este ecosistema son las plantas con hábito de roseta, tal es el caso del género *Puya*, *Valeriana* y *Viola*.

##### **6.1.1.10.2 Humedal y/o Almohadilla**

Un hábitat abierto con plantas de baja altura en forma de almohadillas representadas por los géneros *Plantago* y *Oreobolus*. Usualmente, esta asociación se encuentra en áreas húmedas y juega un rol importante en la regulación hídrica, ciclo del suelo y nutrientes. Por lo general, este ambiente se localiza en enclaves de las zonas altoandinas, reteniendo gran cantidad de agua y materia vegetal.

##### **6.1.1.10.3 Bosque Nativo**

Franja altitudinal del bosque montano alto que limita con el páramo herbazal. Es un hábitat cerrado con presencia de árboles y arbustos con crecimiento denso y cubiertos por una gran cantidad de briofitos. Entre los géneros más representativos están *Hesperomeles*, *Vallea*, *Monticalia*, *Miconia* y *Escallonia*.

##### **6.1.1.10.4 Bosque Nativo de *Polylepis***

Dos fragmentos de bosque con áreas en rangos de 0,5-1,5 ha, dominados por árboles nativos de dos especies: *Polylepis incana* y *P. reticulata* (Neill 1999; Baquero et al. 2004; Minga & Verdugo 2007).

#### 6.1.1.10.5 Plantación Forestal

Ambiente antropogénico dedicado al manejo forestal con especies de pino (*Pinus spp.*). Existen especies nativas creciendo de manera aislada en este ambiente; entre las que están: *Oreocallis grandiflora*, *Drymis granadensis* y varias especies de la familia Ericaceae.

#### 6.1.1.10.6 Vegetación Arbustiva

Un hábitat semiabierto con plantas leñosas representadas por los géneros *Chuquiraga*, *Diplostephium*, *Gynoxys*, *Hesperomeles*, *Brachyotum* y *Miconia*. Las especies en este ambiente se caracterizan por tener hojas pequeñas y coriáceas para resistir a las condiciones climáticas del ecosistema Páramo.

##### 1. Vegetación Arbustiva Dispersa

Representada por especies menores cuyo hábito se ha desarrollado de manera aislada.

#### 6.1.1.10.7 Formación Rocosa

Son afloramientos rocosos expuestos a la erosión por el viento y el agua. La vegetación que crece en este ambiente presenta adaptaciones, como tamaño pequeño, hojas coriáceas y abundante pubescencia. Entre los géneros representativos están *Draba*, *Viola* y varias especies de las familias Asteraceae y Poaceae.

#### 6.1.1.10.8 Mosaico Agropecuario

Ambiente antropogenizado dedicado a la agricultura y ganadería de ganado vacuno y ovino. Entre los sembríos principales está el trigo, cebada y habas.

#### 6.1.1.10.9 Área Intervenida

Se refiere a todo ambiente que evidencia un disturbio antropogénico; en la zona del proyecto se observó en las áreas de pajonal evidencia de actividades de 4 x 4, lo que ocasiona la compactación del suelo, pérdida de nutrientes y erosión.

#### 6.1.1.10.10 Cuerpo de Agua

Son extensiones de agua acumulada que varía en su tamaño, usualmente se localizan en los enclaves o depresiones del ecosistema Páramo. Son de gran importancia ecológica, ya que intervienen en la regulación hídrica y son sitios importantes para el descanso de aves migratorias. En estos cuerpos de agua están creciendo plantas del género *Isoetes*.

Las superficies para cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo identificadas se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 6-83 Superficies de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo**

Cobertura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Páramo	1460,72	59,15
Humedal y/o almohadilla	746,80	30,24
Bosque nativo	21,93	0,89
Bosque nativo-Polylepis	18,59	0,75
Plantación forestal	116,25	4,71
Vegetación arbustiva	37,26	1,51
Vegetación arbustiva dispersa	1,21	0,05
Formación rocosa	27,75	1,12
Mosaico agropecuario	27,87	1,13

Cobertura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Área intervenida	5,97	0,24
Cuerpo de agua	5,14	0,21

Fuente y elaboración Entrix, julio 2020

### 6.1.1.11 Conflictos de Uso

#### 6.1.1.11.1 Metodología

Cuando el equilibrio natural no se ve perturbado, los procesos naturales se desarrollan a un ritmo normal; sin embargo, al ser alterado, el equilibrio se rompe produciendo efectos negativos al recurso suelo, como: erosión, degradación, pérdida de fertilidad, compactación, etc.

La sobreposición de la cartografía de capacidad de uso con la de cobertura vegetal y uso actual permitió, por medio de la matriz de interpretación, delimitar áreas de tierras que están en Uso Correcto, en Uso Factible o en Uso Incorrecto (Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-12 Conflicto).

**Tabla 6-6-84 Matriz de Interpretación del Conflicto de Uso del Suelo**

Capacidad/ Cobertura	Páramo	Humedal y/o Almohadilla	Bosque Nativo	Bosque Nativo- Polylepis	Plantación Forestal	Vegetación Arbustiva	Formación Rocosa	Mosaico Agropecuario	Área Intervenida	Cuerpo de Agua
VIII	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Factible- incorrecto	Correcto	No aplica	Incorrecto	Incorrecto	No aplica

Fuente: Modificado del Esquema Metodológico para obtener los conflictos de uso de las tierras en Ecuador, de SIGTIERRAS, 2017  
Elaboración: Entrix, agosto 2020

En el Proyecto Loma Larga se han identificado las siguientes categorías de uso:

#### 6.1.1.11.2 Uso Correcto (C)

Se determina cuando el uso actual coincide con la aptitud de la tierra propuesta, por lo tanto, no se observan procesos que tiendan a degradar a los suelos; sin embargo, cuando estas tierras estén bajo actividades agropecuarias, requerirán que se realicen prácticas de manejo. El mayor porcentaje (92,54 %) del área analizada se localiza dentro de esta categoría.

#### 6.1.1.11.3 Uso Factible (F)

Corresponden a áreas en las cuales sus tierras están siendo utilizadas con menor intensidad que su aptitud, por lo tanto, pueden soportar un uso mayor.

La utilización más intensa de la tierra demandará tomar medidas de manejo técnico y socialmente adecuadas para evitar que se presenten conflictos. En esta categoría se ha considerado a las áreas de plantaciones forestales con una valoración de Factible-Incorrecto (50-50 %) debido que son ambientes antropogénicos dedicados al manejo forestal, con especies de pino (*Pinus spp.*) en alto porcentaje.

#### 6.1.1.11.4 Uso Incorrecto (I)

Corresponde a las clases de uso actual, en las que la aptitud de la tierra está siendo aprovechada en forma más intensiva que la que puede soportar, por lo tanto, los procesos de deterioro se van a presentar, reflejándose en el empobrecimiento de la tierra, generando la baja producción y posterior abandono de estos suelos.

#### 6.1.1.11.5 No Aplica

Esta categoría comprende áreas cubiertas con cuerpos de agua y afloramientos rocosos que, en la mayoría de los casos, no presenta vegetación o, en su defecto, hay escasa vegetación natural de poca altura (Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-12 Conflicto).

Las superficies para cada una de las clases de conflicto de uso del suelo identificadas se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 6-85 Superficies de Conflictos de Uso del Suelo**

Conflictos de Usos	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Correcto	2285,29	92,54
Incorrecto	33,86	1,37
Factible-Incorrecto	117,46	4,76
No Aplica	32,89	1,33

Fuente: Entrix, julio 2020

Elaboración: Entrix, agosto 2020

#### 6.1.1.11.6 Uso de Suelo PDOT

En cuanto al Uso de Suelo para el área de implantación del PLL, se considera las siguientes bases:

- > Plan de Desarrollo Cantonal y Ordenamiento Territorial de San Gerardo (GAD San Gerardo, 2015), que define la categoría de ordenación del terreno: Área minera
- > Tomo 2: Propuesta, Modelo Estratégico de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT Cuenca, 2015) se define el Uso de Suelo: Rural, Nivel de Uso: **conservación** y Categoría de Ordenación: **Espacios naturales de importancia ecológica previstos para proyectos estratégicos por el Estado a la concesión minera Loma Larga Quimsacocha** (actualmente proyecto estratégico Loma Larga, cuyo titular minero es DPMECUADOR SA). En el Anexo A.62, se adjunta la Certificación de proyecto estratégico.

#### 6.1.1.12 Calidad del Aire

##### 6.1.1.12.1 Metodología

El A.M. 097-A, en su Anexo 4 Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, publicado el 4 de noviembre de 2015, tiene como objetivo la preservación de la salud pública, calidad del aire y del ambiente en general. También establece los criterios técnicos sobre métodos y procedimientos adecuados que se deben aplicar durante la determinación de emisiones hacia el aire ambiente a nivel del suelo de contaminantes atmosféricos, así como los niveles máximos permisibles de concentración de estos (Tabla 6-86).

##### Tipo de Medición

Se realizó una medición continua para todos los contaminantes en general. En la Tabla 6-86 se especifica el tiempo empleado para cada sustancia según lo indica la norma antes mencionada.

**Tabla 6-86 Tipo de Medición**

Parámetro	Medición	Límite Máximo Permisible (Anexo 4, AM)
Material particulado menor a 10 micrones (PM <sub>10</sub> )	Muestreo continuo durante 24 horas, los datos se tomaron cada hora.	El promedio aritmético de muestreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder 100 µg/m <sup>3</sup> .

Parámetro	Medición	Límite Máximo Permissible (Anexo 4, AM)
Material particulado menor a 2,5 micrones (PM <sub>2,5</sub> )		El promedio aritmético de muestreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder 50 µg/m <sup>3</sup> .
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Muestreo continuo durante 24 horas, los datos se tomaron cada hora.	La concentración SO <sub>2</sub> en 24 horas no deberá exceder 125 µg/m <sup>3</sup> .
Monóxido de carbono (CO)	Muestreo continuo durante 8 horas, los datos se tomaron cada hora.	La concentración de CO de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 horas, no deberá exceder 10 000 µg/m <sup>3</sup> .
Ozono (O <sub>3</sub> )		La máxima concentración de O <sub>3</sub> , obtenida mediante muestra continua en un período de 8 horas, no deberá exceder de 100 µg/m <sup>3</sup> ,
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Muestreo continuo durante 1 hora, los datos se tomaron cada diez minutos.	La concentración máxima en una hora no deberá exceder 200 µg/m <sup>3</sup> .

Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A MAE-Anexo 4, del 5 de noviembre de 2015  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

### Correcciones Aplicables

Los valores de concentración de los contaminantes realizados en el presente estudio están sujetos a ciertas correcciones con base en las condiciones de referencia de 25 °C y 760 mmHg, en donde las mediciones observadas en la fase de campo se corrigieron con base en la temperatura del aire y presión atmosférica de la localidad al momento de realizar el monitoreo.

Para realizar la comparación con los respectivos límites máximos permitidos dentro de la norma ecuatoriana, el Ministerio del Ambiente (2015) establece la aplicación de la siguiente ecuación:

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

Donde:

C<sub>c</sub> = Concentración corregida

C<sub>o</sub> = Concentración observada

P<sub>bl</sub> = Presión atmosférica local

t °C = Temperatura local expresada en grados Celsius

K = Temperatura en grados Kelvin

#### 6.1.1.12.2 Equipos de Medición y Procedimiento de Campo

El laboratorio encargado de realizar las mediciones fue Gruentec Cía. Ltda., el cual cuenta con la acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano No. OAE LE 2C 05-008; cabe señalar que los muestreos se realizaron conjuntamente con personal de la Compañía. En general, los equipos fueron colocados en el sitio de muestreo a 1,50 m desde el nivel suelo y alejados al menos 2 m de muros u objetos (es importante destacar que en la normativa nacional no existen los criterios de ubicación de la estación de calidad del aire, sin embargo, en el Manual del Aseguramiento de la Calidad para Sistemas de Medición de Contaminación del Aire, Volumen 2, de la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), conforme se muestra en la Tabla 6-87 Resumen de Criterios para Monitoreo en Sitio, se exponen las recomendaciones.

**Tabla 6-87 Resumen de Criterios para Muestreo en Sitio**

Contaminante	Distancia horizontal y vertical desde las estructuras de soporte <sup>2</sup> hasta la sonda, toma o 90% de la ruta de monitoreo <sup>1</sup> (metros)
SO <sub>2</sub>	> 1
CO	> 1
NO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	> 1
Precusores de Ozono (para PAMS <sup>1,3,4,5</sup> )	> 1
PM, Pb <sup>3,4,5,6,8</sup>	> 2 (todas las escalas; distancia horizontal solamente).

- (1) La ruta de muestreo para los analizadores de ruta abierta solo se aplica a la monitorización de CO a escala media o vecinal, a la monitorización de NO<sub>2</sub> a escala media, vecinal, urbana y regional, y a todas las escalas aplicables para la monitorización de SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y precursores de O<sub>3</sub>.
- (2) Cuando la sonda está ubicada en una azotea, esta distancia de separación se refiere a paredes, parapetos o áticos ubicados en la azotea.

Fuente: EPA, Manua de Aseguramiento de la Calidad para Sistemas de Medición de Contaminación de Aire, Gruntec, 2022.  
Elaboración: Entrix, marzo 2022

Antes de iniciar la medición, el equipo estuvo calibrado, y luego de realizado el muestreo, los datos se descargaron en una computadora.

En la Tabla 6-88 se describen los equipos utilizados durante el estudio, los parámetros monitoreados, técnicas de análisis y su fundamento en base a la normativa establecida conjuntamente con la resolución de los equipos utilizados.

**Tabla 6-88 Descripción de Equipos Utilizados**

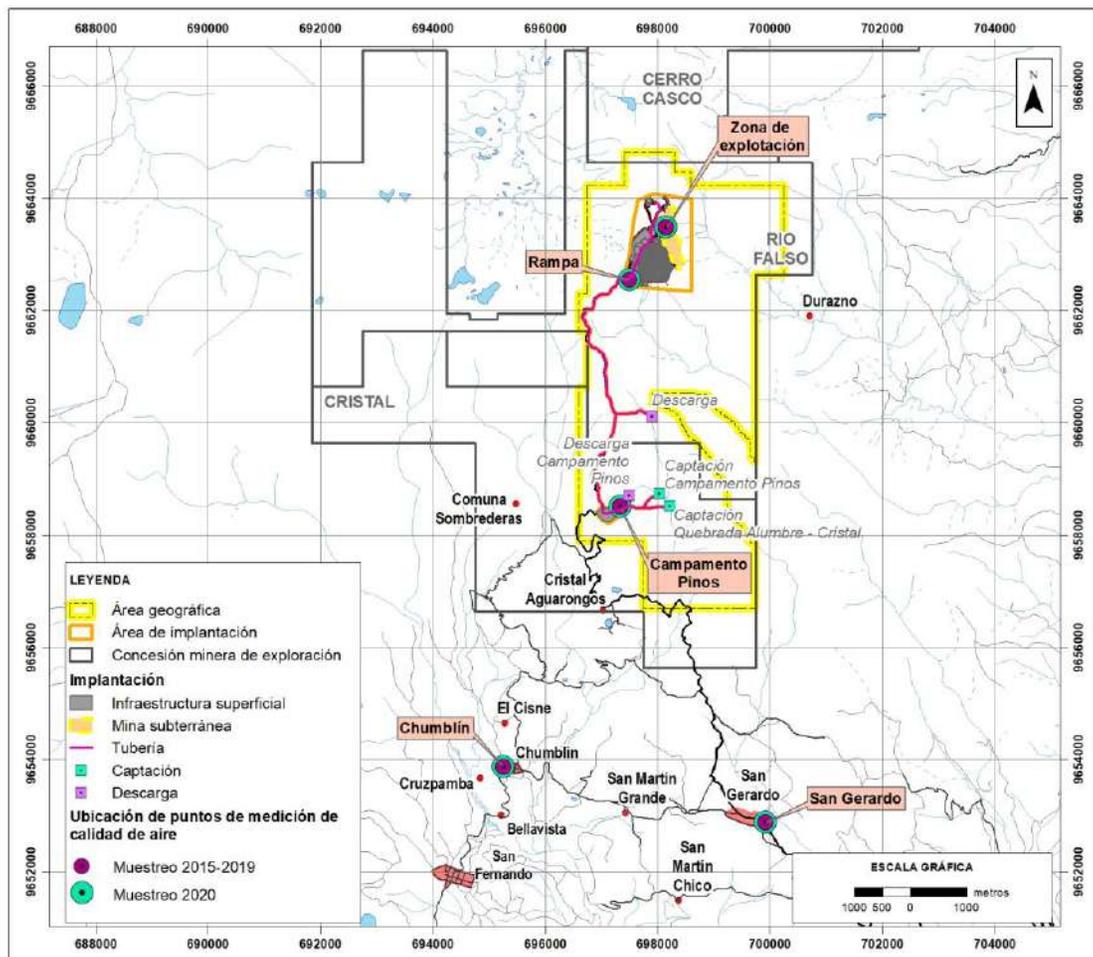
Equipo	Parámetro	Técnica de Análisis	Método	Límite de Cuantificación	Certificado de calibración
Thermo 43i	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Fluorescencia	Se determina midiendo la señal fluorescente generada al estimular al SO <sub>2</sub> en presencia de luz ultravioleta.	0,001 ppm	20 ppm (CO NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub> ) (10-2019)
Thermo 42i	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Quimiluminiscencia	El NO <sub>2</sub> es convertido en NO, que reacciona con O <sub>3</sub> produciendo luz. El instrumento permite la presentación de resultados para concentraciones, tanto de NO <sub>2</sub> como de NO.	0,0001 ppm	20 ppm (CO NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub> ) (10-2019)
Horiba APMA 370	Monóxido de Carbono (CO)	Infrarrojo no dispersivo	Determina la concentración mediante el cambio en absorción de energía infrarroja en diferentes longitudes de onda.	0,01 ppm	800 ppm (CO NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub> ) (04-2016)
Thermo 49i	Ozono (O <sub>3</sub> )	Absorción ultravioleta	Determina la cantidad de luz absorbida a una longitud de onda de 254 nanómetros.	0,0001 ppm	800 ppm (CO NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub> ) (04-2016)
E-BAM Mass Monitor	Material particulado PM10	Beta atenuación	El equipo muestreador, con entrada PM10 o PM <sub>2,5</sub> contiene una fuente de radiación beta que determina la	1 ug	CCMP-2020-05-06

Equipo	Parámetro	Técnica de Análisis	Método	Límite de Cuantificación	Certificado de calibración
Met One Instruments	Material particulado PM <sub>2,5</sub>		ganancia de peso en un filtro, a medida que este experimenta acumulación de partículas.		CCMP-2020-05-06

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020. Acuerdo Ministerial 097-A MAE-Anexo 4, del 5 de noviembre de 2015  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

### 6.1.1.12.3 Puntos de Muestreo

Se escogieron cinco puntos de muestreo ubicados en la zona de explotación, Rampa, campamento Pinos, donde no existen actividades productivas ni presencia de viviendas, y también en las zonas de Chumblín, San Gerardo y Rampa. En la Tabla 6-89 se detalla la ubicación de los puntos, sus respectivas coordenadas, altitud, fecha de muestreo y la respectiva fotografía del lugar. En la Figura 6-91 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo de calidad de aire.



**Figura 6-91 Ubicación de Puntos de Muestreo de Calidad de Aire**

Fuente: Registros de línea base, INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC  
Elaboración: Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-3 Aire).

**Tabla 6-89 Ubicación de los Puntos de Muestreo de Calidad de Aire**

Sitio	Coordenadas (WGS84 Zona 17 Sur)		Altitud (msnm)	Fecha	Fotografía
	Este (m)	Norte (m)			
Zona de explotación	698157,00	9663482,00	3765	24/02/2015-25/02/2015	 Fotografía de muestreo correspondiente al 23 de diciembre de 2019
				29/06/2016-30/06/2016	
				20/12/2016-21/12/2016	
				19/06/2017-20/06/2017	
				28/12/2017-29/12/2017	
				28/06/2018-29/06/2018	
				20/12/2018-21/12/2018	
				28/06/2019-29/06/2019	
				21/12/2019-22/12/2019	
				09/05/2019-10/05/2020	
Campamento Pinos	697342,45	9658505,16	3680	25/02/2015-26/02/2015	 Fotografía de monitoreo correspondiente al 23 de diciembre de 2019
				27/06/2016-28/06/2016	
				19/12/2016-20/12/2016	
				21/06/2017-22/06/2017	
				26/12/2017-27/12/2017	
				27/06/2018-28/06/2018	
				19/12/2018-20/12/2018	
				29/06/2019-30/06/2019	
				22/12/2019-23/12/2019	
				11/05/2020-12/05/2020	
Chumblín	695261,43	9653869,18	2730	27/09/2018-28/09/2018	 Fotografía de muestreo correspondiente a 27 de septiembre de 2018
				18/12/2018-19/12/2018	
				13/05/2020-14/05/2020	
San Gerardo	699925,412	9652883,15	2818	26/09/2018-27/09/2018	

Sitio	Coordenadas (WGS84 Zona 17 Sur)		Altitud	Fecha	Fotografía
	Este (m)	Norte (m)	(msnm)		
				17/12/2018-18/12/2018	 <p>Fotografía de muestreo correspondiente al 27 de septiembre de 2018</p>
				12/05/2020-13/05/2020	
Rampa	697502,48	9662549,16	3795	29/12/2018-30/12/2018	 <p>Fotografía de muestreo correspondiente al 29 de diciembre de 2017</p>
				10/05/2020-11/05/2020	

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2019  
Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

#### 6.1.1.12.4 Análisis de la Información y Estadística

Se trata de una zona en donde no existen actividades antrópicas, por lo que el muestreo de los diferentes contaminantes de aire se realizó a nivel del suelo; los resultados reflejados durante todo el tiempo de muestreo y en los cinco puntos de vigilancia corresponden a datos ínfimos, por lo que no resulta eficaz el análisis estadístico. En el punto de análisis de resultados se observan las diferentes cifras referidas en el presente elemento.

#### 6.1.1.12.5 Análisis de Resultados

Todas las concentraciones de los contaminantes ambientales medidos están por debajo de los límites decretados en la normativa ecuatoriana durante el tiempo establecido de cada muestreo. En la Tabla 6-90 se puede observar los resultados de los monitores semestrales desde el 2015 hasta el 2020 en la zona de explotación, campamento Pinos, Chumblín, San Gerardo y Rampa, en donde se detalla que todos cumplen con la normativa ecuatoriana respectiva.

**Tabla 6-90 Resultados de Muestreo de Calidad de Aire**

Parámetros	Punto de Muestreo	Fecha	Tipo	Unidad	Límites Máximos Permisibles	Valor Corregido (ug/m <sup>3</sup> )	Cumplimiento Anexo 4 AM 097-A
Monóxido de carbono (CO)	Zona de explotación	24/02/2015-25/02/2015	Gas contaminante del aire ambiente	µg/m <sup>3</sup>	10 000 µg/m <sup>3</sup>	<114,5	Sí cumple con normativa ecuatoriana
		29/06/2016-30/06/2016				<114	
		20/12/2016-21/12/2016				<114	
		19/06/2017-20/06/2017				<114	
		28/12/2017-29/12/2017				<114	
		28/06/2018-29/06/2018				<114	
		20/12/2018-21/12/2018				467,00	
		28/06/2019-29/06/2019				<114	
		21/12/2019-22/12/2019				<114	
		09/05/2019-10/05/2020				<114	
	Campamento Pinos	25/02/2015-26/02/2015				137,3	
		27/06/2016-28/06/2016				<114	
		19/12/2016-20/12/2016				<114	
		21/06/2017-22/06/2017				<114	
		26/12/2017-27/12/2017				<114	
		27/06/2018-28/06/2018				<114	
		19/12/2018-20/12/2018				431,00	
		29/06/2019-30/06/2019				<114	
		22/12/2019-23/12/2019				<114	
		11/05/2020-12/05/2020				367	
	Chumblín	27/09/2018-28/09/2018				<114	
		18/12/2018-19/12/2018				406,34	
		13/05/2020-14/05/2020				1651	
	San Gerardo	26/09/2018-27/09/2018				<114	

Parámetros	Punto de Muestreo	Fecha	Tipo	Unidad	Límites Máximos Permisibles	Valor Corregido (ug/m <sup>3</sup> )	Cumplimiento Anexo 4 AM 097-A
		17/12/2018-18/12/2018				417	
		12/05/2020-13/05/2020				1903	
	Rampa	29/12/2018-30/12/2018				<114	
	10/05/2020-11/05/2020	233					
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Zona de explotación	24/02/2015-25/02/2015	Gas contaminante del aire ambiente	µg/m <sup>3</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>	1,41	Sí cumple con normativa ecuatoriana
		29/06/2016-30/06/2016					
		20/12/2016-21/12/2016				<94	
		19/06/2017-20/06/2017				<94	
		28/12/2017-29/12/2017				<94	
		28/06/2018-29/06/2018				<94	
		20/12/2018-21/12/2018				<94	
		28/06/2019-29/06/2019				<94	
		21/12/2019-22/12/2019				<94	
		09/05/2019-10/05/2020				<94	
	Campamento Pinos	24/02/2015-25/02/2015				11,88	
		29/06/2016-30/06/2016				<125	
		20/12/2016-21/12/2016				<125	
		19/06/2017-20/06/2017				<125	
		28/12/2017-29/12/2017				<125	
		28/06/2018-29/06/2018				<125	
		20/12/2018-21/12/2018				<125	
		28/06/2019-29/06/2019				<125	
		21/12/2019-22/12/2019				<125	
		09/05/2019-10/05/2020				<125	
Chumblín	27/09/2018-28/09/2018	<125					

Parámetros	Punto de Muestreo	Fecha	Tipo	Unidad	Límites Máximos Permisibles	Valor Corregido (ug/m <sup>3</sup> )	Cumplimiento Anexo 4 AM 097-A
		18/12/2018-19/12/2018				<125	
		13/05/2020-14/05/2020				<125	
	San Gerardo	26/09/2018-27/09/2018				<125	
		17/12/2018-18/12/2018				<125	
		12/05/2020-13/05/2020				<125	
	Rampa	29/12/2018-30/12/2018				<125	
		10/05/2020-11/05/2020				<125	
	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Zona de explotación				24/02/2015-25/02/2015	
29/06/2016-30/06/2016			<125				
20/12/2016-21/12/2016			<125				
19/06/2017-20/06/2017			<125				
28/12/2017-29/12/2017			<125				
28/06/2018-29/06/2018			<125				
20/12/2018-21/12/2018			<125				
28/06/2019-29/06/2019			<125				
21/12/2019-22/12/2019			<125				
09/05/2019-10/05/2020			<125				
Campamento Pinos		24/02/2015-25/02/2015	<26.2				
		29/06/2016-30/06/2016	<125				
		20/12/2016-21/12/2016	<125				
		19/06/2017-20/06/2017	<125				
		28/12/2017-29/12/2017	<125				
		28/06/2018-29/06/2018	<125				
20/12/2018-21/12/2018	<125						
28/06/2019-29/06/2019	<125						

Parámetros	Punto de Muestreo	Fecha	Tipo	Unidad	Límites Máximos Permisibles	Valor Corregido (ug/m <sup>3</sup> )	Cumplimiento Anexo 4 AM 097-A					
		21/12/2019-22/12/2019				<125						
		09/05/2019-10/05/2020				<125						
	Chumblín	27/09/2018-28/09/2018				<125						
		18/12/2018-19/12/2018				<125						
		13/05/2020-14/05/2020				<125						
	San Gerardo	26/09/2018-27/09/2018				<125						
		17/12/2018-18/12/2018				<125						
		12/05/2020-13/05/2020				<125						
	Rampa	29/12/2018-30/12/2018				<125						
		10/05/2020-11/05/2020				<125						
	Ozono (O3)	Zona de explotación				24/02/2015-25/02/2015		Gas contaminante del aire ambiente	µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>	<49,1	Sí cumple con normativa ecuatoriana
						29/06/2016-30/06/2016					<98	
20/12/2016-21/12/2016			<98									
19/06/2017-20/06/2017			<98									
28/12/2017-29/12/2017			<98									
28/06/2018-29/06/2018			<98									
20/12/2018-21/12/2018			<98									
28/06/2019-29/06/2019			<98									
21/12/2019-22/12/2019			<98									
09/05/2019-10/05/2020			<98									
Campamento Pinos		24/02/2015-25/02/2015	<49,1									
		29/06/2016-30/06/2016	<98									
		20/12/2016-21/12/2016	<98									
		19/06/2017-20/06/2017	<98									
		28/12/2017-29/12/2017	<98									

Parámetros	Punto de Muestreo	Fecha	Tipo	Unidad	Límites Máximos Permisibles	Valor Corregido (ug/m <sup>3</sup> )	Cumplimiento Anexo 4 AM 097-A
		28/06/2018-29/06/2018				<98	
		20/12/2018-21/12/2018				<98	
		28/06/2019-29/06/2019				<98	
		21/12/2019-22/12/2019				<98	
		09/05/2019-10/05/2020				<98	
	Chumblín	27/09/2018-28/09/2018				<98	
		18/12/2018-19/12/2018				<98	
		13/05/2020-14/05/2020				<98	
	San Gerardo	26/09/2018-27/09/2018				<98	
		17/12/2018-18/12/2018				<98	
		12/05/2020-13/05/2020				<98	
	Rampa	29/12/2018-30/12/2018				<98	
		10/05/2020-11/05/2020				<98	
	Material particulado PM10	Zona de explotación				24/02/2015-25/02/2015	
29/06/2016-30/06/2016			<5				
20/12/2016-21/12/2016			<5				
19/06/2017-20/06/2017			<5				
28/12/2017-29/12/2017			8				
28/06/2018-29/06/2018			<5				
20/12/2018-21/12/2018			<5				
28/06/2019-29/06/2019			<42				
21/12/2019-22/12/2019			11				
09/05/2019-10/05/2020			16				
Campamento Pinos		24/02/2015-25/02/2015	23,35				
		29/06/2016-30/06/2016	<5				

Parámetros	Punto de Muestreo	Fecha	Tipo	Unidad	Límites Máximos Permisibles	Valor Corregido (ug/m <sup>3</sup> )	Cumplimiento Anexo 4 AM 097-A
		20/12/2016-21/12/2016			50 µg/m <sup>3</sup>	<5	Sí cumple con normativa ecuatoriana
		19/06/2017-20/06/2017				<5	
		28/12/2017-29/12/2017				<5	
		28/06/2018-29/06/2018				5	
		20/12/2018-21/12/2018				<5	
		28/06/2019-29/06/2019				<42	
		21/12/2019-22/12/2019				15	
		09/05/2019-10/05/2020				21	
	Chumblín	27/09/2018-28/09/2018				7,95	
		18/12/2018-19/12/2018				6,07	
		13/05/2020-14/05/2020				24	
	San Gerardo	26/09/2018-27/09/2018				21,15	
		17/12/2018-18/12/2018				8,18	
		12/05/2020-13/05/2020				27	
	Rampa	29/12/2018-30/12/2018				15	
		10/05/2020-11/05/2020				19	
Material particulado PM 2,5	Zona de explotación	24/02/2015-25/02/2015	Partículas contaminantes del aire ambiente	µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>	<7,37	Sí cumple con normativa ecuatoriana
		29/06/2016-30/06/2016				<5	
		20/12/2016-21/12/2016				<5	
		19/06/2017-20/06/2017				<5	
		28/12/2017-29/12/2017				5	
		28/06/2018-29/06/2018				<5	
		20/12/2018-21/12/2018				<5	
		28/06/2019-29/06/2019				<42	
		21/12/2019-22/12/2019				6	

Parámetros	Punto de Muestreo	Fecha	Tipo	Unidad	Límites Máximos Permisibles	Valor Corregido (ug/m <sup>3</sup> )	Cumplimiento Anexo 4 AM 097-A	
	Campamento Pinos	09/05/2019-10/05/2020				7		
		24/02/2015-25/02/2015				8,09		
		29/06/2016-30/06/2016				<5		
		20/12/2016-21/12/2016				<5		
		19/06/2017-20/06/2017				<5		
		28/12/2017-29/12/2017				9		
		28/06/2018-29/06/2018				<5		
		20/12/2018-21/12/2018				<5		
		28/06/2019-29/06/2019				<42		
		21/12/2019-22/12/2019				7		
		09/05/2019-10/05/2020				11		
		Chumblín	27/09/2018-28/09/2018				<5	
			18/12/2018-19/12/2018				<5	
	13/05/2020-14/05/2020					13		
	San Gerardo	26/09/2018-27/09/2018				7,65		
		17/12/2018-18/12/2018				<5		
		12/05/2020-13/05/2020				15		
	Rampa	29/12/2018-30/12/2018				8		
		10/05/2020-11/05/2020				8		

Fuente: Gruentec, reportes de laboratorio, 2015-2020. Acuerdo Ministerial 097-A MAE-noviembre de 2015  
 Elaboración: Danilo Mejía, agosto 2020

Página en blanco

#### **6.1.1.12.6 Conclusiones**

El muestreo fue puntual (durante 24 horas de muestreo) y sus resultados fueron comparados con los límites establecidos en el AM. 097-A en su Anexo 4, que señalan valores máximos permisibles para el muestreo. Los diferentes muestreos realizados en los cinco años de estudio resultaron en niveles por debajo de los límites establecidos en la normativa ecuatoriana para cada tipo de contaminante.

El muestreo realizado corresponde al estudio de una fase inicial en donde el área en estudio no tiene fuentes generadoras de contaminación, por lo tanto, la calidad del aire corresponde a la habitual de las áreas en evaluación.

#### **6.1.1.13 Hidrología y Calidad de Agua**

##### **6.1.1.13.1 Hidrología**

##### **Metodología**

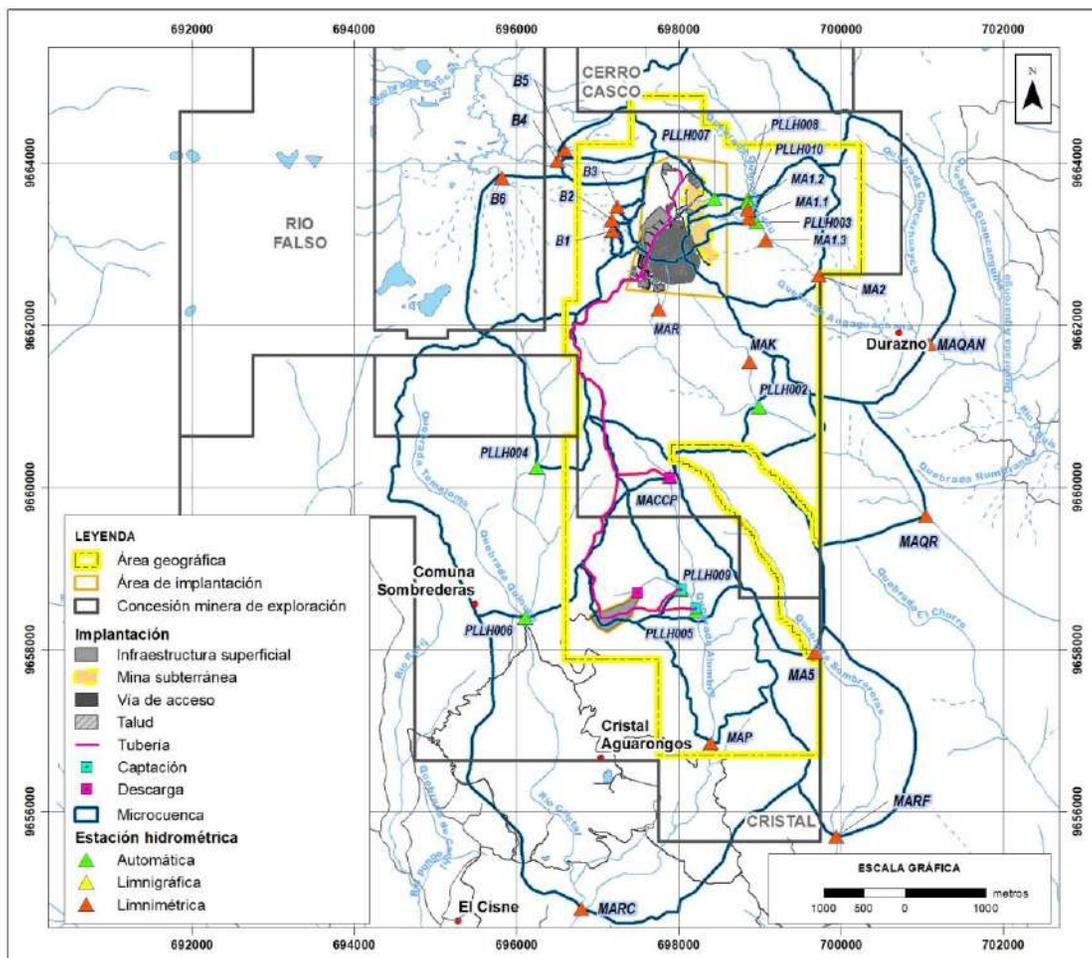
###### Selección de Unidades Hidrográficas

Para realizar el análisis de la hidrología superficial se seleccionaron unidades hidrográficas dentro del PLL que sean representativas de las condiciones hidrológicas locales y que cumplan una función de acuerdo con las necesidades del Proyecto, tales como la construcción de obras civiles (galerías, planta de tratamiento, presa de relaves, captación de agua, conducción de agua, desfogue de agua, entre otras) (estaciones de monitoreo PLLH002, PLLH003, PLLH005, PLLH007, PLLH008, PLLH009, PLLH010, B1, B2, B3, MA1.1, MA1.2, MA1.3, MAR, MAK, MACCP, MAQAN, MARC, MARF, MA5, B4, B5, B6) y el abastecimiento de los usos de agua a las comunidades aguas abajo, las zonas de conservación y terrenos comunitarios (estaciones de monitoreo, PLLH002, PLLH004, PLLH006, MAQR, MAR y MAP). Adicionalmente, se seleccionaron unidades hidrográficas ubicadas fuera del Proyecto y a mayor escala que permitan obtener una representación de la hidrología regional de los páramos en la región (estaciones de monitoreo de las redes hidrometeorológicas de ETAPA e INAMHI). Esto último, con el fin de poder comparar el régimen de caudales dentro del área geográfica con las condiciones hidrológicas regionales. La información de las unidades hidrográficas a escala regional, por lo tanto, fue utilizada para validar la representatividad de la dinámica hidrológica de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL. En ambos casos, las unidades hidrográficas seleccionadas estuvieron equipadas con estaciones de monitoreo de caudal (automáticas y manuales) que proporcionaron los datos necesarios para realizar los análisis hidrológicos y cuya selección se detalla en la siguiente sección.

###### Selección de Estaciones de Monitoreo

Dentro del informe de hidrología superficial para EsIA del PLL existen tres tipos de estaciones. Primero, estaciones de monitoreo de referencia del PLL, que poseen mediciones de caudal a escala diaria (o menor, por ejemplo, horaria) por un periodo no menor a un año de corrido; esto, con el fin de caracterizar los diferentes tipos de flujo que ocurren a lo largo del año hidrológico como resultado de variaciones temporales en el clima y la precipitación en el sitio o unidad de interés. Segundo, estaciones de monitoreo de control para el EsIA, que no tienen datos históricos (se midieron caudales con aforos diarios por alrededor de un mes y se rellenaron usando modelos hidrológicos) y están correlacionadas con las estaciones de monitoreo de referencia del PLL. Tercero, estaciones que se encuentren ubicadas en zonas aledañas al PLL fuera del área geográfica (escala regional), que son usadas como referencia del comportamiento hidrológico regional de la zona. Bajo estas condiciones, se seleccionaron 36 estaciones que cumplieron con los criterios antes expuestos. Estas correspondieron a nueve estaciones de referencia ubicadas dentro del área geográfica del PLL (Figura 6-92), diecinueve estaciones de control para el EsIA y ocho estaciones a escala regional (Figura 6-93). Las estaciones ubicadas dentro del área geográfica son de propiedad de la Compañía y del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca (iDRHICA). Para las estaciones de referencia históricas del PLL, que se ubican en

unidades hidrográficas dentro de las concesiones del PLL, se utilizó el código PLLH para su denominación (ver detalle de las características de las estaciones y sus unidades hidrográficas correspondientes en la Tabla 6-91). Para las estaciones de control, que no tienen datos históricos y fue necesario rellenar caudales para fines del EsIA, se usó el código de referencia en relación a la calidad de agua (B1, B2, B3, MA1.1, MA1.2, MA1.3, MAR, MAK, MAP, MA2, MACCP, MAQAN, MAQR, MARC, MARF, MA5, B4, B5, y B6). Por otro lado, las estaciones a escala regional son de propiedad del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA) (estaciones reconocidas y validadas por el INAMHI). Para la identificación de las estaciones regionales, dentro de este informe se utilizaron los códigos designados por cada una de estas instituciones. Esto es, H para las estaciones pertenecientes al INAMHI, y ETA para las estaciones pertenecientes a ETAPA (Figura 6-92).



**Figura 6-92 Estaciones de Monitoreo Seleccionadas para la Medición del Caudal dentro del PLL**

\* Para la ubicación de las estaciones de lluvia, remitirse al estudio de clima de este reporte (Sección 6.1.1.1).  
Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Cartografía del PLL, julio2020  
Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-14 Hidrológico)

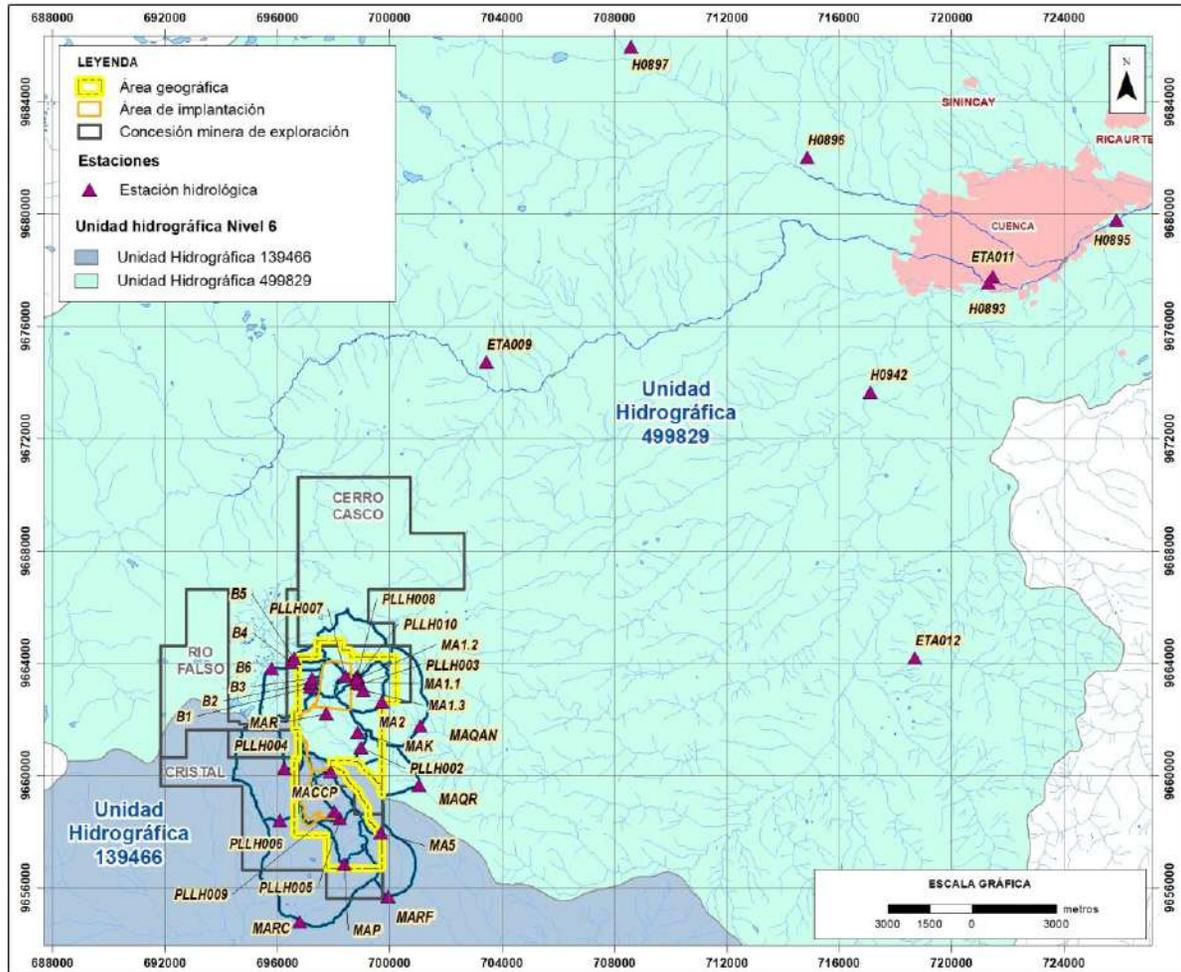
## Monitoreo y Control de Calidad de Datos de Caudal

### *Estaciones de Referencia del PLL*

La información histórica de caudal en el del PLL fue monitoreada continuamente a alta resolución temporal (entre 5-15 minutos) en las unidades hidrográficas Rumiguaycu (PLLH002), Quinuahuaycu (PLLH003, PLLH007, PLLH008 y PLLH010), Cristal (PLLH004 y PLLH006) y Alumbre (PLLH005, PLLH009) (Tabla 6-91). Esto, debido a que las estaciones de referencia de caudal dentro del PLL estuvieron conformadas por vertederos de concreto triangulares y rectangulares (Tabla 6-92 y Tabla 6-91) que ayudan a mejorar la precisión de las mediciones al tener una sección de control estable y sensores electrónicos (transductores de presión sumergidos) que permiten registrar automáticamente el nivel de agua que fluye sobre los vertederos a alta frecuencia temporal. El uso combinado de este tipo de infraestructura e instrumentación permite identificar de mejor manera la dinámica temporal del caudal, a diferencia del uso de aforos manuales bajo sección natural del río/quebrada.

La descarga de los datos de los sensores electrónicos se realizó quincenalmente, con el fin de que la memoria de estos no se llene y evitar pérdidas de datos. De igual forma, este periodo de descarga fue seleccionado para evitar la pérdida de datos por largos periodos de tiempo en caso de que alguno de los sensores utilizados presente un funcionamiento incorrecto. Adicionalmente, a pesar de la baja cantidad de sedimento producida por las unidades hidrográficas en los páramos de la región, durante las sesiones de descarga de datos se realizó la limpieza de sedimentos en los vertederos, de forma que las mediciones de nivel de agua no se vean afectadas por este factor.

Después de cada descarga, los datos de nivel de agua fueron sometidos a un exhaustivo control de calidad antes de ser incluidos en la base de datos. Este control de calidad incluyó la revisión de la dinámica del nivel de agua en relación a la lluvia registrada, que no existan vacíos de información en los registros y que no existan diferencias significativas entre el nivel de agua registrado con los datos del monitoreo previo y los niveles tomados a mano con un flexómetro al momento de la descarga. Cuando alguna de estas condiciones no se cumplió, se tomaron las medidas necesarias para solucionar los problemas presentados, las cuales incluyeron el cambio de las baterías de los sensores, el cambio de sensores defectuosos y la corrección de los datos registrados por cambios en la altura de instalación de los sensores y la respectiva revisión y corrección en campo. Estas medidas fueron adoptadas para asegurar una alta calidad de los datos utilizados en los análisis hidrológicos, detallados en la siguiente sección.



**Figura 6-93 Estaciones de Monitoreo Seleccionadas para la Medición del Caudal\***

Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo seleccionadas para la medición de caudal dentro de las unidades hidrográficas del Proyecto PLL y fuera de esta (escala regional).

\*Para la ubicación de las estaciones de lluvia, remitirse al estudio de clima de este reporte (sección 6.1.1.1)

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Cartografía del PLL, julio 2020  
 Elaboración: Giovanni Mosquera Patricio Lazo, julio 2020 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-14 Hidrología)

**Tabla 6-91 Información Sobre las Estaciones de Monitoreo Automáticas Seleccionadas para la Medición de Caudal dentro del PLL**

Código Punto	Nombre Estación	Cuerpo de Agua Principal	Unidad Hidrográfica	Coordenadas UTM			Sección de Control	Tipo de Sensor	Marca Sensor	Frecuencia de Registro (min)	Fuente de Información
				WGS84 Zona 17 Sur							
				Este (m)	Norte (m)	Altitud					
PLLH002	Calluancay	Quebrada Rumiguaycu	Rumiguaycu	698993	9660991	3594	Triangular	Transductor de presión	Global Water	15	INVMINEC
PLLH003	Quinuahuaycu	Quebrada Quinuahuaycu	Quinuahuaycu	698965	9663269	3607	Triangular	Transductor de presión	Global Water	15	INVMINEC
PLLH004	Zhurucay Alto	Quebrada S/N	Cristal	696255	9660242	3686	Triangular	Transductor de presión	INW	5	IDRHICA
PLLH005	Jordanita	Quebrada Alumbre	Alumbre	698224	9658478	3573	Triangular	Transductor de presión	Global Water	15	INVMINEC
PLLH006	Zhurucay Bajo	Quebrada Cristal	Cristal	696110	9658397	3514	Rectangular	Transductor de presión	INW	5	IDRHICA
PLLH007	D1 Bombas	Quebrada S/N	Quinuahuaycu	698442	9663560	3714	Triangular	Transductor de presión	Global Water	15	INVMINEC
PLLH008	D2	Quebrada Quinuahuaycu	Quinuahuaycu	698859	9663557	3628	Triangular	Transductor de presión	Global Water	15	INVMINEC
PLLH009	Cristal	Quebrada S/N	Alumbre	698030	9658736	3600	Triangular	Transductor de presión	Global Water	15	INVMINEC
PLLH010	D1	Quebrada S/N	Quinuahuaycu	698858	9663514	3625	Triangular	Transductor de presión	Global Water	15	INVMINEC

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (IDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019  
 Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

Página en blanco

**Tabla 6-92 Fotografías de los Vertederos Utilizados para Medir el Caudal en las Estaciones de Monitoreo de Referencia Ubicadas dentro del PLL**





Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, julio 2020  
Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

Los niveles de agua registrados y sometidos a control de calidad fueron subsecuentemente convertidos en caudal utilizando curvas de descarga (relación nivel de agua versus caudal). Dichas curvas se desarrollaron mediante el aforo de caudales con el método de dilución de sal (Moore, 2004). Este método fue escogido, ya que ha demostrado ser el mejor en el desarrollo de curvas de descarga para unidades hidrográficas en zonas montañosas (Kite, 1993), incluyendo la región de estudio (Gualpa, 2013). Los datos se presentan en unidades en m<sup>3</sup>/s.

#### *Estaciones de Control para el EsIA*

La información correspondiente a las estaciones de control para el EsIA fue obtenida mediante aforos (al no existir estructuras de control, como vertederos) en campo, ya que, como se mencionó anteriormente, no se cuenta con datos históricos. Estos aforos se realizaron durante abril y mayo de 2020 en los puntos B1, B2, B3, MA1.1, MA1.2, MA1.3, MA2, MAK, MAR, y MAP (Tabla 6-93), durante enero y febrero de 2021 en el punto MACCP, y durante octubre y noviembre de 2021 en los puntos MAQAN, MAQR, MARC, MARF, MA5, B4, B5, y B6 (Tabla 6-93). Los aforos se realizaron de manera diaria y/o dos veces al día (una en la mañana y otra en la tarde), cuando las condiciones logísticas lo permitieron. En este sentido, el número de aforos realizados en cada estación de control varía entre 53 y 66 para los puntos B1, B2, B3, MA1.1, MA1.2, MA1.3, MAK, MAR, MAP, y MACCP (Tabla 6-93), en MA2 se realizaron 12 aforos, mientras que los puntos MAQAN y MAQR cuentan con 30 aforos cada uno, y los puntos MARC, MARF, MA5, B4, B5, y B6 cuenta con 15 aforos. Las secciones en donde se realizaron los aforos fueron seleccionadas de tal manera que se facilite la ejecución del aforo según el método empleado, ya sea velocidad/superficie o volumétrico (Tabla 6-94).

**Tabla 6-93 Información sobre las Estaciones de Control Seleccionadas para la Medición de Caudal para el EsIA del PLL**

Nombre Estación	Cuerpo de Agua Principal	Unidad Hidrográfica	Coordenadas UTM			Tipo de Aforo	Periodo de Aforos	Número de Aforos Realizados
			WGS84 Zona 17 Sur					
			Este (m)	Norte (m)	Altitud			
B1	Quebrada Bermejos	Bermejos	697184	9663165	3799	Volumétrico	27/04/2020-31/05/2020	66
B2	Quebrada Bermejos	Bermejos	697175	9663303	3798	Volumétrico	27/04/2020-31/05/2020	64
B3	Quebrada Bermejos	Bermejos	697247	9663459	3804	Volumétrico	27/04/2020-31/05/2020	65

Nombre Estación	Cuerpo de Agua Principal	Unidad Hidrográfica	Coordenadas UTM			Tipo de Aforo	Periodo de Aforos	Número de Aforos Realizados
			WGS84 Zona 17 Sur					
			Este (m)	Norte (m)	Altitud			
MA1.1	Quebrada Quinuahuaycu	Quinuahuaycu	698852	9663430	3636	Volumétrico/ Velocidad superficie	27/04/2020- 27/05/2020	56
MA1.2	Quebrada Quinuahuaycu	Quinuahuaycu	698870	9663314	3630	Volumétrico/ Velocidad superficie	27/04/2020- 27/05/2020	56
MA1.3	Quebrada Quinuahuaycu	Quinuahuaycu	699076	9663047	3606	Volumétrico/ Velocidad superficie	27/04/2020 – 27/05/2020	57
MA2	Quebrada Quinuahuaycu	Quinuahuaycu	699731	9662615	3543	Velocidad superficie	19/05/2020 – 31/05/2020	12
MAK	Quebrada Rumiguaycu	Rumiguaycu	698881	9661549	3694	Volumétrico/ Velocidad superficie	27/04/2020 – 31/05/2020	65
MAR	Quebrada Rumiguaycu	Rumiguaycu	697761	9662197	3786	Volumétrico/ Velocidad superficie	27/04/2020 – 31/05/2020	65
MAP	Quebrada Alumbre	Alumbre	698399	9656848	3279	Volumétrico/ Velocidad superficie	27/04/2020 – 27/05/2020	53
MACCP	Quebrada Alumbre	Alumbre	697896	9660131	3748	Volumétrico/ Velocidad superficie	31/01/2021 – 28/02/2021	55
MAQAN	Quebrada Quinuahuaycu	Quinuahuaycu	701090	9661773	3351	Volumétrico/ Velocidad superficie	20/10/2021 – 03/11/2021	30
MAQR	Quebrada Rumiguaycu	Rumiguaycu	701052	9659652	3463	Volumétrico/ Velocidad superficie	20/10/2021 – 03/11/2021	30
MARC	Quebrada Cristal	Cristal	696807	9654800	2854	Volumétrico/ Velocidad superficie	20/10/2021 – 03/11/2021	15
MARF	Río Falso	Río Falso	699948	9655697	3271	Volumétrico/ Velocidad superficie	20/10/2021 – 03/11/2021	15
MA5	Río Falso	Río Falso	699687	9657969	3586	Volumétrico/ Velocidad superficie	20/10/2021 – 03/11/2021	15
B4	Quebrada Bermejós	Bermejós	696505	9664025	3764	Volumétrico/ Velocidad superficie	20/10/2021 – 03/11/2021	15
B5	Quebrada Bermejós	Bermejós	696601	9664162	3766	Volumétrico/ Velocidad superficie	20/10/2021 – 03/11/2021	15

Nombre Estación	Cuerpo de Agua Principal	Unidad Hidrográfica	Coordenadas UTM			Tipo de Aforo	Periodo de Aforos	Número de Aforos Realizados
			WGS84 Zona 17 Sur					
			Este (m)	Norte (m)	Altitud			
B6	Quebrada Bermejós	Bermejós	695820	9663820	3761	Volumétrico/ Velocidad superficie 20/10/2021 – 03/11/2021	15	

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, marzo 2022  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

**Tabla 6-94 Fotografías de los Puntos de Aforo Utilizados para Medir el Caudal en las Estaciones de Control para el EsIA Ubicadas dentro del PLL**







Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, marzo 2022  
Elaboración: Patricio Lazo Patricio Crespo, marzo 2022

Los métodos de aforo utilizados dependían de la sección y del volumen de caudal en el momento del aforo. De esta forma, se usaron dos: volumétrico y con molinete (Tabla 6-93), útiles para aforar caudales bajos y altos, respectivamente. La metodología de ambos sistemas se explica a continuación:

- > **Volumétrico:** Se lo realizó mediante el uso de un balde de volumen conocido y un cronómetro. El método consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse el balde con el agua que circula por la quebrada; luego, se divide el volumen del balde para el tiempo y se obtiene el caudal. Se realizó un mínimo de cinco repeticiones de la medición por aforo para obtener un promedio confiable.
- > **Velocidad superficie:** Para este método se utilizó el molinete Magna Rod de la marca Hyquest Solutions, el cual mide velocidad del agua y profundidad. El procedimiento de medición consiste en dividir la sección transversal en distancias conocidas, por ejemplo, cada 20 cm, y en cada punto de la sección transversal se mide profundidad y velocidad de agua. Con esta información se calcula el área de cada sección y se multiplica por la velocidad o promedio de las velocidades medidas del agua, con lo que se obtiene el caudal.

Todos estos aforos fueron utilizados para poder determinar las correlaciones existentes entre estaciones de monitoreo de referencia y las de control, con el fin de poder identificar la estación de control que mejor

permita realizar el relleno de los caudales, así también para tener un control de la calibración del modelo hidrológico y poder validar los resultados obtenidos en el estudio.

Estos caudales medidos fueron usados como referencia para estimar los caudales diarios, ya que, al no tener datos continuos, no es posible calcular los caudales diarios usando la misma metodología que las estaciones automáticas (promedio de datos de caudales cada 5 o 15 minutos). El relleno de los caudales se detalla en las siguientes secciones.

Adicionalmente, en campo se pudo identificar que las estaciones MA1.1 y MA1.2 constituyen una misma área de drenaje que se divide en estas dos quebradas; esto, debido a que un humedal y/o almohadilla que se encuentra en MA1.1 es la fuente de agua de MA1.2. En consecuencia, las dos estaciones representan una sola unidad hidrográfica, por lo que los resultados de caudal de ambas estaciones fueron sumados y considerados como una sola cuenca denominada MA1.1+1.2 para extensión y relleno de datos, y en el resto de los análisis hidrológicos.

### *Estaciones Regionales de ETAPA e INAMHI*

La información a escala regional corresponde a cinco estaciones de caudal ubicadas dentro de las unidades hidrográficas Yanuncay, Tomebamba y Tarqui de propiedad del INAMHI. Las características de dichas estaciones se muestran en la Tabla 6-95. El registro y tratamiento de esta información fue llevado a cabo directamente por el INAMHI, y la información fue adquirida por IAMGOLD para ser utilizada en este reporte (las facturas de adquisición de datos constan en el Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.12. Factura Información Hidrológica). Las mediciones de caudal se presentan a escala diaria en m<sup>3</sup>/s en base a dos aforos diarios de caudal. La información adicional a escala regional corresponde a la de tres estaciones de caudal de propiedad de ETAPA ubicadas dentro de las unidades hidrográficas de los ríos Yanuncay y Tarqui (Tabla 6-95). La información del INAMHI fue adquirida por IAMGOLD (las facturas constan en el Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.12. Factura Información Hidrológica). La información de ETAPA fue adquirida directamente a la empresa por parte del Ing. Patricio Moreno, que trabajó para IAMGOLD, la información en formato de anuarios hidrometeorológicos se encuentra grabada en una serie de varios CD-ROM editados por la empresa. El tratamiento de los datos fue realizado directamente por parte de ETAPA y la información estuvo disponible a escala diaria en m<sup>3</sup>/s.

Cabe recalcar que la información de caudal de las estaciones a escala regional se utilizó para evaluar la representatividad de la información de las unidades hidrográficas dentro del área geográfica en comparación con la hidrología regional. Para este fin, debido a que la información oficial del INAMHI y ETAPA estuvieron disponibles a escala diaria, los datos recolectados a mayor frecuencia temporal (subhoraria para las estaciones dentro del área geográfica) fueron convertidos a diarios para obtener una base de datos homogénea a una sola frecuencia temporal (diaria). Los datos subhorarios fueron convertidos a diarios utilizando el promedio de los caudales registrados durante cada día de monitoreo como el valor de caudal diario de las unidades hidrográficas.

Inicialmente, se realizó una revisión exhaustiva de los datos de caudal disponibles para todas las estaciones seleccionadas antes mencionadas con datos históricos. En la Figura 6-94 se presenta un inventario de los datos observados de caudal para cada una de ellas. Para las estaciones dentro del área geográfica PLLH001 a PLLH006 existieron datos observados a partir del 2006, mientras que para las estaciones PLLH007 a PLLH010 existieron datos observados desde 2017. Las estaciones regionales de propiedad del INAMHI (H0893, H0896, H0897, H0942, H0895) y ETAPA (ETA009, ETA011, ETA012) presentaron información para los periodos 1970-2015 y 1997-2009, respectivamente.

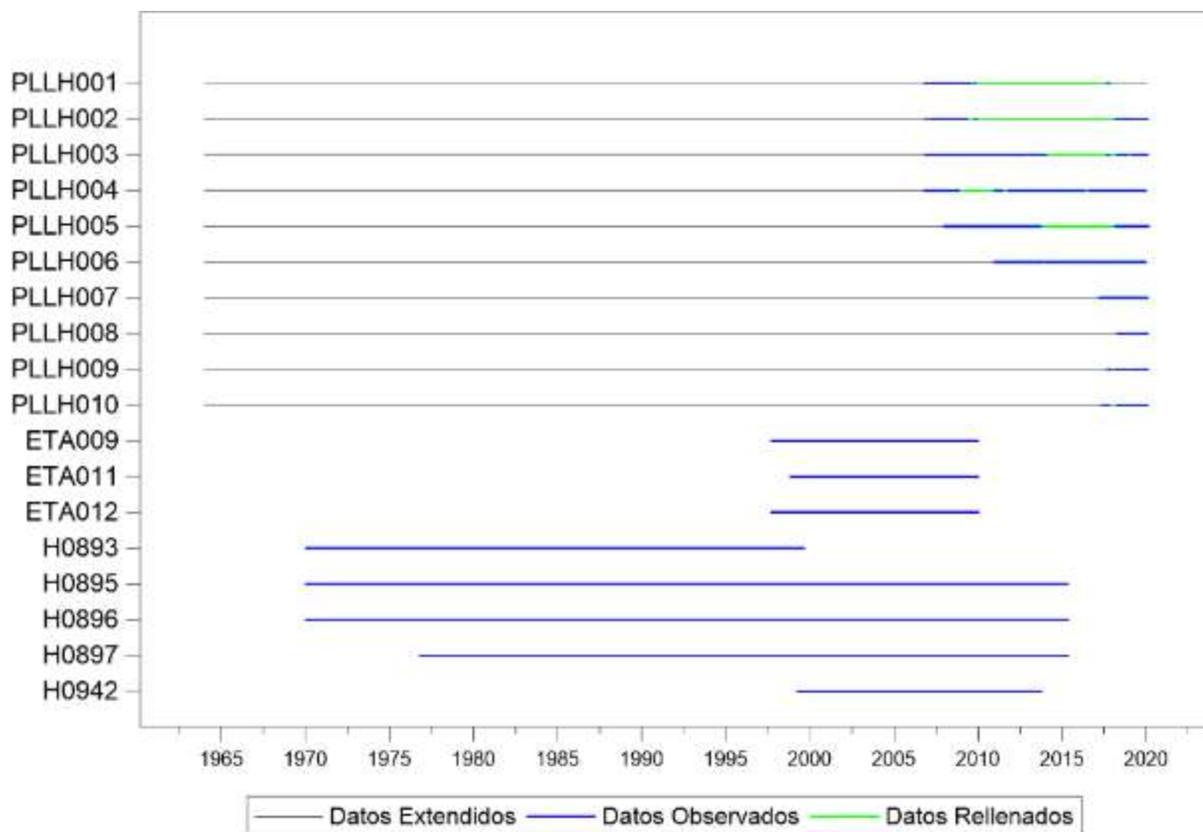
Página en blanco

**Tabla 6-95 Información sobre las Estaciones de Monitoreo Seleccionadas para la Medición de Caudal Fuera del PLL (escala regional)**

Código Punto	Nombre Estación	Cuerpo de Agua Principal	Unidad Hidrográfica	Coordenadas UTM			Tipo de Estación	Frecuencia de Registro (min)	Fuente de Información
				WGS84 Zona 17 Sur					
				Este (m)	Norte (m)	Altitud			
H0893	Yanuncay AJ Tarqui	Río Yanuncay	Yanuncay	721315	9677543	2500	Limnimétrica	Diaria	INAMHI
H0896	Matadero en Sayausí	Río Tomebamba	Tomebamba	714872	9682011	2602	Limnimétrica	Diaria	INAMHI
H0897	Surucucho AJ Llullucchas	Río Tomebamba	Tomebamba	708609	9685953	2565	Limnimétrica	Diaria	INAMHI
H0942	Tarqui DJ Shucay	Río Tarqui	Tarqui	717113	9673651	2510	Limnimétrica	Diaria	INAMHI
H0895	Tomebamba en Monay	Río Tomebamba	Tomebamba	725863	9679791	2353	Limnimétrica	Diaria	INAMHI
ETA009	Yanuncay en Pucán	Quebrada S/N	Yanuncay	703439	9674720	3044	Limnigráfica	Diaria	ETAPA
ETA011	Tarqui A.J. Yanuncay (3 puentes)	Río Yanuncay	Yanuncay	721475	9677760	2520	Limnigráfica	Diaria	ETAPA
ETA012	Tarqui D.J. Cumbe	Río Tarqui	Tarqui	718702	9664186	2622	Limnigráfica	Diaria	ETAPA

Fuente: INAMHI, Anuarios, 1970-2015; ETAPA, Anuarios, 1997-2009  
 Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

Página en blanco



**Figura 6-94 Inventario de los Datos Observados, Extendidos y Rellenados de las Estaciones de Caudal Seleccionadas Dentro y Fuera del PLL (escala regional)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; INAMHI, Anuarios, 1970-2015; ETAPA, Anuarios, 1997-2009  
Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

### Análisis de Datos

#### Extensión y Relleno de Series de Tiempo de Caudal para Estaciones de Referencia del PLL

Con el fin de obtener resultados robustos de los análisis hidrológicos de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del área geográfica utilizando datos de largo plazo (>10 años), se realizó una extensión y relleno de datos vacíos a las series de tiempo observadas. La extensión de datos se refiere a la ampliación de las series de tiempo más allá de los periodos de monitoreo desde y hasta cuando se tiene datos observados, mientras que el relleno se refiere a completar vacíos de información dentro de los periodos de monitoreo desde y hasta cuando se tiene observaciones disponibles. Esto se realizó para obtener series de tiempo completas y continuas para el periodo 1964-2019 para las estaciones de referencia del PLL. Este procedimiento fue realizado mediante el uso del modelo hidrológico HEC-HMS (Scharffenberg and Fleming, 2010) que, a nivel mundial, es uno de los más confiables para este fin por considerar la dinámica de la lluvia y las características de almacenamiento y regulación de agua de las unidades hidrográficas.

A continuación, se realiza una descripción del modelo y del procedimiento de modelación utilizado para la extensión y relleno de series de tiempo de caudal de las estaciones de monitoreo dentro del área geográfica. El modelo HEC-HMS, desarrollado por el cuerpo de ingenieros de las fuerzas armadas de los Estados Unidos, permite simular el comportamiento de unidades hidrográficas naturales basado en observaciones de precipitación y evapotranspiración de referencia. El modelo posee 4 módulos: 1) Modelo de la unidad hidrográfica, 2) Modelo meteorológico, 3) Especificaciones de control y 4) Datos de entrada.

En este estudio, las unidades hidrográficas fueron consideradas como modelos agregados independientes, sin conexión entre ellas. En el modelo meteorológico se proporciona al programa los datos observados de precipitación y la evapotranspiración potencial calculada previamente. En este caso, los datos de entrada corresponden a la lluvia observada y la evapotranspiración de referencia calculada en base a las observaciones de clima dentro del área geográfica, que fueron extendidas con alta confiabilidad para el periodo 1964-2019 utilizando información oficial del INAMHI, como se detalla en la sección 6.1.1.1 de este reporte. Los periodos de análisis se indican en las especificaciones de control y están determinados por los periodos en los cuales la información de datos de entrada se encuentra disponible. En los datos de entrada se introdujeron los valores diarios de precipitación, evapotranspiración de referencia y caudal. Dadas las condiciones físicas de las unidades hidrográficas en base a previas investigaciones científicas en la región de estudio (Correa et al., 2017; Mosquera et al., 2016a, 2015), se seleccionó el método de Contenido de la Humedad del Suelo (Bennett, 1998) para modelar el caudal. Esto, debido a que esta estructura de modelo ha sido previamente aplicada con éxito para simular el caudal en unidades hidrográficas de páramo, aledañas a la zona de estudio con similares características geomorfológicas (Cabrera-Balarezo et al., 2019).

Bajo estas condiciones, el modelo requirió de la calibración de los 17 parámetros de ajuste que se detallan en la Tabla 6-96. Previo a la calibración del modelo, estos parámetros fueron sometidos a un análisis de sensibilidad a partir de los valores de los parámetros que el modelo brinda por defecto para cada una de las unidades hidrográficas. Una vez realizado este análisis, se generaron 10 000 sets de valores aleatorios de los parámetros para determinar los valores que produjeron las mejores simulaciones del caudal total. Para la determinación de dichos valores, se utilizó el coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (E). Esta métrica estadística se seleccionó, ya que es la que más ampliamente se aplica a nivel mundial para la calibración de modelos hidrológicos y cuya ecuación es:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2}$$

Donde:

E es el coeficiente adimensional,

$Q_{si}$  es el caudal simulado en el día i ( $m^3/s$ ),

$Q_{oi}$  es el caudal observado en el día i ( $m^3/s$ ) y

$\bar{Q}_o$  es el promedio de los caudales observados durante el total de días (n) del periodo de análisis ( $m^3/s$ ).

Esta métrica evalúa el nivel de ajuste entre los caudales observados y los caudales simulados. Cuando  $E = 1$  la simulación es perfecta, esto significa que la varianza de errores es igual a cero; cuando  $E = 0$ , la simulación da como resultado valores semejantes al promedio de los caudales; y, cuando  $E < 0$ , indica que el promedio de los caudales es una mejor solución que la obtenida por el modelo.

Cabe resaltar que los resultados de la modelación hidrológica para las estaciones de monitoreo PLLH002 a PLLH006 para el periodo 1964-2017 se presentan en el reporte técnico sobre la hidrología regional del PLL (Halcondata, 2018) que se adjunta a este reporte (Anexo C, Respaldos Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.7 Halcon Data 2018). Tomando en cuenta que existieron más de dos años de datos observados para dichas estaciones de monitoreo, se utilizó al menos un año de datos para calibrar los parámetros del modelo y otro año de datos para validar los resultados de la calibración. En este reporte se realizó la extensión de los datos hasta 2020 para las estaciones de monitoreo PLLH002 a PLLH006. Dado que este reporte también incluye datos de cuatro nuevas estaciones ubicadas dentro del PLL (PLLH007 a PLLH010) que estuvieron en funcionamiento desde el 2017 y no fueron incluidas en el análisis del informe sobre la hidrología regional (Halcondata, 2018) (Anexo C, Respaldos Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.7 Halcon Data 2018), adicionalmente se extendieron y rellenaron las series de tiempo de las estaciones de

monitoreo PLLH007 a PLLH010 para el periodo 1964-2020 debido a que dichas estaciones forman parte de dos de las unidades hidrográficas situadas dentro del PLL, cuyas estaciones fueron previamente calibradas (PLLH003 y PLLH005, Figura 6-92). Para realizar el relleno de los datos de las nuevas estaciones de monitoreo, se utilizaron los mismos valores de los parámetros de las estaciones previamente calibradas. Esto, dado que las condiciones de cobertura vegetal, tipo y distribución de suelos y geología de las unidades hidrográficas principales (PLLH005 y PLLH003) y sus correspondientes subunidades son similares en la región de estudio (Mosquera et al., 2015). Por tal razón, se asumió que su dinámica hidrológica también es similar, lo que fue corroborado en la validación del modelo, cuyo análisis se presenta en las secciones posteriores de análisis de resultados.

**Tabla 6-96 Parámetros Usados para la Calibración del Modelo HEC-HMS**

	Parámetros	Condiciones Iniciales	Significado
<i>Canopy</i>	<i>Max Storage (mm)</i>	<i>Initial Storage (%)</i>	Almacenaje máximo, almacenaje inicial
<i>Surface</i>	<i>Max Storage (mm)</i>	<i>Initial Storage (%)</i>	Almacenaje máximo, almacenaje inicial
	<i>Max infiltration (mm/hr)</i>	<i>Soil (%)</i>	Infiltración máxima, suelo
	<i>Impervious (%)</i>	<i>Groundwater 1 (%)</i>	Zonas impermeables, agua subterránea 1
	<i>Soil Storage (mm)</i>		Almacenaje del suelo
	<i>Tension Storage (mm)</i>		Almacenaje en zona de tensión
	<i>Soil Percolation (mm/hr)</i>		Percolación del suelo
	<i>GW 1 Storage (m)</i>		Almacenaje en agua subterránea 1
	<i>GW 1 Percolation (mm/hr)</i>		Percolación en agua subterránea 1
	<i>GW 1 Coefficient (hr)</i>		Coefficiente en agua subterránea 1
	<i>GW 2 Storage (m)</i>		Almacenaje en agua subterránea 2
	<i>GW 2 Percolation (mm/hr)</i>		Percolación en agua subterránea 2
	<i>GW 2 Coefficient (hr)</i>		Coefficiente en agua subterránea 2
<i>Transform</i>	<i>Time of Concentration (hr)</i>		Tiempo de concentración
	<i>Storage Coefficient (hr)</i>		Coefficiente de almacenaje
<i>Baseflow</i>	<i>GW 1 Storage Coefficient (hr)</i>	<i>GW 1 Initial (%)</i>	Coefficiente de almacenaje en agua subterránea 1, cantidad inicial en agua subterránea 1
	<i>GW 2 Storage Coefficient (hr)</i>	<i>GW 1 Initial (%)</i>	Coefficiente de almacenaje en agua subterránea 2, cantidad inicial en agua subterránea 1

Fuente: Halcondata (Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.7 Halcon Data 2018), Reporte técnico: Actualización del estudio de hidrología regional para las cuencas de influencia del PLL, 2018  
Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

#### Relleno de Series de Tiempo de Caudal para Estaciones de Control para EsIA

Para rellenar las estaciones de control para el EsIA se utilizaron los aforos obtenidos durante abril y mayo de 2020 para los puntos B1, B2, B3, MA1.1, MA1.2, MA1.3, MA2, MAK, MAR, y MAP, febrero de 2021 para MACCP, y octubre-noviembre de 2021 los puntos MAQAN, MAQR, MARC, MARF, MA5, B4, B5, y B6. Se realizó una correlación entre los valores de caudal instantáneo medidos con los sensores automáticos (estaciones de referencia) y los aforos medidos (estaciones de control). Para cuantificar la correlación existente entre las estaciones de control con las estaciones de referencia, se utilizó el valor del r<sup>2</sup> de Pearson, el cual debía ser mayor a 0,6 para considerarse una buena correlación. De esta manera, se identificó las unidades hidrográficas (estaciones) con mayor correlación entre sí, y estas relaciones

fueron usadas para rellenar los caudales diarios. El relleno/extensión se hizo utilizando la misma metodología usada para el relleno y extensión de las estaciones de referencia, es decir, transfiriendo los parámetros del modelo (HEC-HMS previamente calibrado y validado) de la estación de referencia de mayor correlación a la estación de control. Esta metodología es posible realizarla debido a la gran cantidad de información existente en la zona, a la homogeneidad de las propiedades biofísicas de las unidades hidrográficas de la zona de estudio y a la alta correlación encontrada entre los caudales instantáneos. Los rellenos se realizaron en el periodo enero-2008 hasta mayo-2020, ya que los datos medidos de las estaciones de referencia se encuentran dentro de este periodo y no se quiso extrapolar los datos para reducir la incertidumbre en los caudales rellenados.

Adicionalmente y como un método alternativo de verificación para relleno de caudales, se utilizaron los caudales específicos de las cuencas de referencia con correlación para estimar los caudales de las estaciones de control, esto multiplicando los caudales específicos por el área de cada una de las unidades hidrográficas de control, a este método se le conoce como relación de áreas. Estos datos sirvieron para comparar con los obtenidos con la modelación hidrológica y validar de manera indirecta los resultados de ambos con los aforos realizados en las estaciones de control al graficar ambas series de tiempo en conjunto con los valores de los aforos durante el periodo descrito anteriormente, obteniendo valores instantáneos. En el caso de obtener valores de caudal similares usando las dos metodologías (modelo HEC-HMS y relación de áreas), se puede justificar la metodología usada. Sin embargo, de obtener valores similares (ver sección de resultados) se comparó las simulaciones con los valores instantáneos medidos en un corto periodo de tiempo, como mecanismo de verificar si los caudales rellenados mantienen valores semejantes y la misma dinámica hidrológica.

### Análisis Hidrológicos

Los análisis hidrológicos fueron realizados utilizando los datos de caudal diario extendidos y rellenados para el periodo 1964-2020 (sección. **Extensión y relleno de series de tiempo de caudal para estaciones de referencia del PLL**) para las estaciones de monitoreo PLLH002 a PLLH010 ubicadas dentro del área geográfica. De la misma forma, para las estaciones de control, los análisis se realizaron con los datos estimados en el periodo 2008 a 2020 (sección **Extensión y relleno de series de tiempo de caudal para estaciones de control para EsIA**). En todos los casos, estos periodos fueron mayores a 10 años, por lo que los resultados de los análisis hidrológicos pueden considerarse como representaciones hidrológicas de largo plazo de las unidades hidrográficas seleccionadas dentro del área geográfica. Para evaluar la hidrología superficial de dichas unidades se utilizaron los siguientes índices: 1) Caudal máximo, mínimo y promedio diario por mes; 2) Curvas de Estacionalidad; 3) Curva de duración de caudales; 4) Coeficiente de escorrentía; 5) Balance hídrico; 6) Caudales extremos mínimos; 7) Caudales extremos máximos; y 8) Caudales ecológicos. Cada uno de estos análisis hidrológicos se describe a continuación. Debido a la mayor incertidumbre en los análisis de las estaciones de control. Los análisis hidrológicos en las diferentes secciones se presentan por separado, pero usando la misma metodología.

### Caudal Máximo, Mínimo y Promedio Diario por Mes

Este análisis se realizó con el fin de evaluar la dinámica temporal del caudal de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL. El caudal promedio diario para cada mes fue estimado como el promedio de todos los días pertenecientes a cada mes para todos los años del periodo de estudio. Los resultados del análisis se muestran utilizando gráficos de cajas, los cuales representan la distribución del caudal promedio diario por mes. La caja representa los cuartiles 25, 50 (mediana) y 75, siendo los extremos de cada caja los valores máximos y mínimos. En las cajas también se muestra el valor promedio del caudal diario para cada mes. Adicionalmente, se calculó el caudal promedio anual.

### Curvas de Estacionalidad

Las curvas de estacionalidad fueron calculadas en base a los caudales medios mensuales de cada una de las estaciones del PLL, estas curvas permiten obtener información general acerca del comportamiento

estacional de los caudales de un río o quebrada (períodos de déficit y exceso). Para elaborar estas curvas se realizó un ranking del caudal medio mensual ordenado de mayor a menor dentro de cada mes, y se calculó su probabilidad de no excedencia de manera similar que en la curva de duración de caudales. Una vez obtenidas las probabilidades, se realizó un test de bondad de ajuste (Test Kolmogorov-Smirnov, K-S test) a la serie de datos de cada estación con el fin de determinar la mejor función de probabilidad que se ajuste a los datos asociados a cada mes. Las funciones de probabilidad utilizadas fueron la Normal, Log-Normal, Pearson, Gamma y Gumbel. Luego de aplicar el K-S test se encontró que la función que mejor se ajustó a los datos de las estaciones del PLL fue la Gamma, con la que se calcularon los caudales asociados a una probabilidad de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85% y 95% para cada mes del año.

### Curva de Duración de Caudales

La curva de duración de caudales indica el porcentaje del tiempo (probabilidad) durante el cual los caudales no han sido igualados o excedidos durante un determinado periodo de tiempo. Por ejemplo, para una determinada unidad hidrográfica, su caudal máximo tiene una probabilidad de no excedencia del 100 %, dado que no existen caudales mayores, y su caudal mínimo presenta una probabilidad de no excedencia de 0 %, ya que todos los caudales observados son mayores a dicho valor. Para determinar las curvas de duración, los datos de caudal fueron ordenados de mayor a menor y a cada valor se le asignó un porcentaje en relación al número total de datos disponibles. Una vez ordenados, su probabilidad de no ocurrencia fue calculada mediante la siguiente ecuación:

$$P_Q = 100 \times \left(1 - \frac{m}{n}\right)$$

Donde:

$P_Q$  representa la probabilidad de no excedencia (%),

$m$  es el ranking del caudal diario ordenado de mayor a menor dentro del periodo de análisis y

$n$  representa el número total de caudales diarios disponibles durante el periodo de análisis (Searcy, 1959).

Dado que la curva de duración representa la distribución de caudales de una determinada unidad hidrográfica y su capacidad de producción y regulación de agua, este análisis se realizó con el fin de determinar la representatividad de la dinámica hidrológica de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL en relación a la dinámica hidrológica regional. Para ello, este análisis también se realizó para las estaciones a escala regional utilizando todas las observaciones de caudal disponible durante los periodos que se detallan en la Figura 6-94. En este sentido, si las curvas de duración de caudales de las estaciones regionales abarcan las curvas de duración de caudales de las estaciones ubicadas dentro del PLL, se puede asumir que la dinámica hidrológica superficial del área geográfica es representativa de la hidrología regional. La comparación fue posible una vez que los caudales diarios en m<sup>3</sup>/s fueron convertidos en caudales específicos dividiéndolos para las áreas de drenaje de cada una de las unidades hidrográficas analizadas. Esta validación no se realizó con las estaciones de control, ya que no poseían datos históricos.

### Coefficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la precipitación anual que entra en una unidad hidrográfica y el caudal anual que sale de esta. Esta relación representa la fracción de precipitación que se convierte en caudal durante un año hidrológico. Esta fracción, por lo tanto, puede variar entre valores de 0 y 1 (o del 0 al 100 %), con valores bajos o cercanos a 0, indicando una baja producción de caudal, y con valores altos o cercanos a 1, indicando una alta producción de caudal. Para este análisis el caudal en m<sup>3</sup>/s de las estaciones de monitoreo en el área geográfica fue transformado a mm/día para que se encuentre en las mismas unidades que la precipitación. Los resultados del análisis se presentan utilizando gráficos de cajas, los cuales representan la distribución de los coeficientes de escorrentía anuales durante todo el periodo

de estudio para cada unidad hidrográfica. La caja representa los cuartiles 25, 50 (mediana) y 75, siendo los extremos de cada caja los valores máximos y mínimos.

### Balance Hídrico

El balance hídrico es la diferencia entre las entradas de agua en forma de precipitación (P), las salidas de agua en forma de caudal (Q) y evapotranspiración (ET), y los cambios en almacenamiento de agua (S) de una unidad hidrográfica en un determinado periodo de tiempo. Dado que las simulaciones de caudal para las unidades hidrográficas dentro del área geográfica se basaron en estimaciones de la evapotranspiración actual (ETa) y el almacenamiento de agua, dichas estimaciones del modelo hidrológico fueron utilizadas para calcular el balance hídrico de las unidades hidrográficas dentro del área geográfica. Esto, dado que recientemente se ha demostrado que el uso de modelos hidrológicos produce estimaciones robustas de la evapotranspiración del páramo en la región de estudio (Ochoa-Sánchez et al., 2019). Adicionalmente, se considera que las estimaciones de ETa y S resultantes del modelo hidrológico son confiables, en base a que las simulaciones de caudal para todas las estaciones mostraron una alta bondad de ajuste y confiabilidad de los resultados (sección **Relleno de series de tiempo de caudal para estaciones de control para EsIA**). Por lo tanto, el balance hídrico anual para cada una de las unidades hidrográficas se calculó utilizando los datos de las variables antes mencionadas convertidas a mm/d como:  $P-Q-ETa \pm S$ . El término de almacenamiento de agua S puede presentar un valor positivo o negativo, ya que las unidades hidrográficas pueden aumentar o disminuir el volumen de agua almacenado dependiendo de la variabilidad temporal de las condiciones climáticas a lo largo del año. Los resultados del análisis se presentan utilizando gráficos de cajas, los cuales representan los balances hídricos anuales durante todo el periodo de estudio para cada unidad hidrográfica. La caja representa los cuartiles 25, 50 (mediana) y 75, siendo los extremos de cada caja los valores máximos y mínimos.

### Caudales Extremos Mínimos

Para el análisis de los caudales extremos mínimos de las unidades hidrográficas, se siguieron las guías de la Organización Mundial de Meteorología (WMO) presentadas en el *Manual on Low-Flow Estimation and Prediction* (World Meteorological Organization, 2008) mediante un análisis de valores extremos. Como se indica en el manual, la práctica más común consiste en obtener el promedio de siete días de los caudales, y con esta serie se procede a realizar el análisis de valores extremos para determinar el caudal mínimo de siete días para un periodo de retorno de 10 años. Este índice se denomina como 7Q10, y fue estimado para los caudales mínimos mensuales y anuales para cada una de las estaciones de monitoreo. Para el cómputo del caudal 7Q10 se usó el paquete "lfstat" (*Calculation of Low Flow Statistics for Daily Stream Flow Data*) del software R (Koffler et al., 2016). Se utilizó la distribución Weibull (recomendada por la WMO para caudales bajos), que es la que mejor se ajustó a los datos.

### Caudales Extremos Máximos

Este análisis se realizó para cada una de las unidades hidrográficas utilizando los caudales diarios máximos de cada año durante el periodo de estudio. Se utilizó la distribución GEV (*Generalized Extreme Value*) para ajustar los valores máximos utilizando la librería extRemes de R (Gilleland, 2019). Dicha distribución fue empleada para calcular los caudales para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años y sus intervalos de confianza del 95 %.

### Caudales Ecológicos

El caudal ecológico para cada una de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL fue calculado en base al Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua de la República del Ecuador (Decreto Ejecutivo 650, 2015). Dicho reglamento establece que el caudal ecológico de una unidad hidrográfica debe ser estimado como el 10 % del caudal medio mensual multianual del régimen natural de la fuente, determinado en función de los datos hidrológicos de al menos 10 años. Esto último se cumple

para las unidades hidrográficas de estudio cuyas series de tiempo de caudal corresponden a periodos mayores a 10 años.

## Análisis de Resultados

### Características de las Unidades Hidrográficas

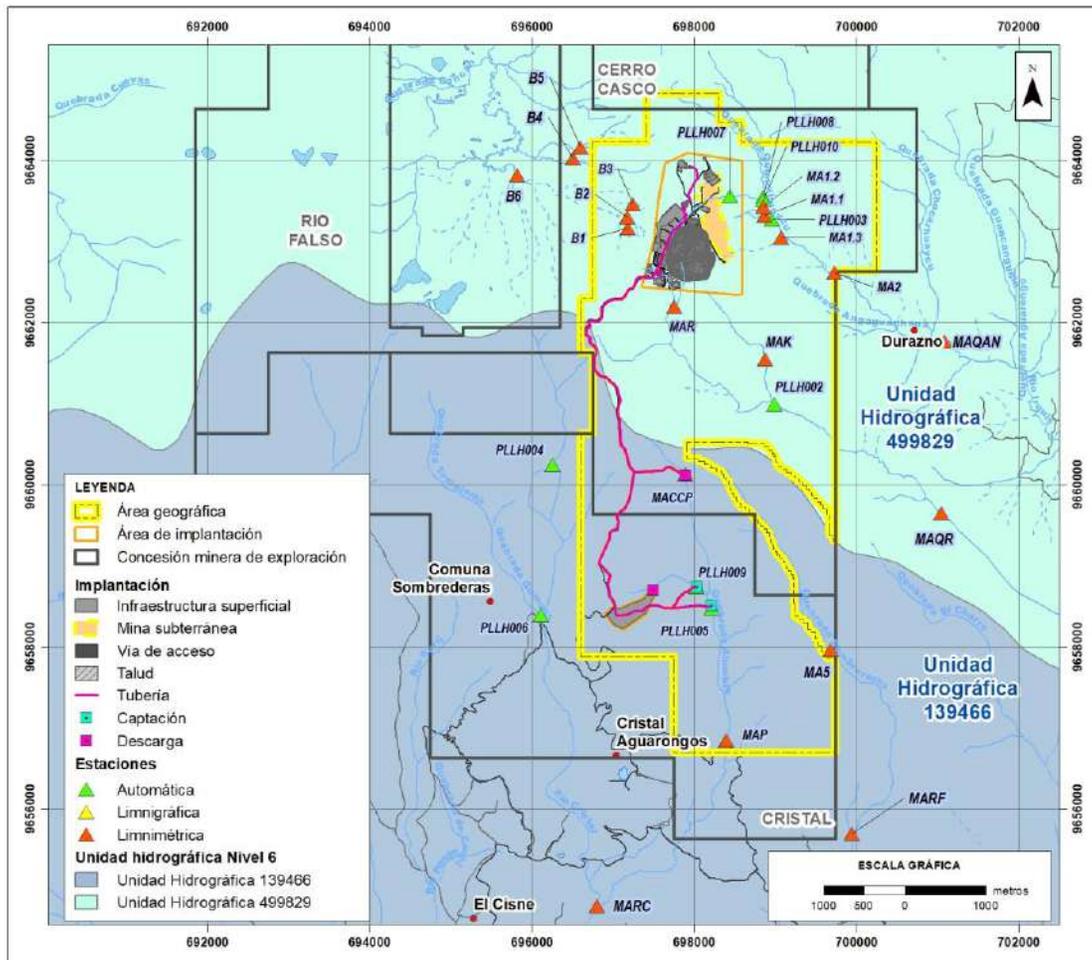
En función de lo que establece el Acuerdo No. 2017-0023 suscrito por la entonces Secretaría Nacional de Agua (SENAGUA), el 31 de julio de 2017, fecha desde la cual se encuentra en vigencia, y publicado en la E. E. No. 136 del R. O. el 15 de noviembre de 2017, respecto a la "Legalización, difusión e implementación de la división hidrográfica del Ecuador, para los niveles 5 y 6 a nivel nacional y nivel 7 para la vertiente del Amazonas a la escala 1: 50 000, con el Método Pfafstetter", con el fin de actualizar la división hidrográfica nacional, que se venía manejando desde 2011 con una primera aplicación del Método Pfafstetter. En el área del PLL, las unidades hidrográficas a nivel 6, publicadas en el Mapa Interactivo Ambiental por el Ministerio del Ambiente y Agua, 2020, se encuentran ampliamente extendidas, por lo que se ha utilizado esta información de base acoplado las unidades hidrográficas o microcuencas del PLL, que poseen una red de puntos de monitoreo con un amplio rango espacial y temporal de información a nivel de hidrología y calidad del agua; información que se detalla en la Tabla 6-97 y Figura 6-95.

**Tabla 6-97 Unidades Hidrográficas**

Vertiente	Unidad Hidrográfica Nivel 6 (Pfafstetter)	Unidades Hidrográficas o Microcuencas (INVMINEC)			
	Unidad Hidrográfica	Unidad Hidrográfica	Cuerpo de Agua Principal	Nombre de Estaciones Hidrología	Nombre de Estaciones Calidad del Agua
Vertiente del Atlántico	Unidad Hidrográfica 499829	B1	Quebrada S/N	B1	B1
		B2	Quebrada S/N	B2	B2
		B3	Quebrada S/N	B3	B3
		B4	Quebrada S/N	B4	B4
		B5	Quebrada S/N	B5	B5
		Bermejitos	Río Bermejitos	B6	B6
		Quinahuayco	Quebrada Quinahuaycu	Quinahuayco, MA1.1, MA1.2	MA1, MA1.1, MA1.2, QUIV
		D2	Quebrada Quinahuaycu	D2	MAQA
		D1 Bombas	Quebrada S/N	D1 Bombas	MACHT
		D1	Quebrada S/N	D1	-
		Calluancay	Quebrada Rumiguaycu	Calluancay, MAK, MAR	MA3, MAK, MAR
		MA2	Río Quinahuaycu	MA2, MA1.3, MAQAN	MA1.3, MA2, MAQAN
		Rumiguaycu	Quebrada Rumiguaycu	-	MA4
		Portete		Río Portete	MAQR
		-	Quebrada S/N	* Yanuncay en Pucán	-

Vertiente	Unidad Hidrográfica Nivel 6 (Pfafstetter)	Unidades Hidrográficas o Microcuencas (INVMINEC)			
	Unidad Hidrográfica	Unidad Hidrográfica	Cuerpo de Agua Principal	Nombre de Estaciones Hidrología	Nombre de Estaciones Calidad del Agua
		-	Río Yanuncay	* Tarqui A.J. Yanuncay (3 puentes)	-
		-	Río Tarqui	* Tarqui D.J. Cumbe	-
		-	Río Yanuncay	* Yanuncay AJ Tarqui	-
		-	Tomebamba en Monay	* Río Tomebamba	-
		-	Matadero en Sayausí	* Río Tomebamba	-
		-	Surucucho AJ Lullucchas	* Río Tomebamba	-
		-	Tarqui DJ Shucay	* Río Tarqui	-
Vertiente del Pacífico	Unidad Hidrográfica 139466	Jordanita	Quebrada Alumbre	Jordanita	JOR
		MACCP	Quebrada Alumbre	MACCP	MACCP
		Cristal	Quebrada S/N	Cristal	MA7
		Zhurucay Bajo	Río Cristal	Zhurucay Bajo	MAZH, MAZHA, TAS
		Zhurucay Alto	Quebrada S/N	Zhurucay Alto	-
		MAP	Quebrada Alumbre	MAP	MAP
		Río Falso	Río Falso	MARF, MA5	MARF, MA5
		MARC	Río Cristal	MARC	MARC
* Estaciones a escala regional que se utilizó para evaluar la representatividad de la información de las unidades hidrográficas en comparación con la hidrología regional.					

Fuente: Acuerdo No. 2017-0023, 2017; INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2020  
Elaboración: Entrix, marzo 2022



**Figura 6-95 Unidades Hidrográficas**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, julio 2020

Elaboración: Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-14 Hidrológico)

Con el fin de caracterizar toda el área donde se prevé intervención debido a la ejecución del Proyecto, se establecieron los niveles de las unidades hidrográficas que se encuentran en el área geográfica. En tal sentido, se determinó que el área del Proyecto se enmarca dentro de dos unidades (nivel 6), que son la unidad hidrográfica 499829 del río Paute y la unidad hidrográfica 139466 río Tomebamba (Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-14 Hidrológico).

Página en blanco

**Tabla 6-98 Niveles de las Unidades Hidrográficas del Área Geográfica.**

Nivel_1	Nombre	Nivel_2	Nombre	Nivel_3	Nombre	Nivel_4	Nombre	Nivel_5	Nombre	Nivel_6	Nombre
1	Región hidrográfica 1	13	Unidad hidrográfica 13	139	Unidad hidrográfica 139	1394	Cuenca río Jubones	13946	Cuenca río Rircay	139466	Unidad hidrográfica 139466
4	Cuenca río Amazonas	49	Unidad hidrográfica 49	499	Unidad hidrográfica 499	4998	Cuenca río Zamora	49982	Cuenca río Paute	499829	Unidad hidrográfica 499829

Fuente: Ministerio de Ambiente y Agua, Unidades Hidrográficas Nivel 6, escala 1:50.000, 2020  
Elaboración: Entrix, julio 2020

#### Características Físicas de las Unidades Hidrográficas

Las principales características físicas de las dos unidades hidrográficas a ser analizadas en el presente Proyecto, son: orden, área, perímetro, longitud del cauce principal, longitud media del cauce principal, longitud total de los cauces secundarios, pendiente del cauce, dirección del drenaje, factor de forma, coeficiente de compacidad, densidad de drenaje y sinuosidad.

**Tabla 6-99 Características Físicas de las Unidades Hidrográficas Analizadas**

Características	Unidad Hidrográfica 139466	Unidad Hidrográfica 499829
<b>Código (PHASTETTER)</b>	139466	499829
<b>Orden (N)</b>	6	6
<b>Área de la unidad hidrográfica (km<sup>2</sup>)</b>	313,48	1697,62
<b>Perímetro de la unidad hidrográfica (km)</b>	85,27	226,92
<b>Longitud del cauce principal (km)</b>	23,01	37,08
<b>Longitud media del cauce principal en línea recta (km)</b>	16,38	27,93
<b>Longitud total de los cauces secundarios (km)</b>	366,97	2399,74
<b>Pendiente del cauce principal</b>	7,48%	1,29%
<b>Dirección del drenaje</b>	NO-S	O-E

Fuente: Ministerio de Ambiente y Agua, Unidades Hidrográficas Nivel 6, escala 1:50.000, 2020  
Elaboración: Entrix, julio 2020

Página en blanco

Con estas características se puede determinar parámetros de forma de las cuencas por medio de índices o coeficientes que relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a estos movimientos. Las variables a calcular son: la forma de la microcuenca, con base en el coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) de Gravelius y al coeficiente de forma ( $K_f$ ) de Horton; la densidad de drenaje ( $D_d$ ) de la cuenca, con base en la longitud total de los cauces; y, la sinuosidad del cauce principal ( $S_i$ ), para lo cual se hará uso de las siguientes relaciones:

$$K_c = \frac{0,28 P}{A^{0,5}}$$

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

$$D_d = \frac{L_T}{A}$$

$$S_i = \frac{L}{L_m}$$

Donde:

A, área de la cuenca, km<sup>2</sup>

P, perímetro de la cuenca, km

L, longitud del cauce principal, km

$L_m$ , longitud del cauce principal medio en línea recta o curva, km

$L_T$ , longitud total de los cauces, km

En la siguiente tabla se presentan los resultados de dichos cálculos.

**Tabla 6-100 Parámetros de Forma de las Unidades Hidrográficas Analizadas**

Características	Unidad Hidrográfica 139466	Unidad Hidrográfica 499829
Factor de forma ( $K_f$ )	0,59	1,23
Coefficiente de compacidad ( $K_c$ )	1,35	1,54
Densidad de drenaje ( $D_d$ )	1,17	1,41
Sinuosidad ( $S_i$ )	1,40	1,33

Fuente y Elaboración: Entrix, julio 2020

Los valores del coeficiente de forma ( $K_f$ ) de las unidades hidrográficas analizadas son 0,59 (Unidad hidrográfica 139466), lo que significa que la cuenca tiene una forma ligeramente ensanchada, y 1,23 (Unidad hidrográfica 499829), que corresponde a una cuenca de forma redondeado en el desagüe (Sellers, Buján, Corbelle & Miranda, 2017).

Los valores del coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) de las unidades hidrográficas analizadas se registraron entre 1,35, que corresponde a la forma oval redonda a oval oblonga, y 1,54, lo que corresponde a la forma oval oblonga a rectangular oblonga (Sellers, Buján, Corbelle & Miranda, 2017).

Por otra parte, los valores de la densidad de drenaje ( $D_d$ ) indican que la cuenca interfluvios presenta valores entre 1,17 a 1,41 km/km<sup>2</sup>, siendo cuencas de densidad moderada de drenaje (Sellers, Buján, Corbelle & Miranda, 2017).

Los cauces principales de las unidades hidrográficas analizadas registran valores de sinuosidad ( $S_i$ ) de 1,40 y 1,33.

### Extensión y Relleno de Series de Tiempo de Caudal para Estaciones de Referencia del PLL

Los resultados de las simulaciones del caudal total se presentan en la Tabla 6-96, y los valores de los 17 parámetros del modelo HEC-HMS, calibrados para las estaciones de monitoreo PLLH001 a PLLH006, se presentan en la sección 3.4.3.1 del reporte de hidrología regional del PLL (Halcondata, 2018) (Anexo C, Respaldos Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.7 Halcon Data 2018). Los valores de E obtenidos durante la calibración del modelo variaron entre 0,40 y 0,74, con un valor promedio de 0,65 para todas las estaciones de monitoreo. Estos valores concuerdan con los obtenidos en la simulación de caudal de una cuenca de páramo en una zona aledaña al sitio de estudio (Cabrera-Balarezo et al., 2019). Estos valores positivos y cercanos a 1 indican que el ajuste del caudal total simulado por el modelo fue aceptable en todas las unidades hidrográficas analizadas. Una inspección visual de los resultados de las simulaciones durante el periodo de calibración para una de las unidades hidrográficas de estudio (Figura 6-96) indicó que el modelo fue capaz de simular correctamente su dinámica hidrológica respaldando los resultados de la evaluación estadística. Se hallaron similares resultados para todas las unidades hidrográficas dentro del PLL, y los gráficos de las simulaciones de caudal se presentan en las Figuras 1S a 8S del Anexo C. Respaldos Línea Base, C.1.13 Información hidrológica complementaria.

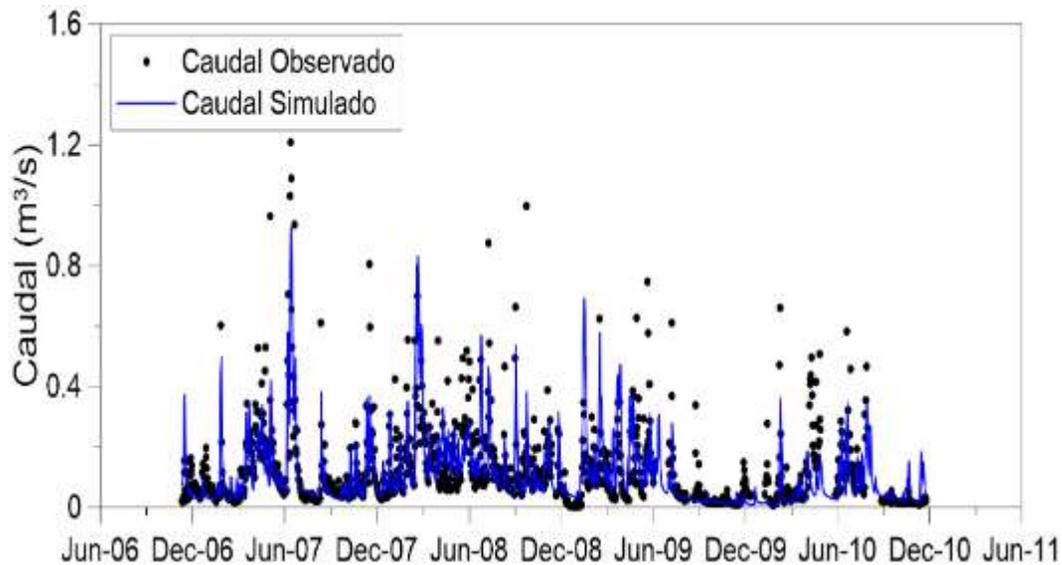
Cabe recalcar que los caudales de las cuencas PLLH007 a PLLH010, que fueron simulados usando los parámetros obtenidos de calibración de las estaciones PLLH003 y PLLH005, presentaron valores de E mayores a 0,71 (Tabla 6-101). Estos resultados indican que en el área geográfica existe un alto grado de similitud entre la dinámica hidrológica de las unidades hidrográficas principales y las subunidades que las conforman. Estos resultados no solo demuestran que el modelo hidrológico es capaz de simular exitosamente la dinámica hidrológica de las unidades hidrográficas en el área geográfica, como se ha reportado recientemente para otra cuenca de páramo en la región (Cabrera-Balarezo et al., 2019), sino que a su vez indican que la extensión y relleno de datos a través de este método proveen una alta confiabilidad. Por ello, las series de tiempo extendidas para el periodo 1964-2019 fueron utilizadas para los análisis hidrológicos que se detallan a continuación.

**Tabla 6-101 Coeficientes de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E) Obtenido de las Calibraciones del Modelo HEC-HMS\***

Estación de Monitoreo	E
PLLH002	0,67
PLLH003	0,40
PLLH004	0,56
PLLH005	0,61
PLLH006	0,61
PLLH007	0,73
PLLH008	0,71
PLLH009	0,74
PLLH010	0,73
*El coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E), obtenido de las calibraciones del Modelo HEC-HMS* es para simular el caudal total para todas de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del PLL	

Fuente: Halcondata (Anexo C. Respaldos de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.7 Halcon Data 2018), Reporte técnico: Actualización del estudio de hidrología regional para las cuencas de influencia del PLL, 2018; Simulación de caudales de este estudio

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, 2020

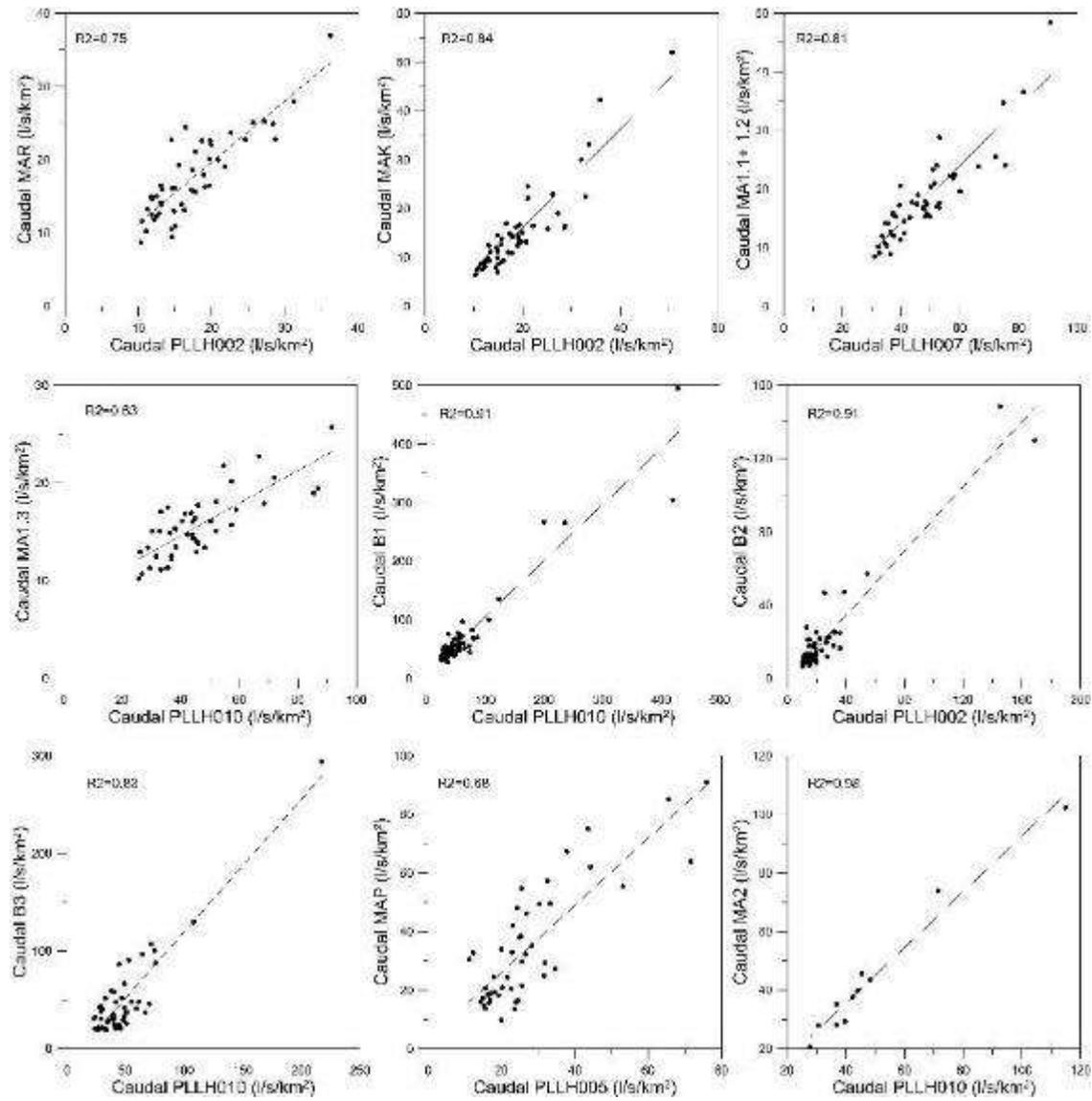


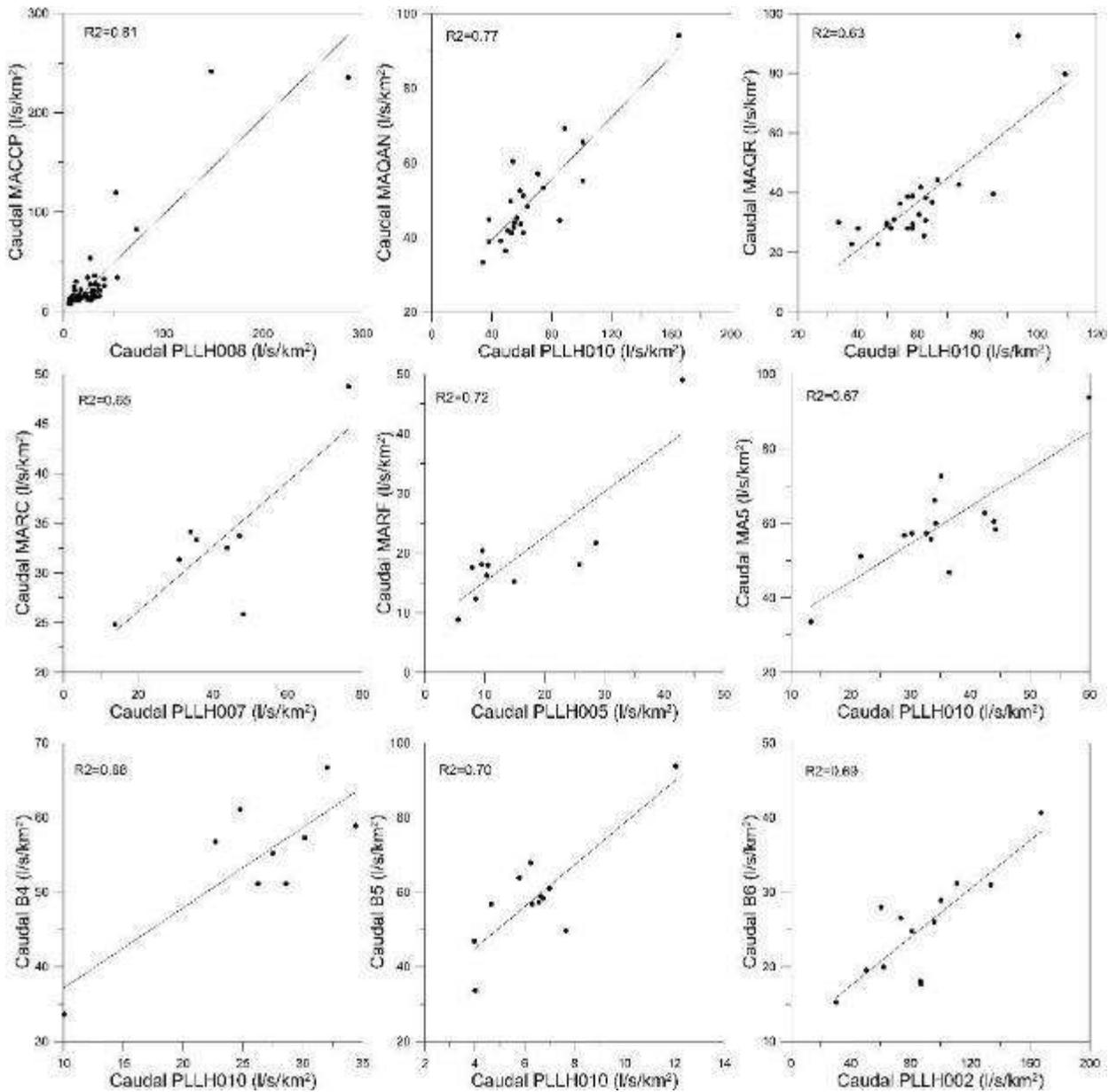
**Figura 6-96 Caudal Observado y Simulado de la Estación de Monitoreo PLLH003 Ubicada dentro del PLL**

Fuente: Halcondata (Anexo C. Respaldos de Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.7 Halcon Data 2018), Reporte técnico: Actualización del estudio de hidrología regional para las cuencas de influencia del PLL, 2018  
Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

#### Extensión y Relleno de Series de Tiempo de Caudal para Estaciones de Control para EsIA

La extensión y relleno de series de tiempo de caudal a escala diaria se logró gracias a las correlaciones encontradas para todas las estaciones de control. La Figura 6-97 muestra las mejores correlaciones encontradas en caudales específicos instantáneos para cada estación con su respectivo valor de  $r^2$ , el cual oscila entre 0,63 y 0,98, todos por encima del valor mínimo de 0,6 (sección **Relleno de series de tiempo de caudal para estaciones de control para EsIA**). Así, MAR, MAK, B6 y B2 tuvieron la mejor correlación con las estaciones PLLH002, MA1.3, MA2, B1, B3, MAQAN, MAQR, MA5, B4, y B5 con PLLH010, MA1,1+1,2 y MARC con PLLH007, MAP y MARF con PLLH005 y MACCP con PLLH008.





**Figura 6-97 Correlaciones Obtenidas para las Estaciones de Control para el EsIA y las Estaciones de Referencia dentro del PLL**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2020  
 Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

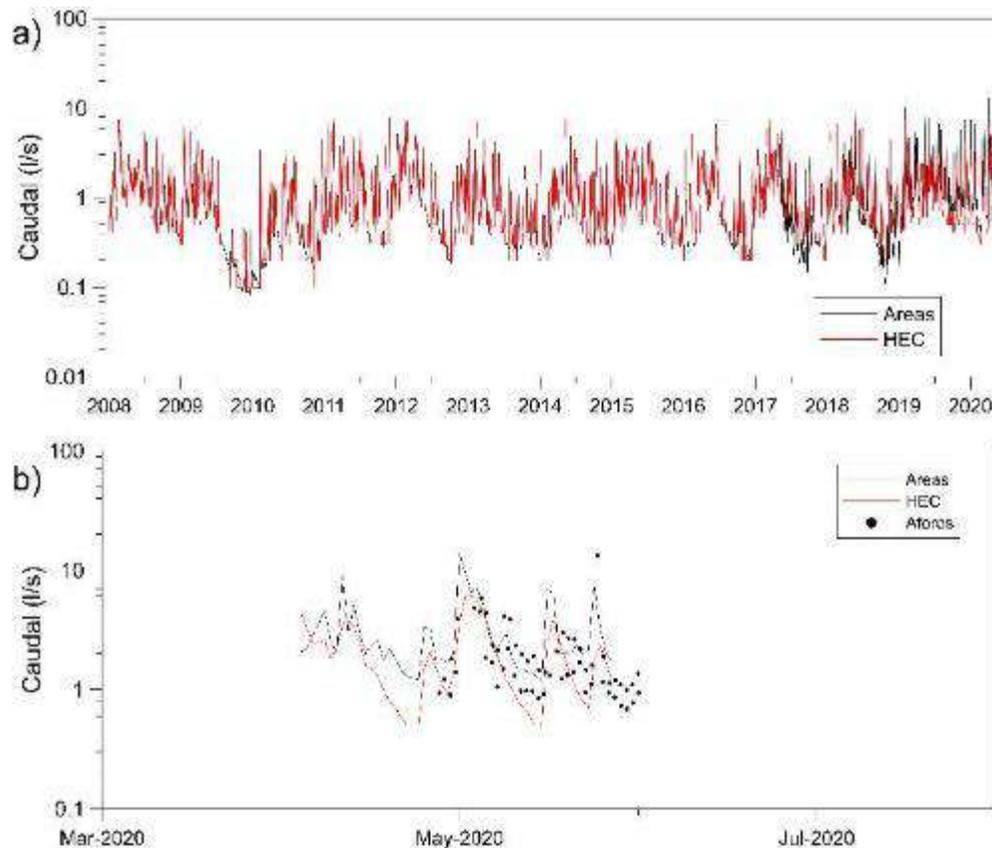
Con estas correlaciones, se procedió al relleno de las series de tiempo mediante los dos métodos antes descritos (Modelo hidrológico HEC-HMS y relación de áreas). Para el método de modelo hidrológico, los resultados de la modelación hidrológica se realizaron utilizando los parámetros de las estaciones correlacionadas, estimando los valores de caudales diarios en el periodo 2008-2020. Para el método de relación de áreas, se multiplicó el valor de caudal específico de las estaciones de referencia por el área de la estación correspondiente.

La Figura 6-98 (a) muestra la comparación de los resultados obtenidos mediante los dos métodos (áreas y HEC-HMS) durante el periodo de análisis (2008-2020) para la estación MA1,3. Se puede observar que

los valores de caudal de ambos métodos son muy similares, a excepción de ciertos periodos en el 2010, 2017 y 2018 en donde los caudales estimados con el método de áreas son menores. Sin embargo, en general, los valores de caudal se pueden considerar iguales, con lo que se puede tener una validación indirecta del relleno obtenido con el método de modelación hidrológica utilizando HEC-HMS.

Adicionalmente, se puede observar en la Figura 6-98 (b) que los valores de aforos instantáneos se encuentran cerca de los valores diarios estimados por ambos métodos, lo que apoya la conclusión de que los valores obtenidos con los dos métodos son correctos y válidos para el análisis hidrológico.

Este comportamiento se pudo observar con todas las estaciones de control para el EsIA, cuyos gráficos se muestran en las figuras 9S a 16S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria.



**Figura 6-98 a) Comparación del Relleno de Datos de Caudal Obtenido Mediante el Método de Áreas y la Modelación HEC-HMS para la Estación MA1.3, y b) Comparación del Relleno de Datos con los Aforos Instantáneos de Caudal en la Estación MA1.3**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

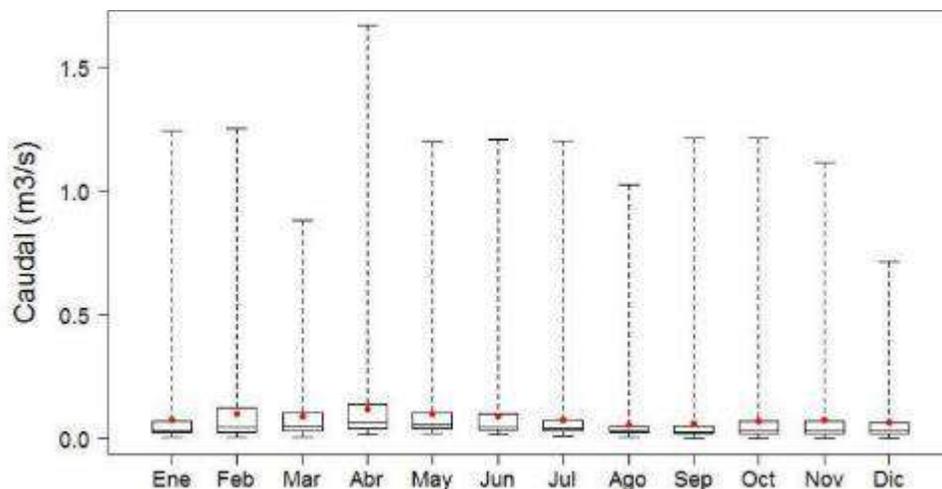
Después de realizada la validación del relleno de información, se concluye que, debido a que el modelo HEC-HMS representa de mejor manera la dinámica de las cuencas y que es un mejor método para este fin, los análisis hidrológicos posteriores se realizarán utilizando los datos rellenos con este método para todas las estaciones de control.

#### Caudal Máximo, Mínimo y Promedio Diario por Mes

En esta sección se describe la variabilidad temporal de los caudales promedios diarios para cada mes del año durante el periodo de estudio mediante el uso de gráficos de caja. Los datos utilizados para producir

las figuras y estimar los valores que se presentan a continuación se muestran en las Tablas 1S a 21S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria. En general, la dinámica mensual de caudal mostró una estacionalidad clara y similar entre todas las unidades hidrográficas dentro del Proyecto con los valores más altos producidos de enero a junio, y los más bajos en agosto y septiembre. A continuación, dicha dinámica se describe en detalle para cada una de las estaciones de monitoreo y control ubicadas dentro del PLL.

La Figura 6-99 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH002 perteneciente a la unidad hidrográfica Rumiguaycu (Tabla 6-91). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 1 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,25 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,06 y 0,12 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,08 m<sup>3</sup>/s.



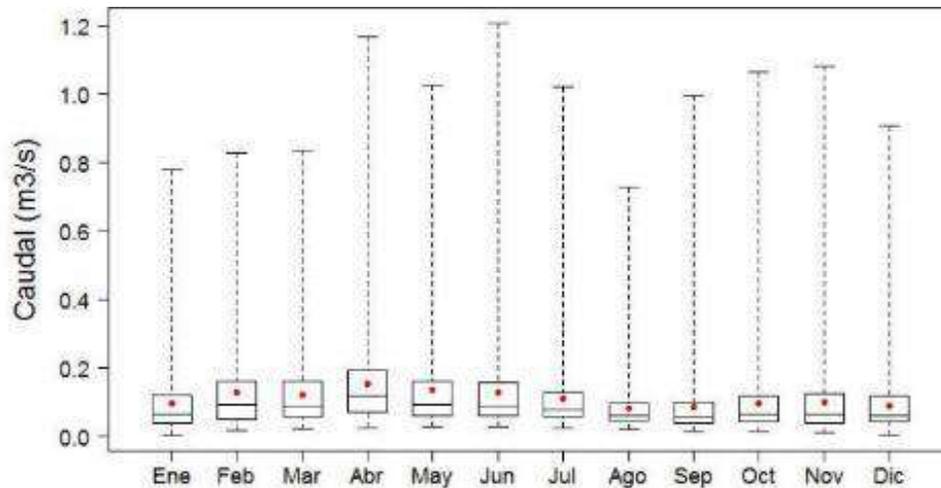
**Figura 6-99 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH002 durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-100 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH003 perteneciente a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu (Tabla 6-91). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 1 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,20 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,09 y 0,16 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,11 m<sup>3</sup>/s.



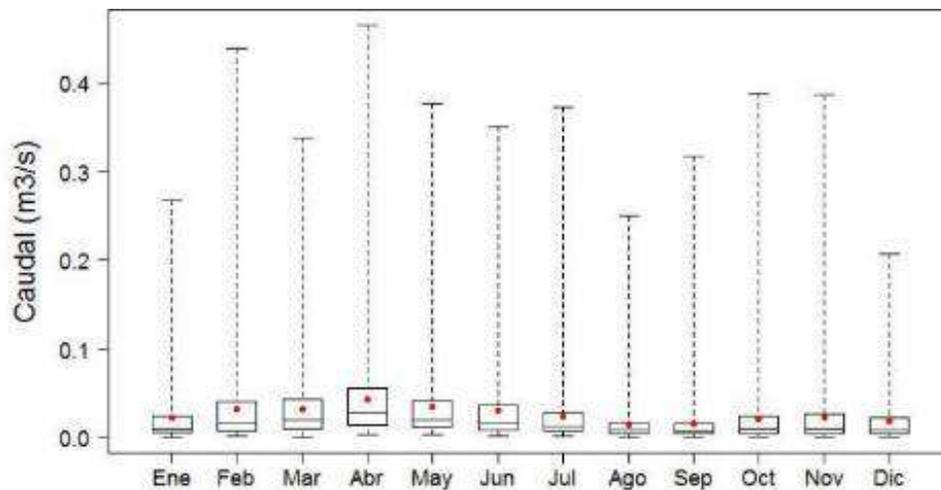
**Figura 6-100 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH003 durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-101 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH004 perteneciente a la unidad hidrográfica Cristal (Tabla 6-91). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,01$  y  $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ .



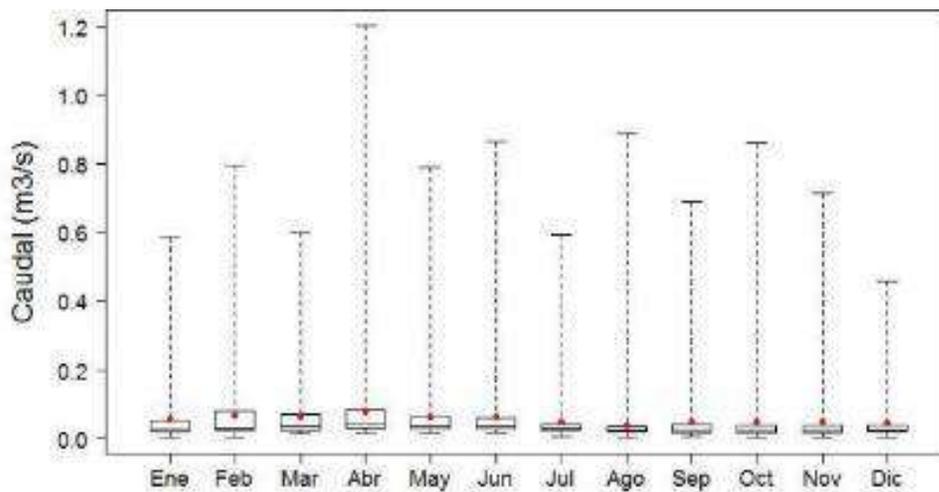
**Figura 6-101 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH004 durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-102 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH005 perteneciente a la unidad hidrográfica Alumbre (Tabla 6-91). Aunque los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, a diferencia de las estaciones de monitoreo PLLH001 a PLLH004, los valores más bajos se presentan de julio a diciembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 1 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,1 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,04 y 0,08 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,06 m<sup>3</sup>/s.



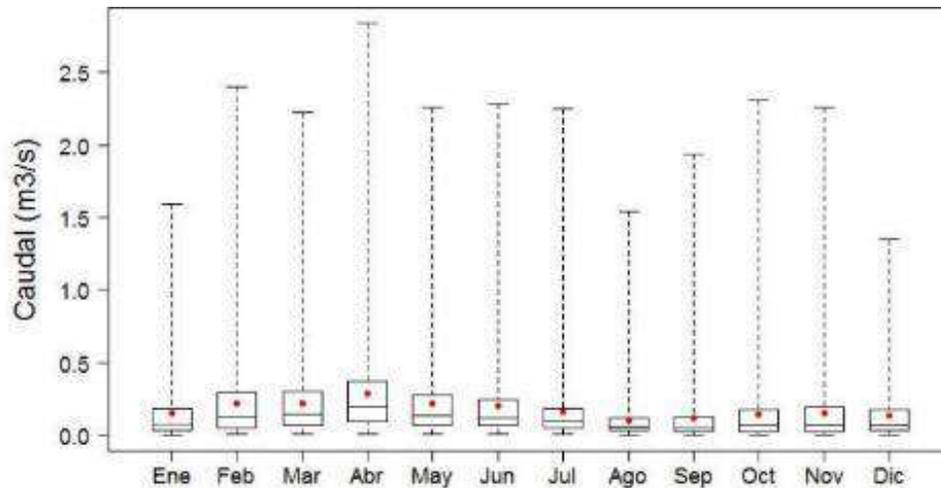
**Figura 6-102 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH005 durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-103 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH006 perteneciente a la unidad hidrográfica Cristal (Tabla 6-91). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 2 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,5 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,11 y 0,28 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,18 m<sup>3</sup>/s.



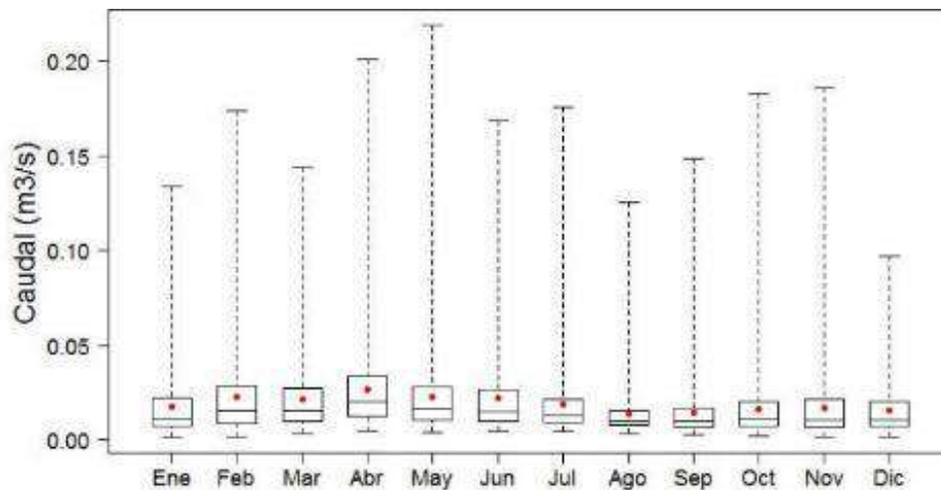
**Figura 6-103 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH006 Bajo durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-104 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH007 perteneciente a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu (Tabla 6-91). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,01$  y  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ .



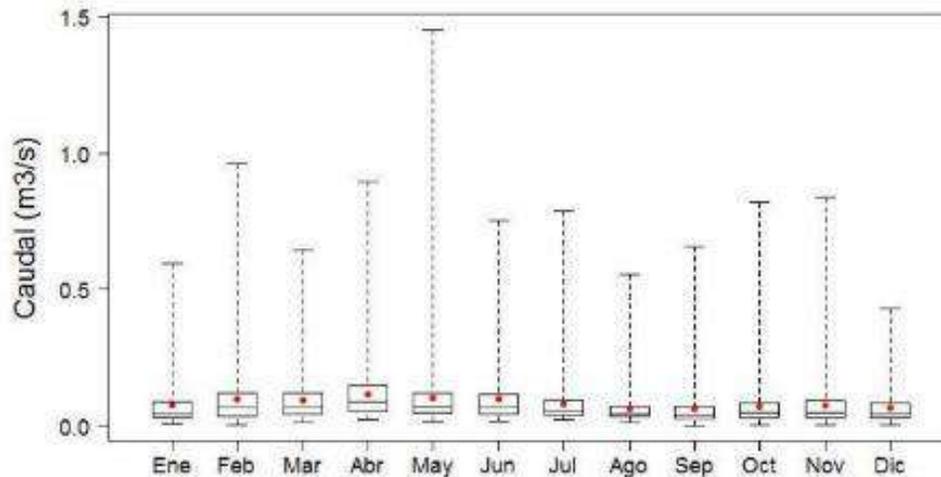
**Figura 6-104 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH007 durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-105 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH008 perteneciente a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu (Tabla 6-91). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 1 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,25 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,06 y 0,12 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,08 m<sup>3</sup>/s.



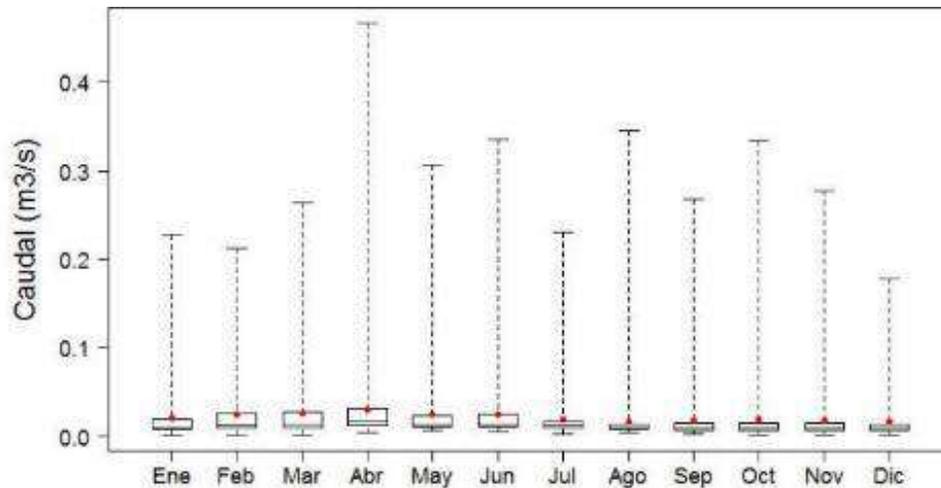
**Figura 6-105 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH008 durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-106 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH009 perteneciente a la unidad hidrográfica Alumbre (Tabla 6-91), de forma similar a la estación PLLH005, que pertenece a la misma unidad hidrográfica, aunque los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, los valores más bajos se dan de julio a diciembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 0,3 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,05 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,02 y 0,03 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,02 m<sup>3</sup>/s.



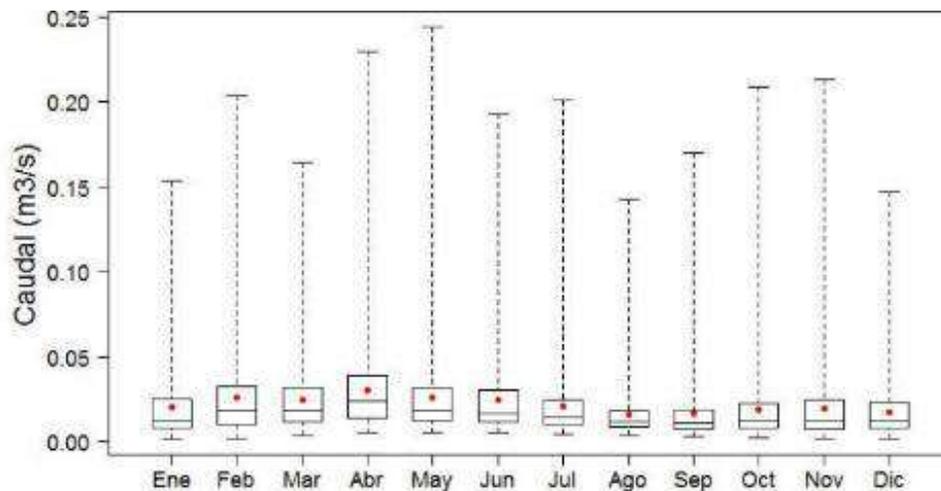
**Figura 6-106 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH009 durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-107 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de monitoreo PLLH010 perteneciente a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu (Tabla 6-91). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 0,20 m³/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,05 m³/s que, en promedio, varían entre 0,02 y 0,03 m³/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,02 m³/s.



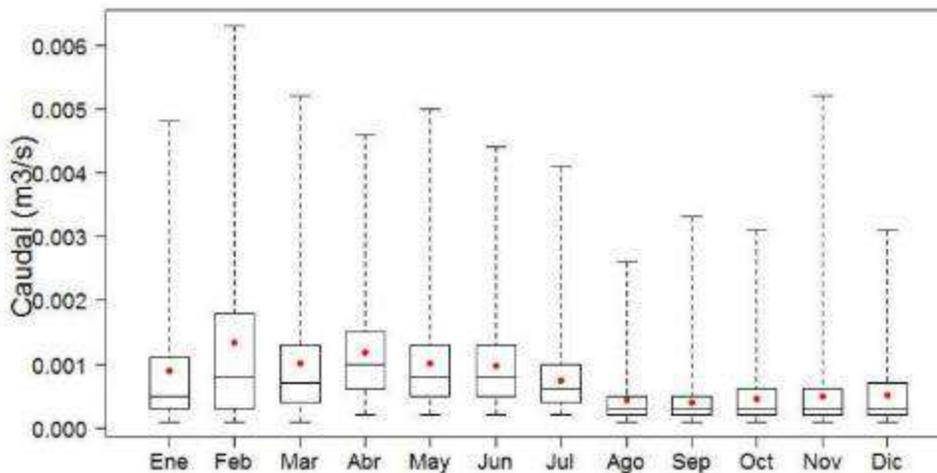
**Figura 6-107 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Monitoreo PLLH010 durante el Periodo 1964-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

La Figura 6-108 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control B1 perteneciente a la unidad hidrográfica Bermejós (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,006 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,0004$  y  $0,0013 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,00079 \text{ m}^3/\text{s}$ .



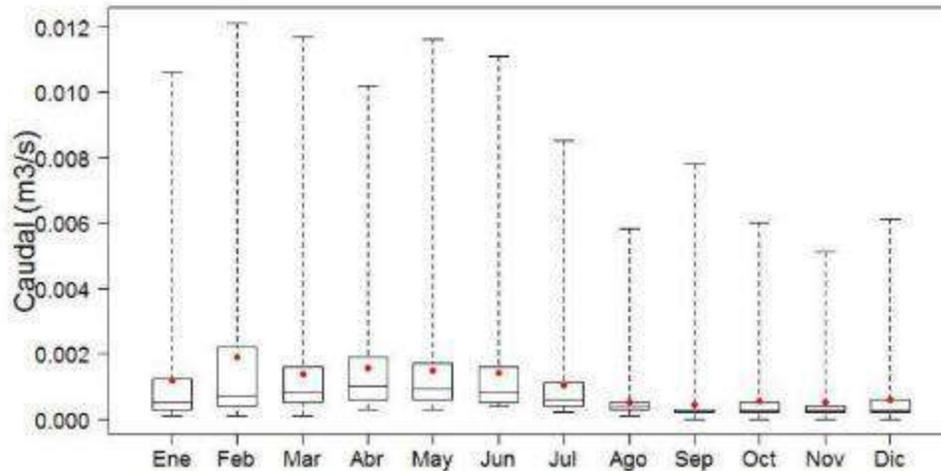
**Figura 6-108 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B1 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

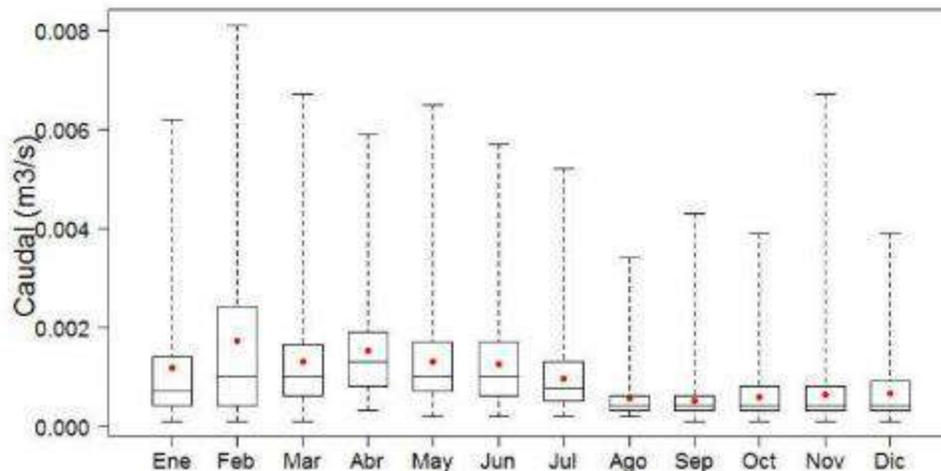
La Figura 6-109 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control B2 perteneciente a la unidad hidrográfica Bermejós (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,003 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,00043$  y  $0,0019 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 6-109 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B2 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio. Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

La Figura 6-110 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control B3 perteneciente a la unidad hidrográfica Bermejós (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 0,008 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,003 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,00052 y 0,00173 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,001 m<sup>3</sup>/s.

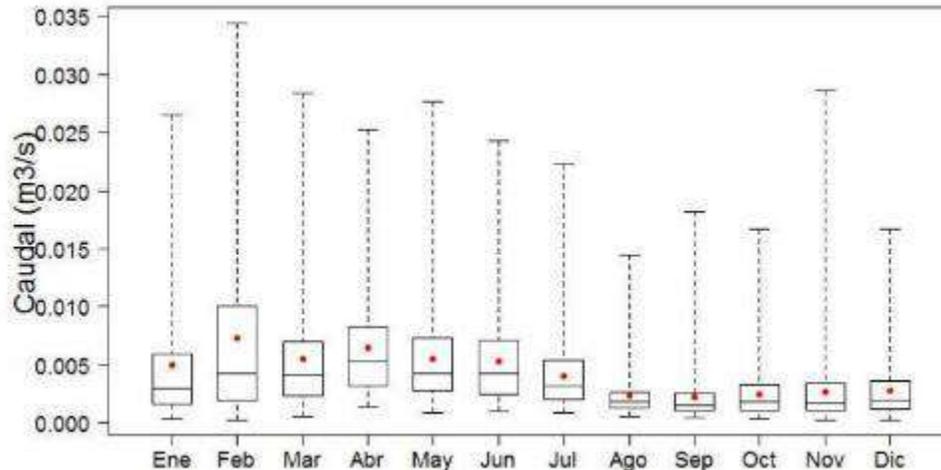


**Figura 6-110 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B3 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio. Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

La Figura 6-111 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MA1.1+1.2 perteneciente a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu (Tabla 6-93). Los valores

diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,002$  y  $0,007 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,00432 \text{ m}^3/\text{s}$ .

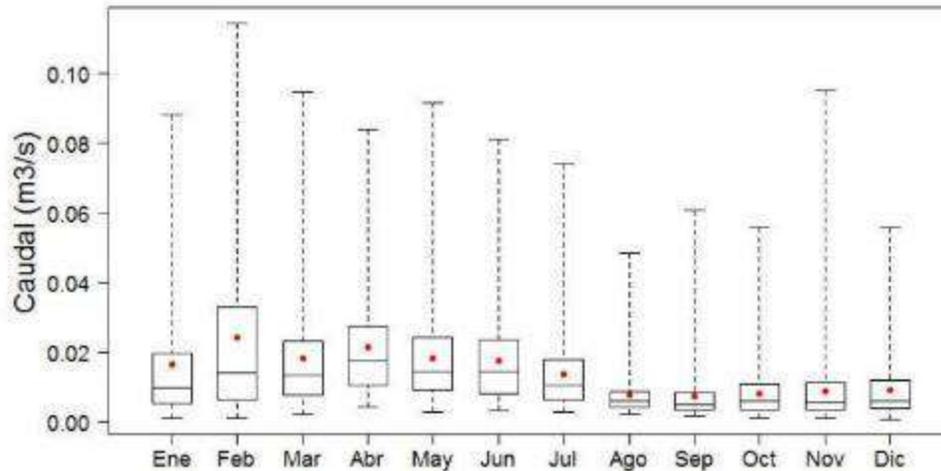


**Figura 6-111 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MA1.1+1.2 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

La Figura 6-112 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MA1,3 perteneciente a la unidad hidrográfica Quinuahuyacu (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,007$  y  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,014 \text{ m}^3/\text{s}$ .

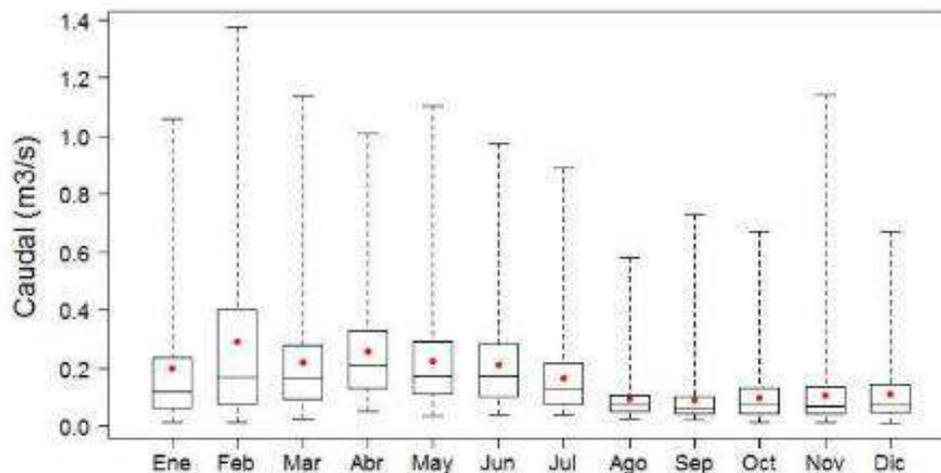


**Figura 6-112 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MA1,3 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

La Figura 6-113 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MA2 perteneciente a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 1,3 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,4 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,09 y 0,29 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,173 m<sup>3</sup>/s.



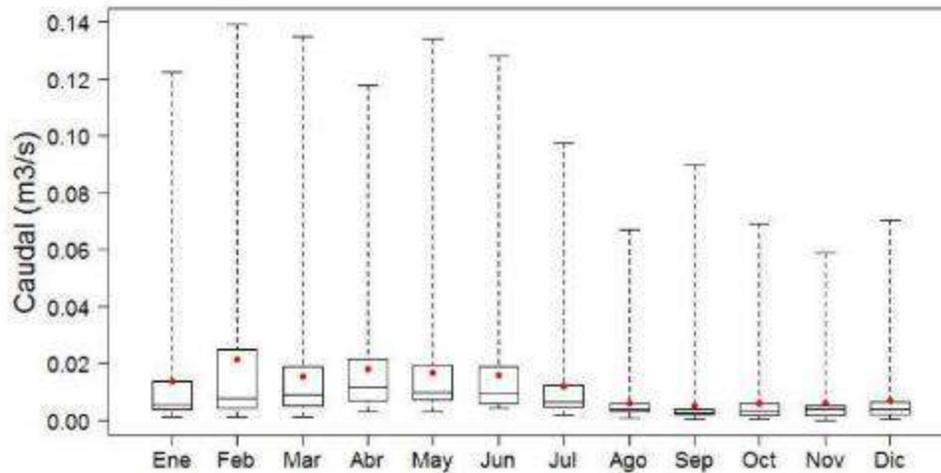
**Figura 6-113 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MA2 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

La Figura 6-114 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MAK perteneciente a la unidad hidrográfica Rumiguaycu (Tabla 6-93). Los valores diarios más

altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,005$  y  $0,022 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$ .

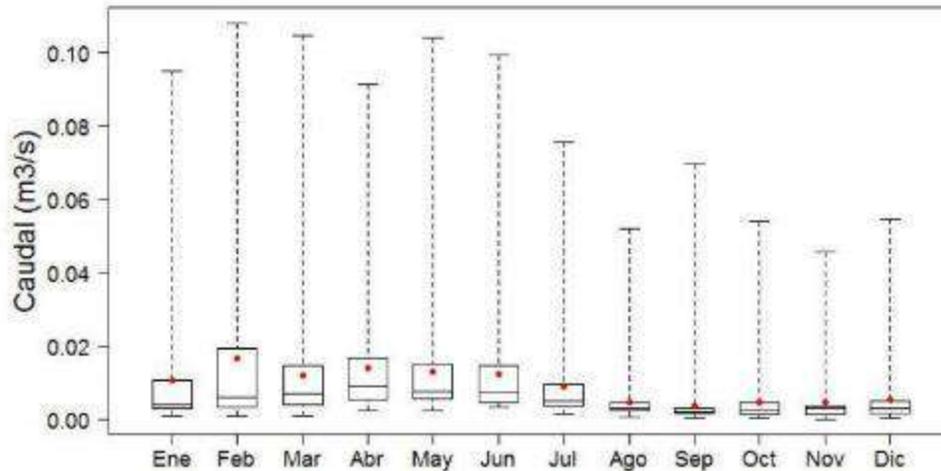


**Figura 6-114 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAK durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

La Figura 6-115 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MAR perteneciente a la unidad hidrográfica Rumiguaycu (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,004$  y  $0,017 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$ .

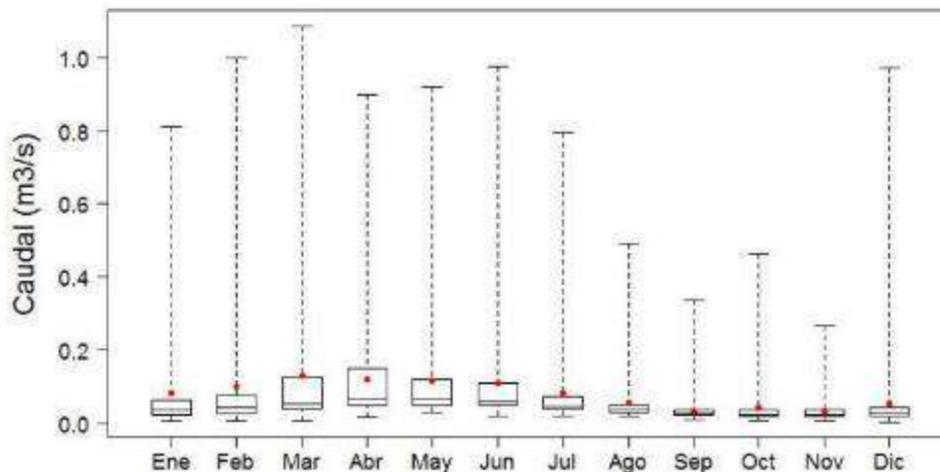


**Figura 6-115 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAR durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

La Figura 6-116 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MAP perteneciente a la unidad hidrográfica Alumbre (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 1 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,2 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,03 y 0,13 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,079 m<sup>3</sup>/s.

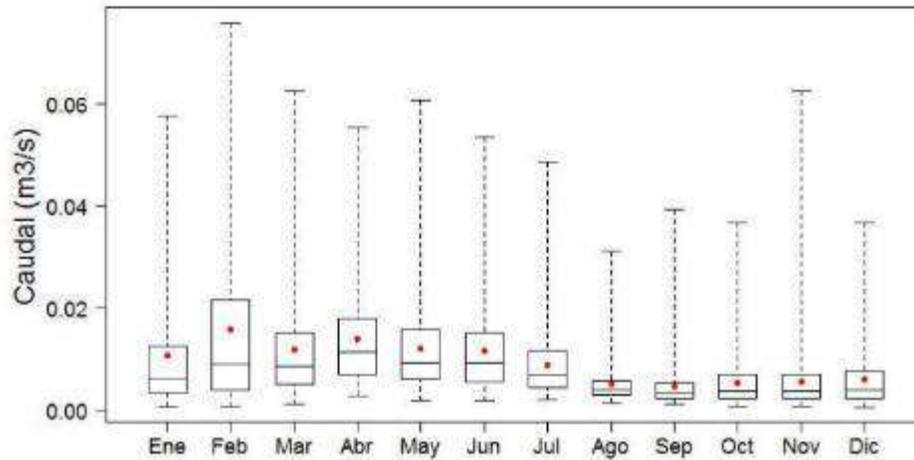


**Figura 6-116 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAP durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, julio 2020

La Figura 6-117 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MACCP perteneciente a la unidad hidrográfica Alumbre (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,004$  y  $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$ .



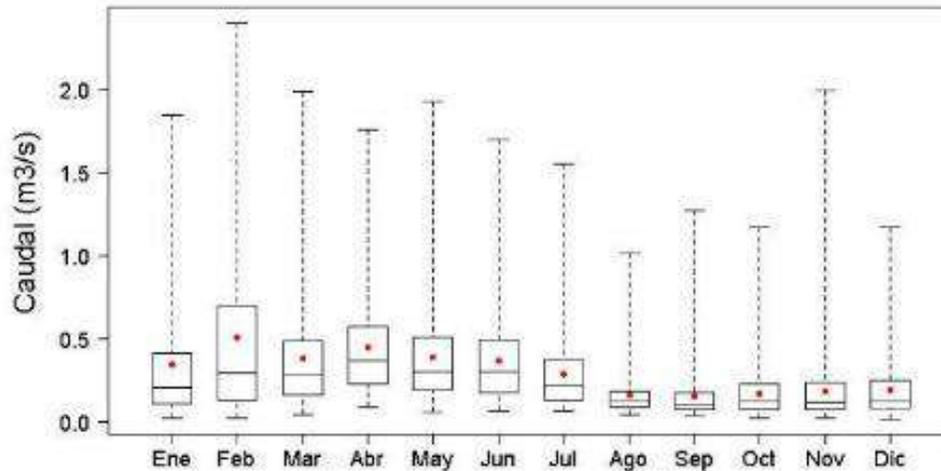
**Figura 6-117 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MACCP durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

La Figura 6-119 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MAQAN perteneciente a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,15$  y  $0,51 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ .



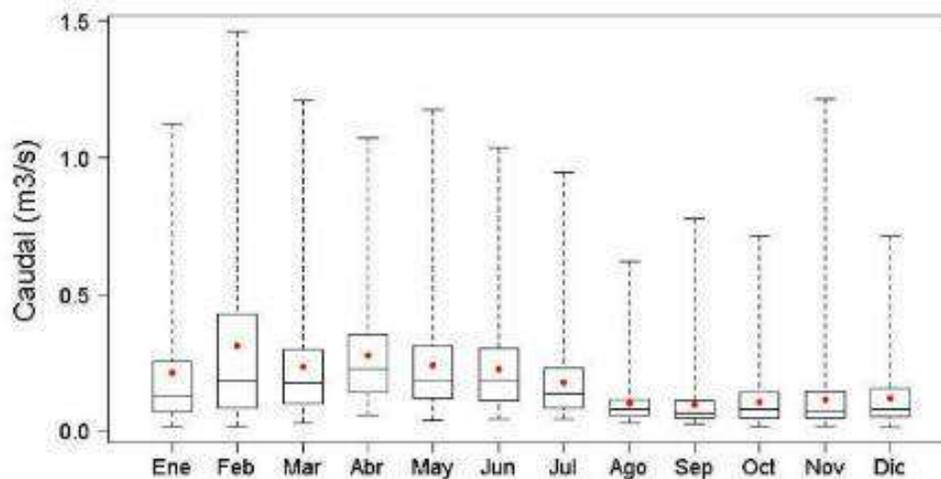
**Figura 6-118 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAQAN durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

La Figura 6-119 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MAQR perteneciente a la unidad hidrográfica Rumiguaycu (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos de dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 1 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,5 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,11 y 0,31 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,18 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 6-119 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MAQR durante el Periodo 2008-2020**

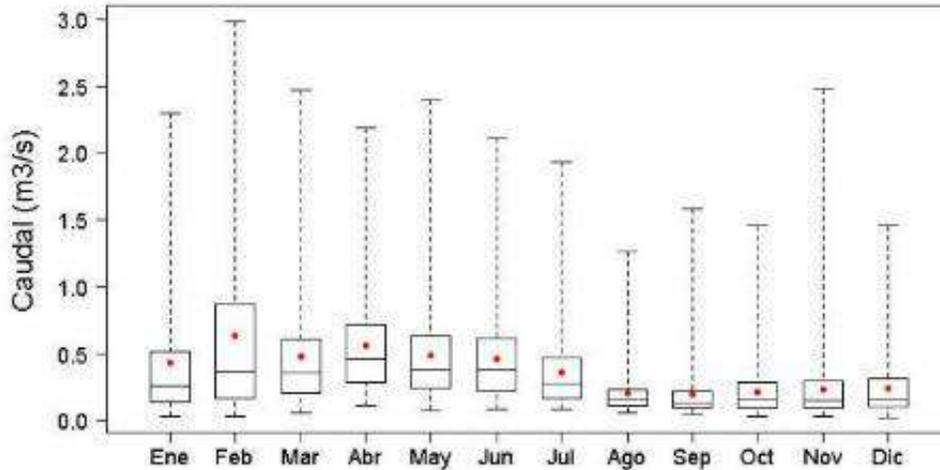
\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

La Figura 6-120 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MARC perteneciente a la unidad hidrográfica Alumbre (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos de dan en agosto y septiembre.

La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 2.5 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 1 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,19 y 0,56 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,38 m<sup>3</sup>/s.



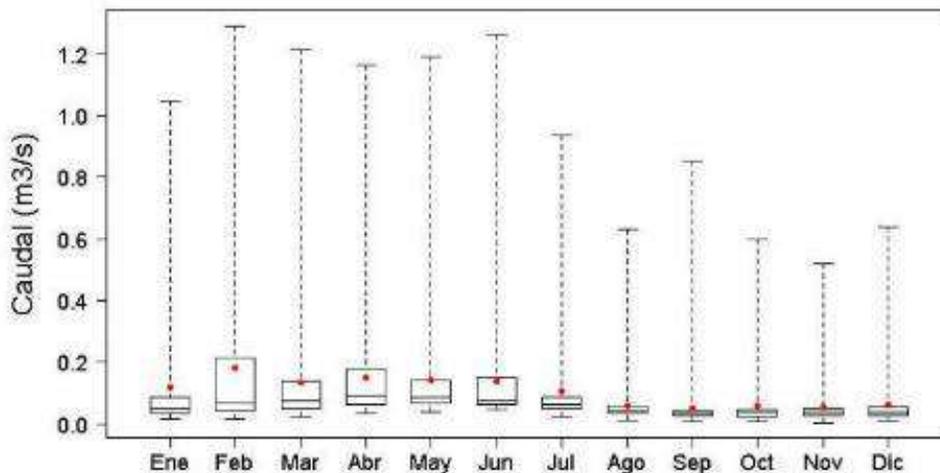
**Figura 6-120 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MARC durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

La Figura 6-121 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MARF perteneciente a la unidad hidrográfica río Falso (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 1.2 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,3 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,049 y 0,182 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,11 m<sup>3</sup>/s.



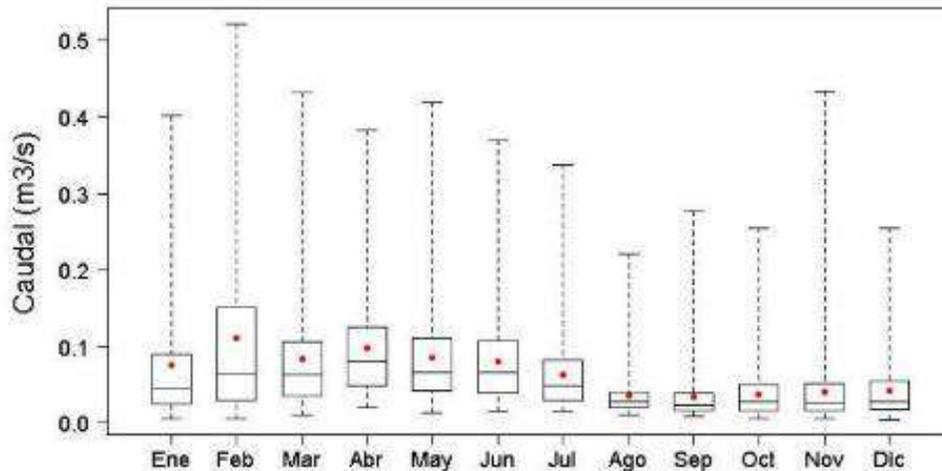
**Figura 6-121 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MARF durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

La Figura 6-122 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control MA5 perteneciente a la unidad hidrográfica río Falso (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,034$  y  $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$ .



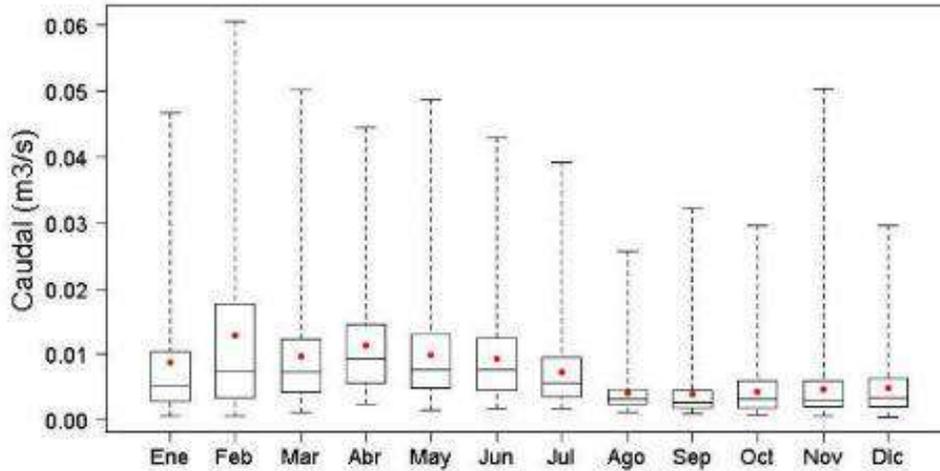
**Figura 6-122 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control MA5 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

La Figura 6-123 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control B4 perteneciente a la unidad hidrográfica Bermejos (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ , el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$  que, en promedio, varían entre  $0,004$  y  $0,013 \text{ m}^3/\text{s}$  (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es  $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ .



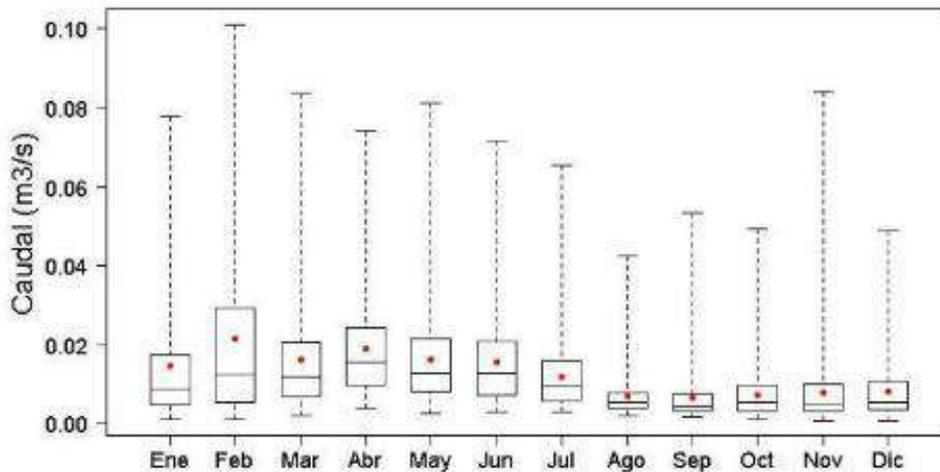
**Figura 6-123 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B4 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

La Figura 6-124 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control B5 perteneciente a la unidad hidrográfica Bermejos (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 0,08 m³/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,03 m³/s que, en promedio, varían entre 0,007 y 0,022 m³/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,013 m³/s.



**Figura 6-124 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B5 durante el Periodo 2008-2020**

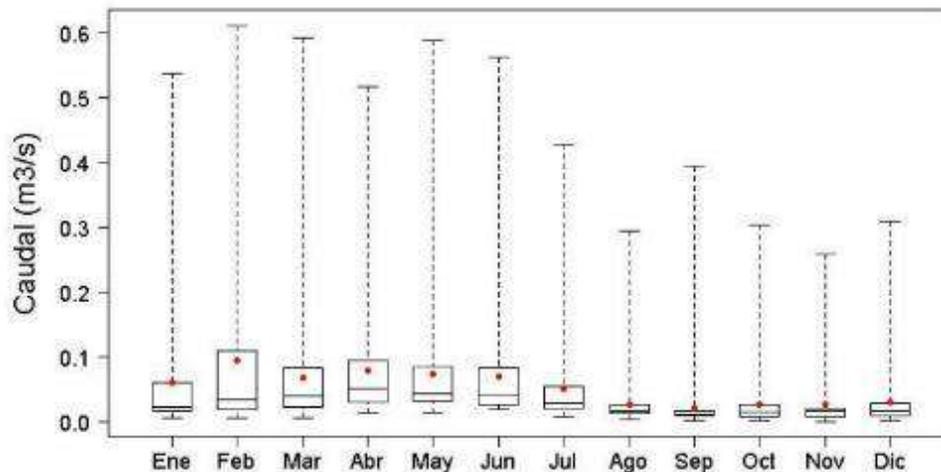
\*El punto rojo representa el valor promedio.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

La Figura 6-125 muestra la distribución que tienen los datos diarios de caudal para cada mes de la estación de control B6 perteneciente a la unidad hidrográfica Bermejos (Tabla 6-93). Los valores diarios más altos de caudal se presentan de febrero a junio, mientras que los más bajos se dan en agosto y septiembre. La

figura también muestra que, aunque existen valores máximos por encima de 0.5 m<sup>3</sup>/s, el régimen hidrológico está dominado por caudales bajos menores a 0,15 m<sup>3</sup>/s que, en promedio, varían entre 0,022 y 0,095 m<sup>3</sup>/s (puntos rojos en la figura) a lo largo del año. El caudal promedio anual es 0,053 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 6-125 Gráfico de Cajas del Caudal Promedio Diario de Cada Mes de la Estación de Control B6 durante el Periodo 2008-2020**

\*El punto rojo representa el valor promedio.

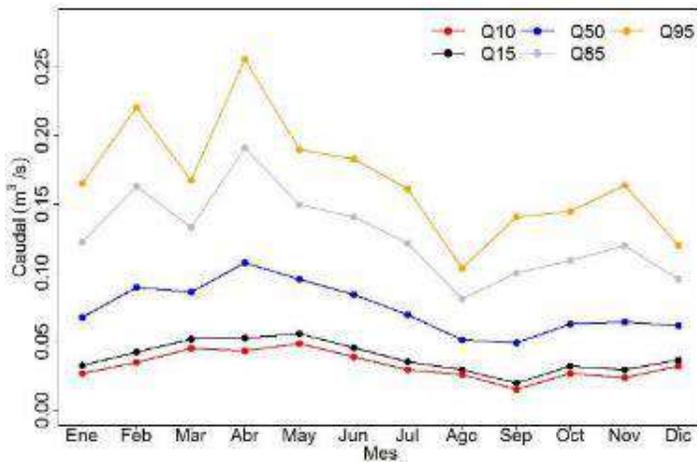
Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

### Curvas de Estacionalidad

En esta sección se describe las curvas de estacionalidad durante el periodo de estudio mediante el uso de gráficos compuestos por probabilidades de no excedencia (10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %) de caudales mensuales. Los datos utilizados para producir las figuras y estimar los valores que se presentan a continuación se muestran en las Tablas 28S a 46S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria. En general, la dinámica mensual de caudal mostró una estacionalidad poco marcada para caudales promedio similar entre todas las unidades hidrográficas dentro del área geográfica. La estacionalidad es mas marcada para caudales altos cuyos valores más altos de enero a junio. Mientras los caudales bajos que se producen en agosto, septiembre y octubre presentan una baja estacionalidad. A continuación, dicha dinámica se describe en detalle para cada una de las estaciones de monitoreo y control ubicadas dentro del PLL.

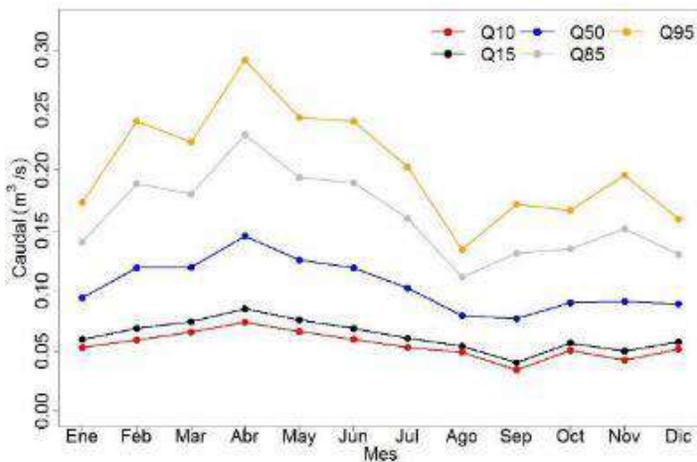
La Figura 6-126 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH002, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen en los meses de Febrero y Abril con valores por encima de los 0,02 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto y Diciembre con valores menores a 0,12 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante los meses de Agosto y Septiembre (0,051 y 0,049 m<sup>3</sup>/s, respectivamente) y máximos durante los meses de Febrero, Abril, y Mayo (mayores a 0,089 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,032 y 0,036 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante los meses de Marzo, Abril, y Mayo (mayores a 0,043 m<sup>3</sup>/s, respectivamente) y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0.02 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-126** Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH002 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

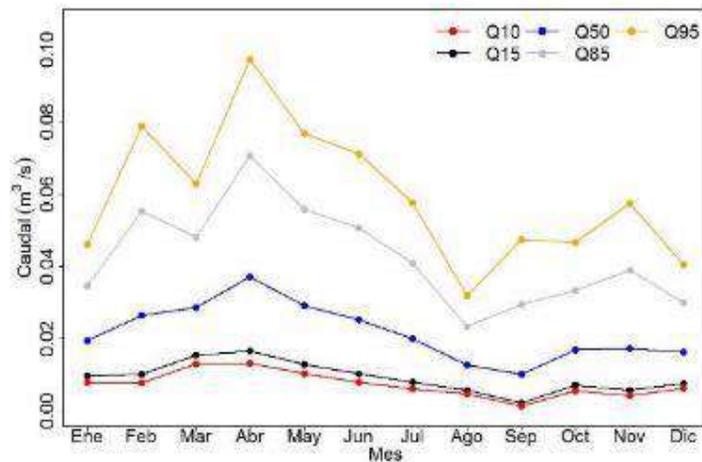
La Figura 6-127 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH003, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Abril con valores por encima de los 0,229 m3/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto con valores menores a 0,134 m3/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante los meses de Agosto y Septiembre (0,079 y 0,077 m3/s, respectivamente) y máximos durante los meses de Febrero, Marzo, Abril, Mayo, y Junio (mayores a 0.118 m3/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,055 y 0,062 m3/s, respectivamente, con picos durante los meses de Marzo, Abril, y Mayo (mayores a 0,059 m3/s, respectivamente) y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,041 m3/s).



**Figura 6-127** Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH003 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

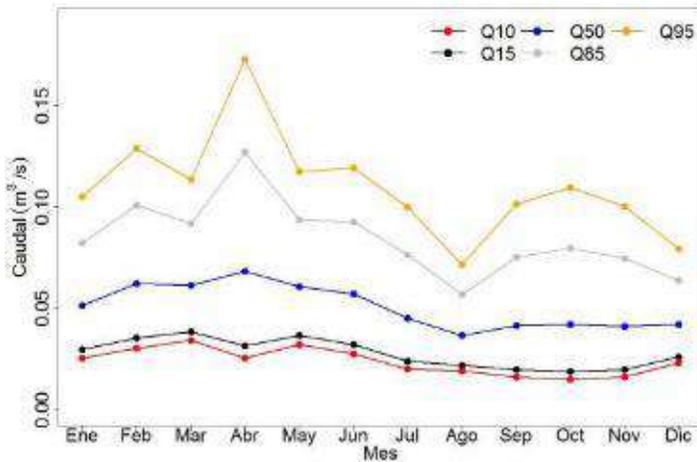
La Figura 6-128 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH004, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Abril con valores por encima de los 0,070 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto con valores menores a 0,032 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante los meses de agosto y Septiembre (0,013 y 0,010 m<sup>3</sup>/s, respectivamente) y máximos durante los meses de marzo, abril, y Mayo (mayores a 0,028 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0074 y 0,0093 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante los meses de marzo y Abril (mayores a 0,013 m<sup>3</sup>/s) y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0022 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-128 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH004 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

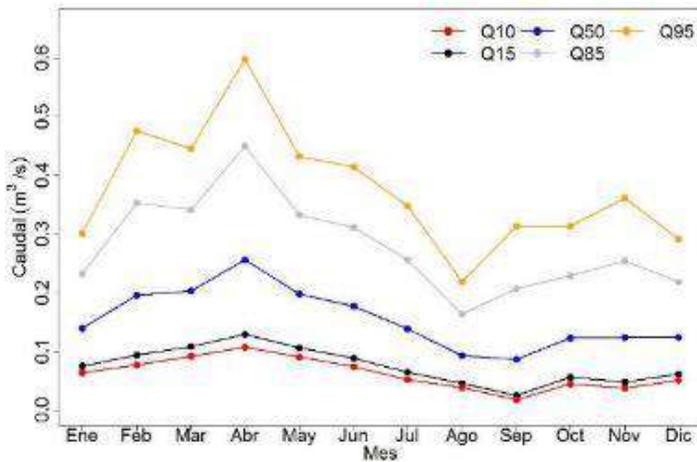
La Figura 6-129 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH005, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Abril con valores por encima de los 0,12 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto con valores menores a 0,072 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante el mes de Agosto (0,037 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Abril (mayores a 0,068 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,024 y 0,028 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante los meses de Marzo y Mayo (mayores a 0,013 m<sup>3</sup>/s) y caudales mínimos durante los meses de Septiembre y Octubre (menores a 0,020 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-129** Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH005 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

La Figura 6-130 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH006, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Abril con valores por encima de los 0,45 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto con valores menores a 0,22 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,086 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Abril (mayores a 0,25 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,062 y 0,076 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,106 m<sup>3</sup>/s) y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,019 m<sup>3</sup>/s).

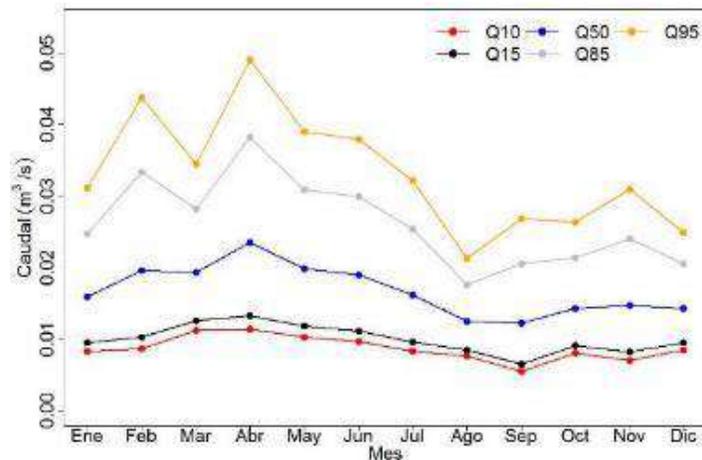


**Figura 6-130** Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH006 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

La Figura 6-131 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH007, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero

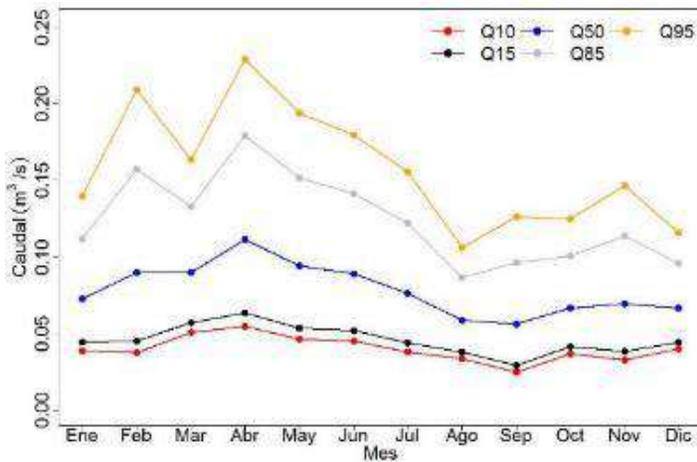
y Abril con valores por encima de los 0,033 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto con valores menores a 0,022 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante el mes de Agosto y Septiembre (0,0124 y 0,0122 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Abril (mayores a 0,023 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0087 y 0,0099 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,0114 m<sup>3</sup>/s) y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,007 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-131 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH007 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%.**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

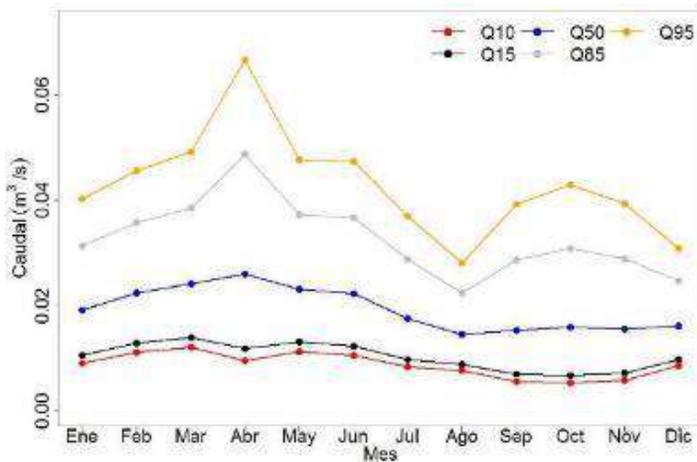
La Figura 6-132 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH008, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero y Abril con valores por encima de los 0,155 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto con valores menores a 0,107 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante el mes de Agosto y Septiembre (0,0588 y 0,0562 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Abril (mayores a 0,110 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,039 y 0,046 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,055 m<sup>3</sup>/s) y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0294 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-132 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH008 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%.**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021.

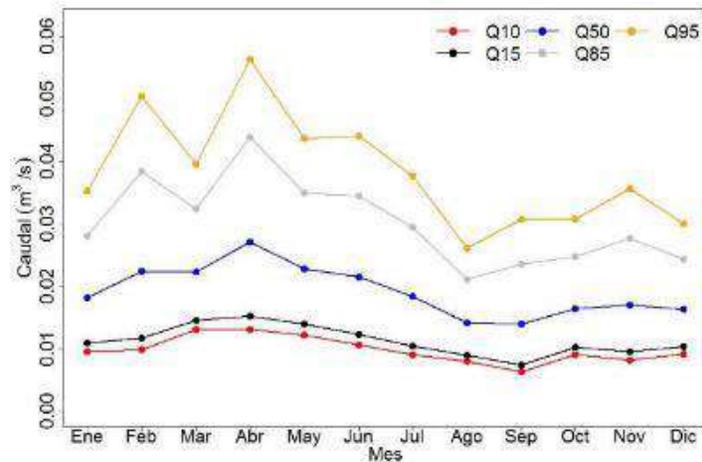
La Figura 6-133 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH009, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Abril con valores por encima de los 0,0486 m³/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto con valores menores a 0,0282 m³/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante el mes de Agosto y Septiembre (0,0146 y 0,0153 m³/s) y máximos durante el mes de Abril (mayores a 0,0258 m³/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,009 y 0,010 m³/s, respectivamente, con picos durante el mes de Marzo (mayores a 0,012 m³/s) y caudales mínimos durante el mes de Septiembre y Octubre (menores a 0,007 m³/s).



**Figura 6-133 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH009 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%.**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021.

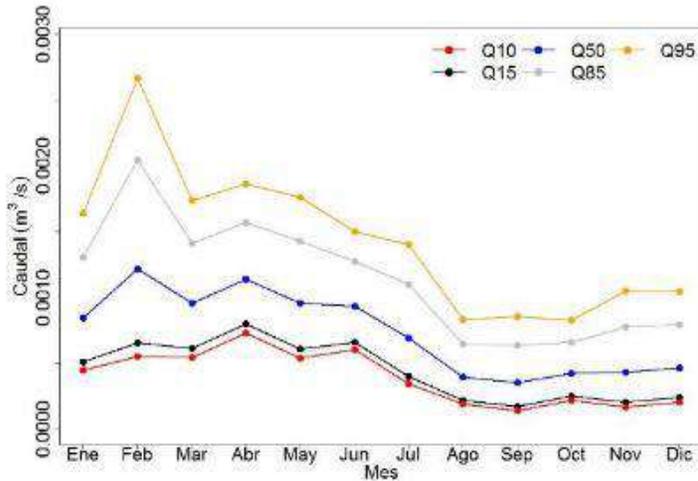
La Figura 6-134 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación PLLH010, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero y Abril con valores por encima de los 0,038 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto con valores menores a 0,027 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante el mes de Agosto y Septiembre (0,0141 y 0,0139 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Abril (mayores a 0,027 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,009 y 0,011 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Marzo y Abril (mayores a 0,013 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0074 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-134 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación PLLH010 para los caudales de no excedencia del 10%, 15%, 50%, 85%, y 95%.**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

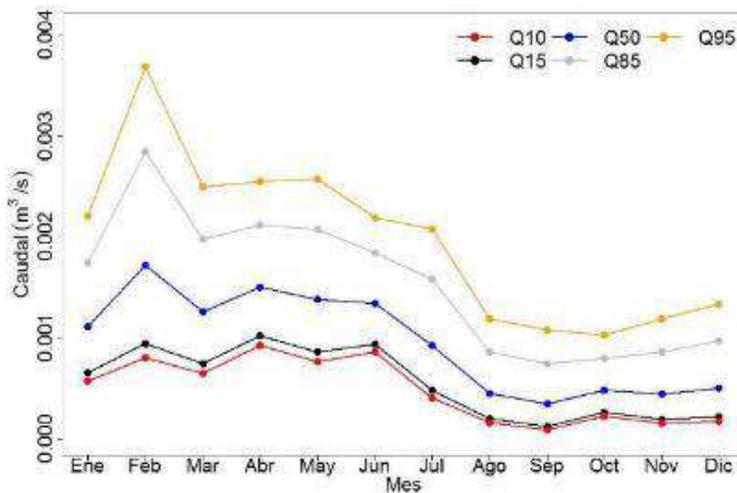
La Figura 6-135 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación B1, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,0203 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,00067 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,00036 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,0012 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,00039 y 0,00044 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,00072 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,00018 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-135 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B1 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

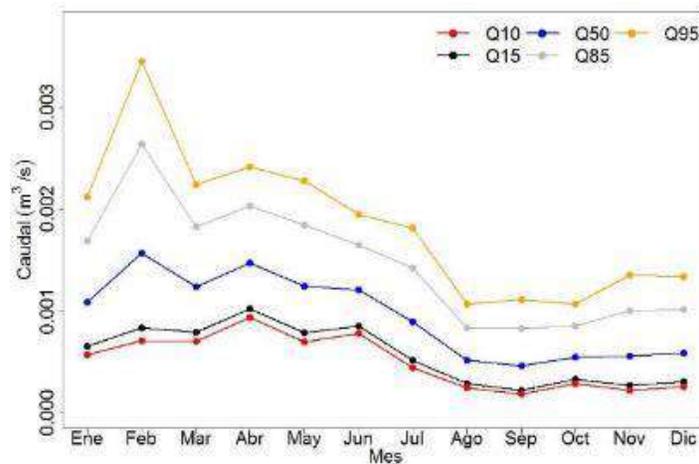
La Figura 6-136 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación B2, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,0028 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,0012 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,00035 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,00171 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,00048 y 0,00055 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,0009 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0001 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-136 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B2 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

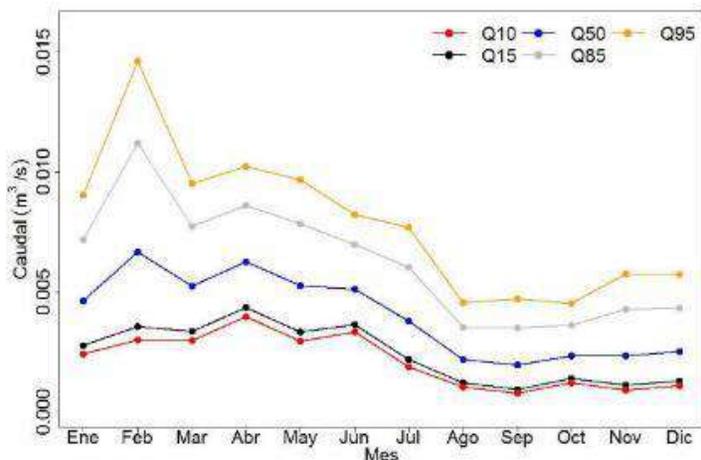
La Figura 6-137 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación B3, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,0026 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,0012 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,00046 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,00156 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0005 y 0,00057 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,0009 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,00023 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-137 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B3 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

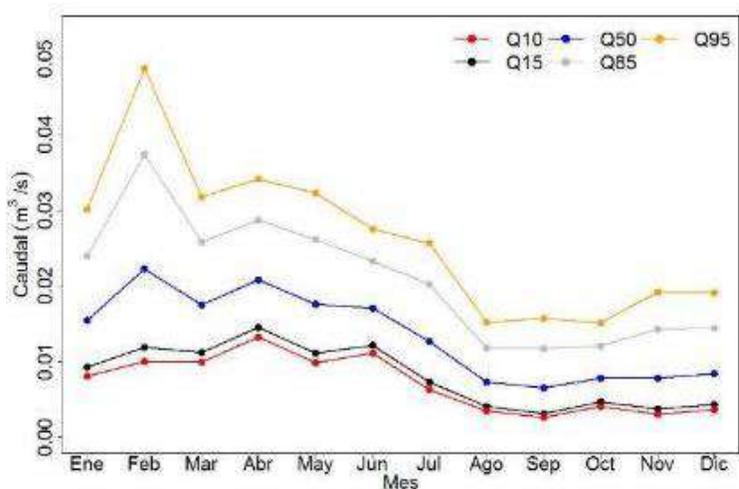
La Figura 6-138 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MA1.1+1.2, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,011 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,0048 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,00196 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,00666 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0021 y 0,0024 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,0039 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,001 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-138** Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MA1.1+1.2 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

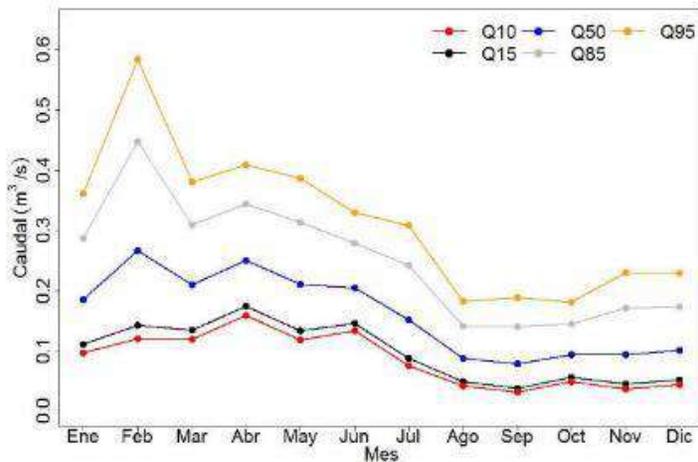
La Figura 6-139 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MA1.3, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,037 m³/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,016 m³/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia, pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,0065 m³/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,022 m³/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0071 y 0,0081 m³/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,013 m³/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0032 m³/s).



**Figura 6-139** Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MA1.3 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021.

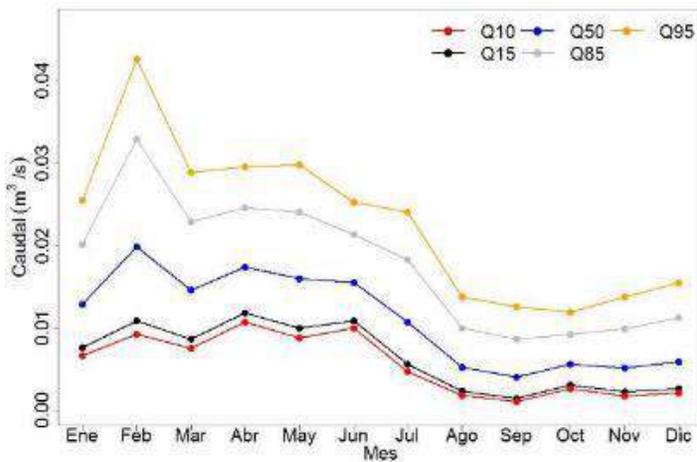
La Figura 6-140 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MA2, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,447 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,19 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,078 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,266 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,086 y 0,097 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,159 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,039 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-140 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MA2 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %.**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021.

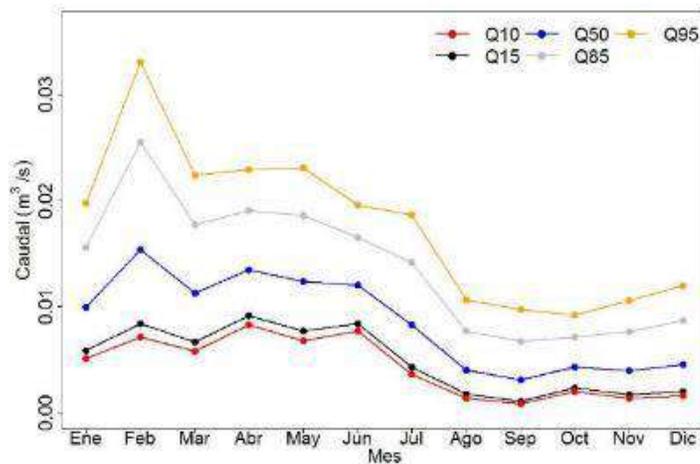
La Figura 6-141 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MAK, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,032 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,014 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,004 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,0198 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,006 y 0,0064 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,01 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0015 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-141 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAK para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

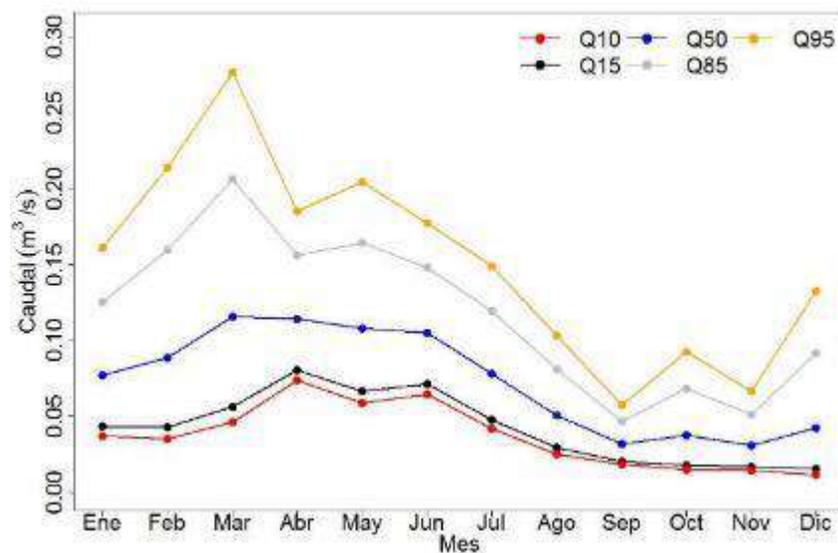
La Figura 6-142 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MAR, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,025 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,011 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,0031 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,015 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0043 y 0,0049 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,008 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0012 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-142 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAR para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %.**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021.

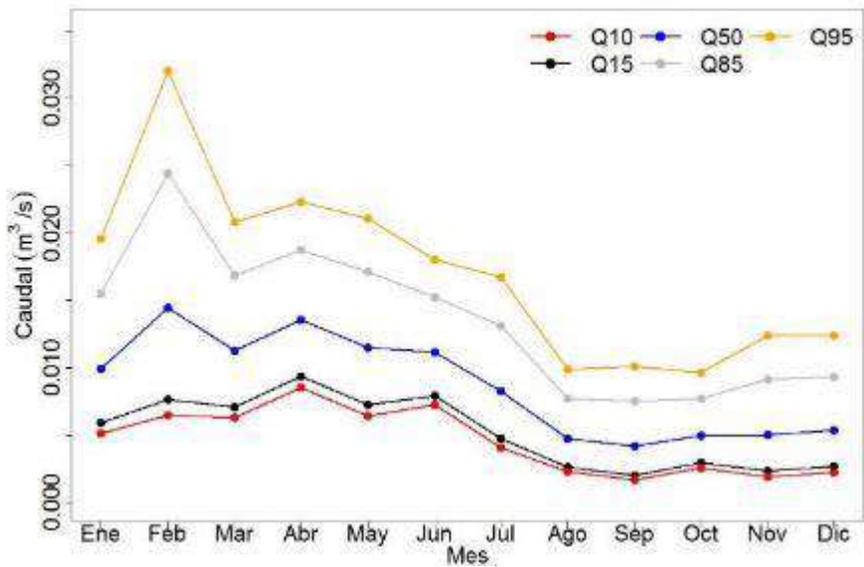
La Figura 6-143 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MAP, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Marzo con valores por encima de los 0,2 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Septiembre y Noviembre con valores menores a 0,067 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre y Noviembre (0,032 y 0,031 m<sup>3</sup>/s, respectivamente) y máximos durante el mes de Marzo (mayores a 0,11 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,037 y 0,042 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,07 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Diciembre (menores a 0,0153 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-143 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAP para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %.**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021

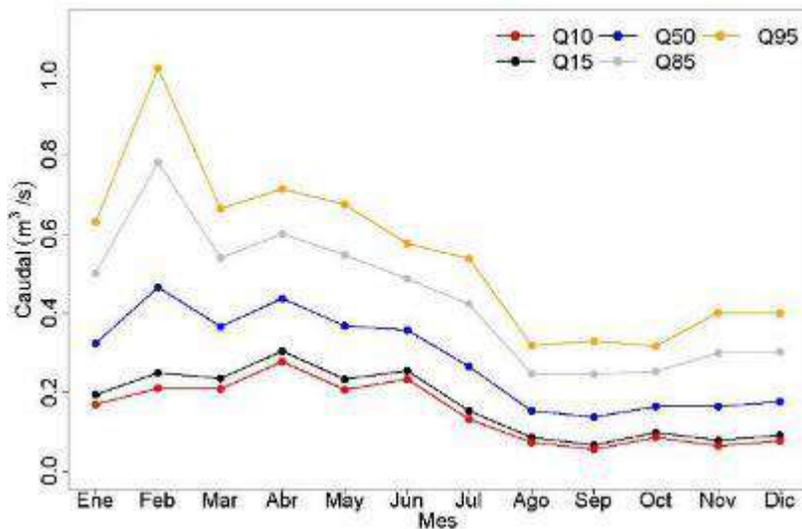
La Figura 6-144 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MACCP, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,024 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,011 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,0042 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,014 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0046 y 0,0052 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,008 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0021 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-144 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MACCP para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
 Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021.

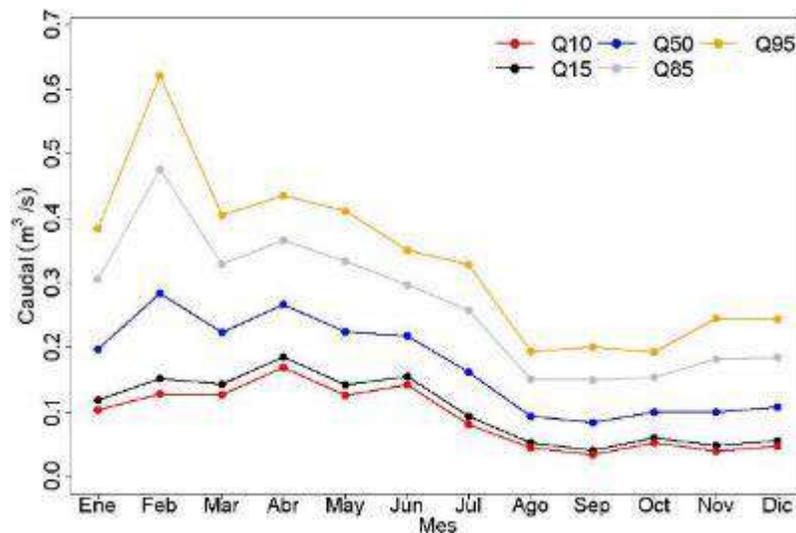
La Figura 6-145 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MAQAN, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,75 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,33 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,137 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,45 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,149 y 0,17 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,27 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,06 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-145 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAQN para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

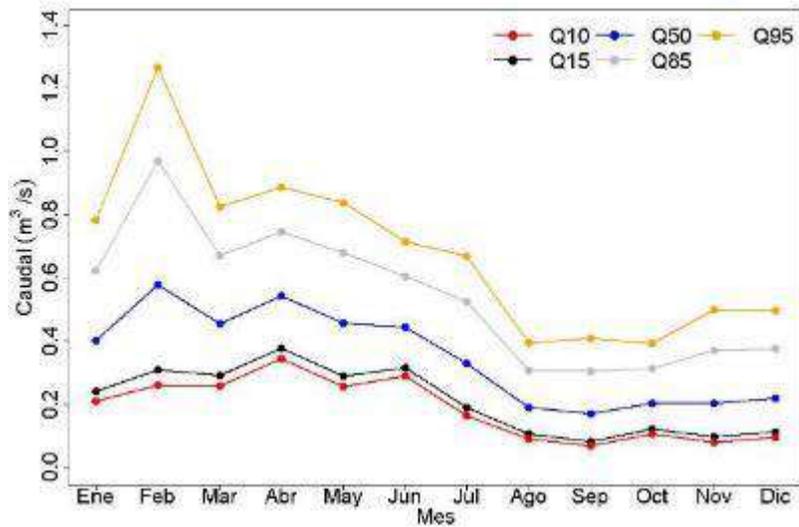
La Figura 6-146 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MAQR, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,47 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,16 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,083 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,28 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,091 y 0,104 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,008 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,16 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-146 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MAQR para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

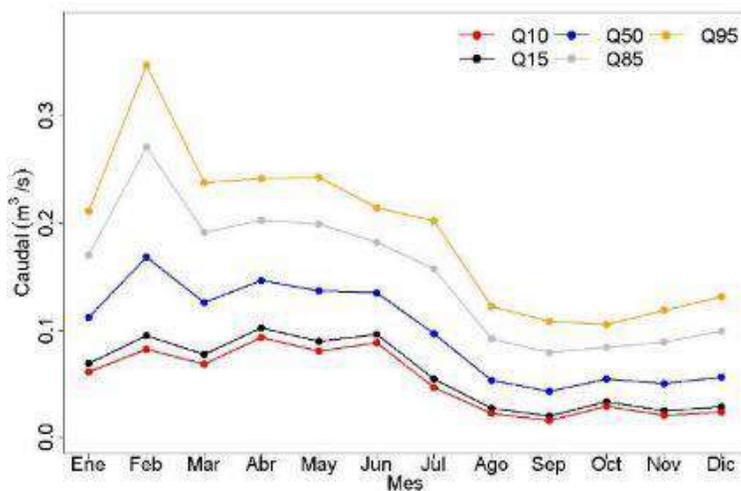
La Figura 6-147 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MARC, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,95 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,32 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,17 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,57 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,19 y 0,21 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,35 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,07 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-147** Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MARC para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

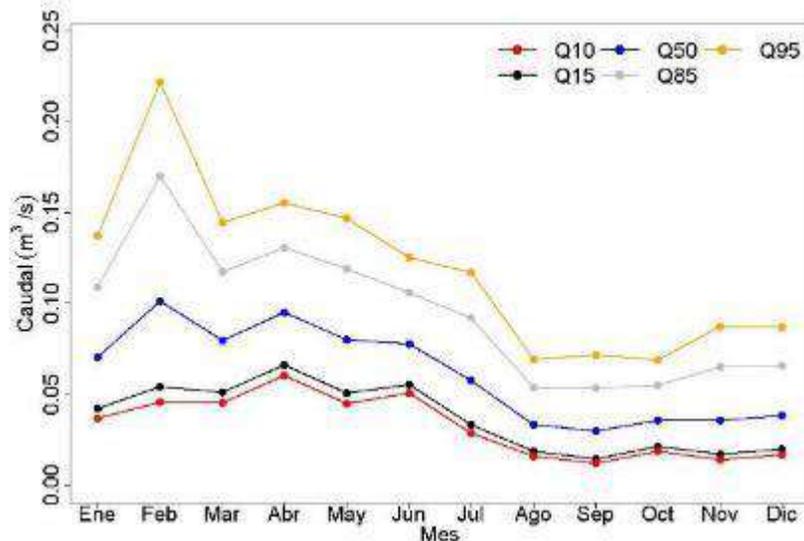
La Figura 6-148 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MARF, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,27 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto y Septiembre con valores menores a 0,08 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,043 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,168 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,05 y 0,06 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,09 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,017 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-148** Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MARF para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

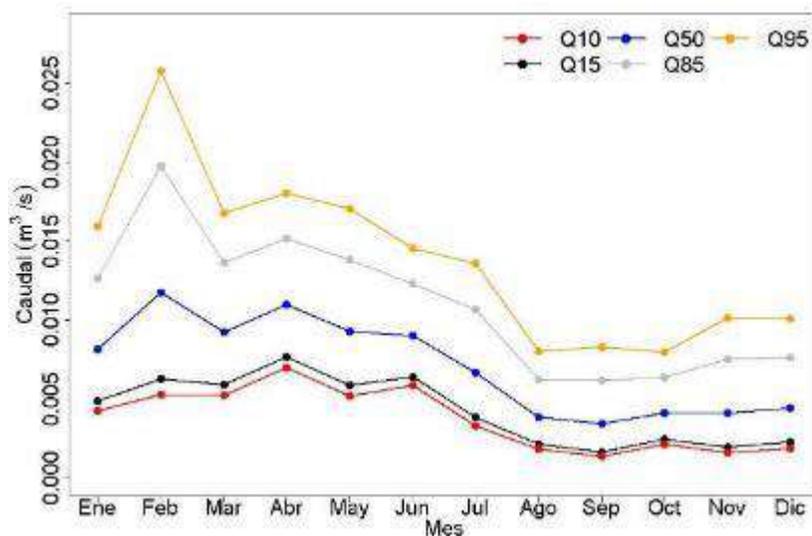
La Figura 6-149 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación MA5, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,16 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,055 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,03 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,10 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,03 y 0,04 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,06 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,012 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-149 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación MA5 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

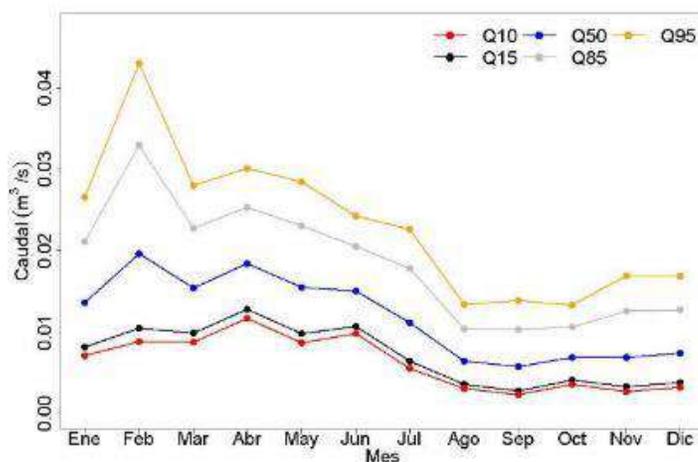
La Figura 6-150 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación B4, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,019 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,007 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,0035 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,011 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0038 y 0,0043 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,007 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0014 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-150 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B4 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

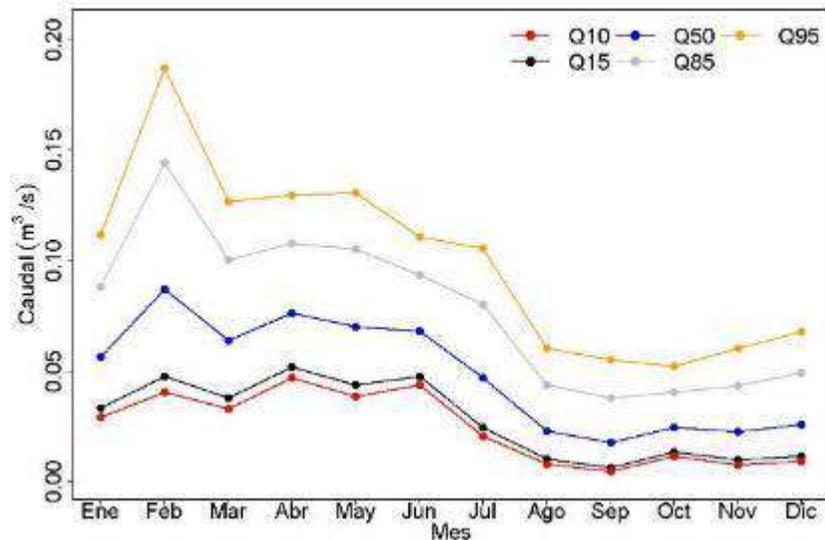
La Figura 6-151 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación B5, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,03 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,011 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,0058 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,019 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,0063 y 0,0072 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,011 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,0025 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-151 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B5 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

La Figura 6-152 muestra la curva de estacionalidad correspondiente a la estación B6, en esta figura se puede observar que los caudales pico (Q95 y Q85) más altos se producen durante el mes de Febrero con valores por encima de los 0,14 m<sup>3</sup>/s, mientras que los caudales pico de menor valor se producen durante Agosto, Septiembre, y Octubre con valores menores a 0,044 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, en el caso de los caudales medios (Q50), los datos siguen la misma tendencia pero con valores mínimos durante el mes de Septiembre (0,018 m<sup>3</sup>/s) y máximos durante el mes de Febrero (mayores a 0,087 m<sup>3</sup>/s). Finalmente, los caudales más bajos (Q10 y Q15) tienen un caudal promedio de 0,024 y 0,028 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, con picos durante el mes de Abril (mayores a 0,045 m<sup>3</sup>/s), y caudales mínimos durante el mes de Septiembre (menores a 0,005 m<sup>3</sup>/s).



**Figura 6-152 Curva de Estacionalidad correspondiente a la estación B6 para los caudales de no excedencia del 10 %, 15 %, 50 %, 85 %, y 95 %**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2021  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

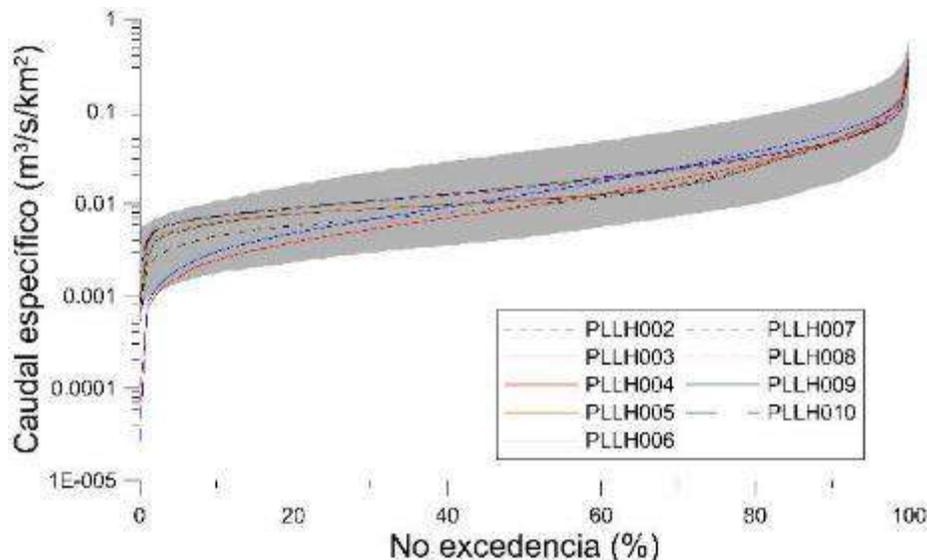
### Curva de Duración de Caudales

En esta sección se describe la distribución y dinámica de los caudales producidos por las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL y su representatividad en relación a la dinámica hidrológica regional, mediante el análisis de las curvas de duración presentadas en la Figura 6-153, Figura 6-154 y Figura 6-155. Las líneas sólidas y entrecortadas de la figura corresponden a las curvas de duración de caudal de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del PLL (PLLH002 a PLLH010) y a las estaciones de control para el EslA (B1 a B6). Tomando en cuenta que el eje vertical de la figura se encuentra en escala logarítmica, estas curvas indican que la variación de los caudales entre las unidades hidrográficas de estudio es baja para todo el rango de caudales.

Adicionalmente, la estrecha semejanza en la forma de las curvas de duración entre todas las unidades indica que la hidrología dentro del Proyecto es homogénea presentando una similar capacidad de producción y regulación de caudales. Estos resultados son similares a los reportados para siete subunidades hidrográficas ubicadas dentro de la unidad hidrográfica Cristal (Mosquera et al., 2015). En dicho estudio, además, se determinaron diferentes rangos de caudal para las unidades de páramo analizadas en base a las pendientes de los diferentes rangos de las curvas de duración. Estos autores clasificaron como caudales bajos a los que se encuentran en el rango de no excedencia entre 0 y 35 %, caudales medios o moderados a los caudales de no excedencia entre 35 y 90 % y caudales altos o picos a los caudales de no excedencia mayores a 90 %. En base a estos rangos, la dinámica hidrológica de las

unidades de estudio dentro del PLL está manejada por la producción de caudales moderados y bajos, con una producción de caudales pico menor al 10 % del tiempo. Estos resultados coinciden con los de investigaciones previas en la zona de estudio, que han determinado un similar comportamiento hidrológico en respuesta a la dinámica temporal de la lluvia, compuesta principalmente por llovizna de baja intensidad a lo largo del año (Padrón et al., 2015) y a la presencia de humedales de ribera que mantienen un nivel de almacenamiento de agua cerca de saturación durante la mayor parte de año (Lazo et al., 2019; Mosquera et al., 2016a). Este último factor, a su vez, contribuye a la regulación de caudales de las unidades hidrográficas.

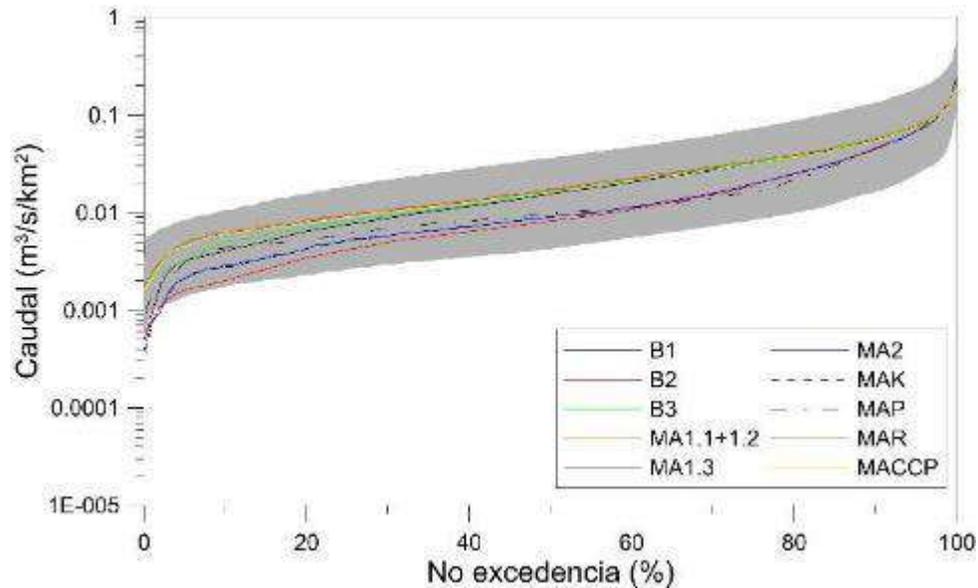
Los bordes superior e inferior del área sombreada en la Figura 6-153, Figura 6-154, y Figura 6-155 corresponden a los valores máximos y mínimos de las curvas de duración de las estaciones de monitoreo a escala regional (Tabla 6-95), que fueron construidas a partir de las curvas que se presentan la Figura 15S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria. La figura muestra que las curvas de duración a escala regional abarcan todas las curvas de duración de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL. Estas observaciones indican que la producción y regulación de caudales en el área geográfica es representativa de la hidrología regional de los páramos del sur del Ecuador. Estos resultados, a su vez, indican que el uso del modelo hidrológico para extender y rellenar las series de tiempo de caudal de las unidades hidrográficas dentro del Proyecto fue efectivo.



**Figura 6-153 Curvas Duración de la Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL (PLLH002 a PLLH010)**

\* El área sombreada representa la variabilidad de las curvas de duración de las estaciones ubicadas fuera del proyecto a escala regional, que se presentan en la Figura 15S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria.

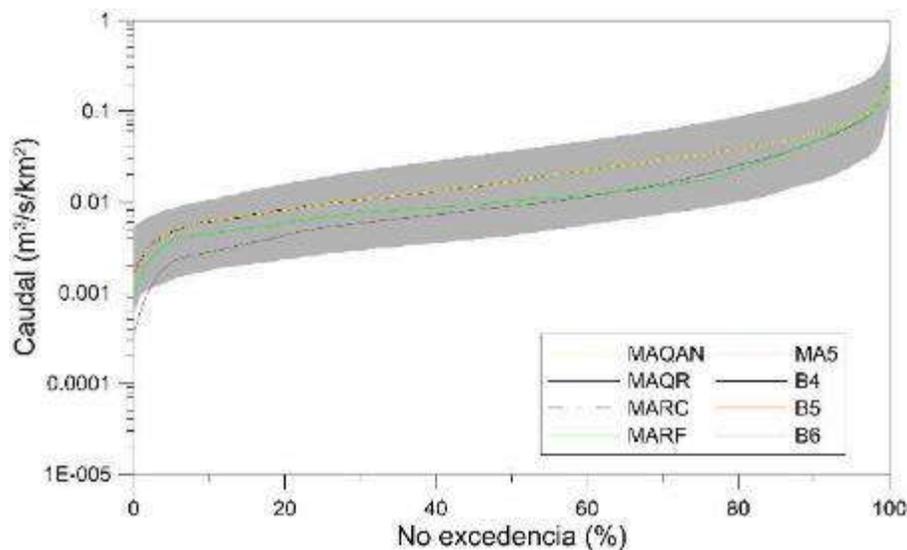
Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (IDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; INAMHI, Anuarios, 1970-2015; ETAPA, Anuarios, 1997-2009  
Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020



**Figura 6-154 Curvas Duración de las Estaciones de Control para el EsIA (B1 a MACCP)**

\*El área sombreada representa la variabilidad de las curvas de duración de las estaciones ubicadas fuera del proyecto a escala regional que se presentan en la Figura 15S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; INAMHI, Anuarios, 1970-2015; ETAPA, Anuarios, 1997-2009  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2021



**Figura 6-155 Curvas Duración de las Estaciones de Control para el EsIA (MAQAN a B6)**

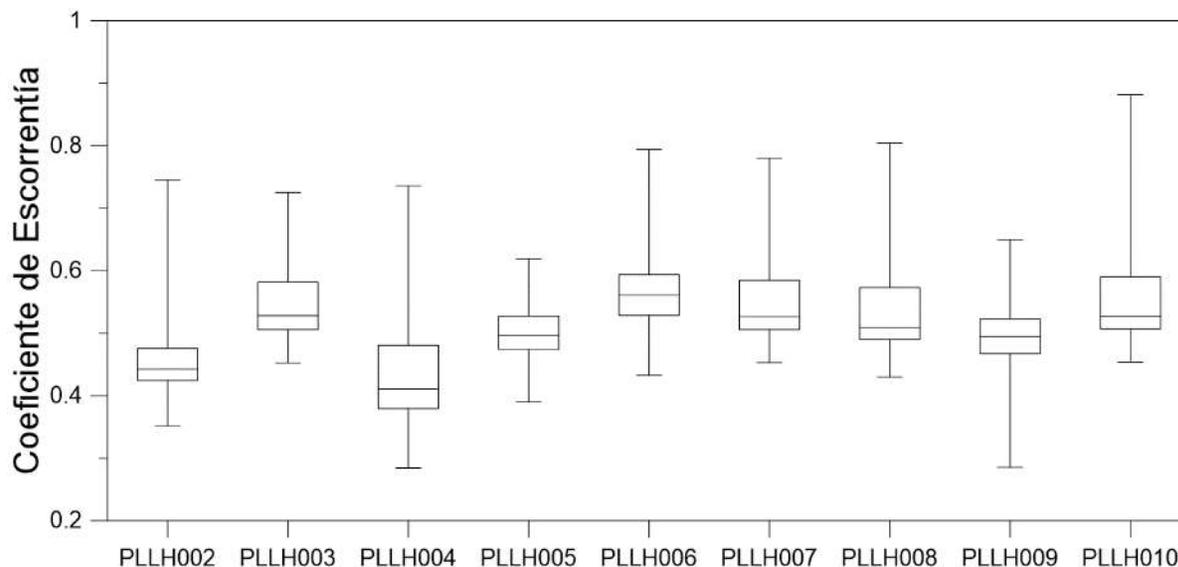
\*El área sombreada representa la variabilidad de las curvas de duración de las estaciones ubicadas fuera del proyecto a escala regional que se presentan en la Figura 15S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; INAMHI, Anuarios, 1970-2015; ETAPA, Anuarios, 1997-2009  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

### Coeficiente de Escorrentía

La distribución de los coeficientes de escorrentía anuales de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del PLL se muestran en la Figura 6-156, y los datos utilizados para construir esta figura se presentan en la Tabla 22S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria. La figura muestra que todas las unidades hidrográficas poseen una alta capacidad de producción anual de caudal que, en general, varía entre el 40 y 70 % de la entrada de precipitación. Estos valores coinciden con los valores obtenidos de investigaciones científicas en otras unidades hidrográficas de páramo en la región, incluyendo varias subunidades de la unidad hidrográfica Cristal (Buytaert et al., 2007; Crespo et al., 2011; Mosquera et al., 2015).

En general, la variabilidad de los coeficientes de escorrentía entre estaciones de monitoreo pertenecientes a las mismas unidades hidrográficas es menor. Tal es el caso para las estaciones PLLH003, PLLH007, PLLH008 y PLLH010, pertenecientes a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu, que presentaron promedios de los coeficientes de escorrentía anuales entre 53 y 55 %, y para las estaciones PLLH005 y PLLH009 pertenecientes a la unidad hidrográfica Alumbre, que presentaron promedios de los coeficientes de escorrentía anuales entre 49 y 50 %. Sin embargo, la variabilidad fue mayor para las estaciones PLLH004 y PLLH006, pertenecientes a la unidad hidrográfica Cristal, cuyos valores promedio fueron 44 y 57 %, respectivamente. Estos resultados indican que, aunque la dinámica hidrológica de las cuencas es similar, su capacidad de producción de agua puede variar debido a diferencias en sus características biofísicas y/o geomorfológicas (por ejemplo, cobertura vegetal, tipo, profundidad y distribución espacial de suelos, geología, topografía), como se ha demostrado en investigaciones pasadas en los páramos del sur del Ecuador (Lazo et al., 2019; Mosquera et al., 2016b, 2015). Valores de coeficientes de escorrentía fuera de los rangos antes mencionados (inferiores de hasta 28 % y superiores de hasta 82 %) fueron observados en menor proporción. Dichos valores resultan de años hidrológicos extremos secos y húmedos que se presentan comúnmente cuando los análisis se realizan usando datos de caudal de largo plazo, como en este estudio.

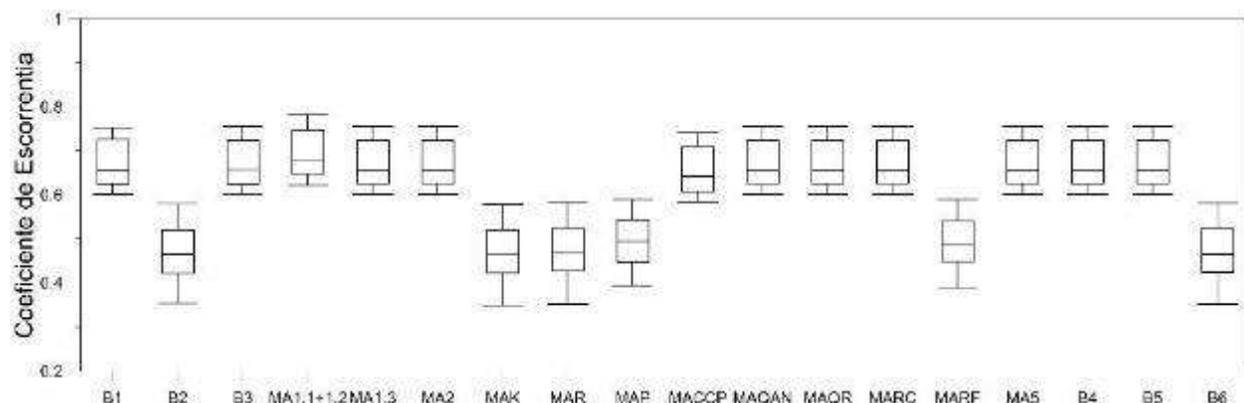


**Figura 6-156 Gráfico de Cajas de los Coeficientes de Escorrentía Anuales de las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

Por otro lado, la distribución de los coeficientes de escorrentía anuales de las estaciones de control del EsIA, ubicadas dentro del PLL, se muestran en la Figura 6-157, y los datos utilizados para construir esta figura se presentan en la Tabla 23S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria. La Figura muestra una variación de la producción de caudal del 35 al 75 % de la entrada de precipitación, estos valores son similares a los obtenidos para las estaciones de monitoreo mostradas anteriormente. Se puede observar que las estaciones MA1,1+1,2, MA1,3, MA2, y MAQAN todas pertenecientes a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu, presentaron valores de coeficientes promedio entre 0,66 y 0,68, al igual que las estaciones B1, B3, B4, y B5 que presentaron valores promedio de 66 %, y pertenecen a la unidad hidrográfica Bermejós, así como la estación MACCP perteneciente a la unidad hidrográfica Alumbre y la estación MARC perteneciente a Río Falso, con valor promedio de 0.65. Esto, probablemente se debe al hecho de que la correlación utilizada para rellenar los datos fue con estaciones de monitoreo pertenecientes a la unidad hidrográfica Quinuahuaycu, lo que resultó en distribuciones de caudal similares para dichas estaciones. Igualmente, para el caso de las estaciones B2, MAK, y MAR, los valores promedio fueron del 47 %, al estar correlacionadas con la unidad hidrográfica Rumiguaycu, finalmente MAP, MARF y B6, cuyo valor promedio fue de 50 %, correlacionada con la unidad hidrográfica Alumbre. Así, la variabilidad entre las estaciones es muy pequeña, y puede deberse a las diferencias en las características biofísicas y/o geomorfológicas entre las unidades, como se mencionó anteriormente, y obviamente a errores con el método de relleno, ya que no se tiene una serie histórica de caudales. Esta información deberá ser verificada cuando se implemente la red de monitoreo en las estaciones de control.



**Figura 6-157 Gráfico de Cajas de los Coeficientes de Escorrentía Anuales de las Estaciones de Control para el EsIA Ubicadas dentro del PLL**

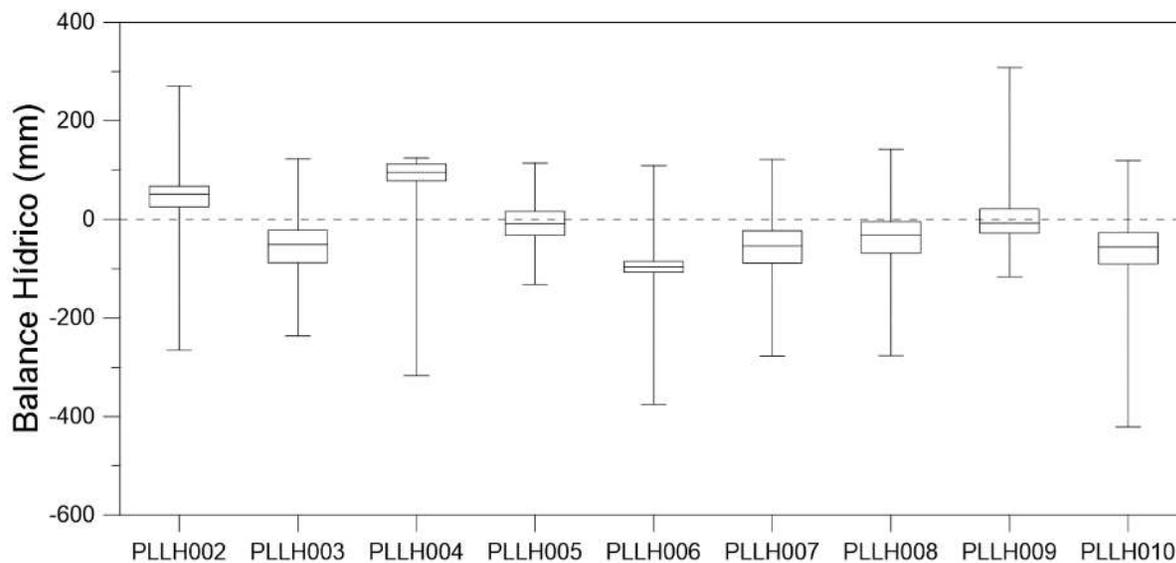
Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

### Balance Hídrico

La Figura 6-158 presenta la distribución de valores del balance hídrico anuales de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL, y los datos utilizados para construir dicha figura se presentan en la Tabla 24S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria. La figura muestra que, en general, los valores de cierre del balance hídrico anual fluctúan alrededor de 0 mm (valor que indica que la cantidad de agua que entra anualmente a una unidad hidrográfica es el mismo que la cantidad que sale) y presentan una variabilidad de  $\pm 100$  mm por año. Estos resultados indican que los errores en el cierre de los balances hídricos de largo plazo para las unidades hidrográficas son menores al 7,8 % del promedio de la precipitación anual estimada en el área geográfica durante el periodo 1964-2019 (1282 mm, sección 6.1.1). Estos valores son comparables con las estimaciones del balance hídrico de una subunidad hidrográfica de la unidad hidrográfica Cristal durante un periodo de tres años, en los que se reportó que el error en el cierre del balance hídrico fue, en promedio, 5,4 % utilizando sensores de última tecnología para estimar la evapotranspiración actual (Ochoa-Sánchez

et al., 2020). Estos bajos porcentajes de error, que comúnmente se deben a incertidumbres en las mediciones de la precipitación y las variables climáticas utilizadas para la estimación de la evapotranspiración, y que han demostrado ser significativos en los páramos del sur del Ecuador (Córdova et al., 2015; Muñoz et al., 2016; Padrón et al., 2015), indican que la contribución de agua subterránea profunda a las unidades hidrográficas de estudio es muy baja a despreciable, como se ha reportado en varias investigaciones científicas sobre la generación de escorrentía superficial en el área geográfica (Correa et al., 2019, 2017; Mosquera et al., 2016a, 2016b).

De forma similar a lo observado para el análisis de los coeficientes de escorrentía, la variabilidad del balance hídrico entre estaciones de monitoreo pertenecientes a las mismas unidades hidrográficas es baja. Las estaciones de monitoreo que forman parte de la unidad hidrográfica Quinuahuyacu (PLLH003, PLLH007, PLLH008 y PLLH010) presentaron un error promedio en el cierre del balance hídrico de -61 mm (con una variación entre -49 y -67 mm) que corresponde a 4,8 % de la entrada de lluvia anual. Las estaciones PLLH005 y PLLH009, pertenecientes a la unidad hidrográfica Alumbre, presentaron un error promedio en el cierre del balance hídrico de -6 mm (con una variación entre -12 y 0 mm), que corresponde a 0,5 % de la entrada de lluvia anual. La variabilidad fue mayor para las estaciones PLLH004 y PLLH006 pertenecientes a la unidad hidrográfica Cristal, cuyos valores promedio fueron de 63 y -97 mm, respectivamente, que corresponden a 4,9 y 7,5 % del promedio anual de lluvia. Valores de balance hídrico menores a -100 mm y mayores a 100 mm fueron observados en menor proporción. Dichos valores resultan de años hidrológicos extremos secos y húmedos que se presentan comúnmente cuando los análisis se realizan usando datos de caudal de largo plazo, como en este estudio. De todas maneras, estos valores fueron menores al 29 % de la lluvia anual en todas las unidades hidrográficas monitoreadas sin que afecten a las conclusiones del estudio antes mencionadas.



**Figura 6-158 Gráfico de Cajas del Balance Hídrico Anual de las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL**

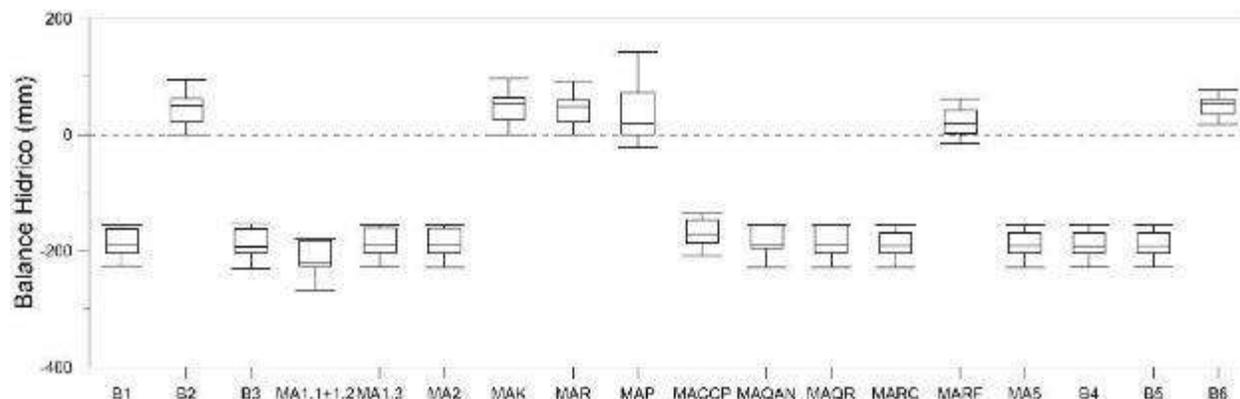
La línea entrecortada en el valor de 0 mm indica que la cantidad de agua que entra y sale de las unidades hidrográficas a escala anual es la misma.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (IDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

Por otro lado, la Figura 6-159 muestra la distribución de valores de balance hídrico para las estaciones de control ubicadas dentro del PLL, y los datos utilizados para construir dicha figura se presentan en la Tabla

25S del Anexo C, Respaldos Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria. En cuanto a las estaciones B2, MAK, MAR, MAP, MARF y B6, el error promedio en el cierre del balance hídrico fue de 31 mm (con una variación entre 18 y 38 mm), que corresponde al 2 % de la entrada de lluvia anual. En el caso de las estaciones B1, B3, MA1.1+1.2, MA1.3, MA2, MACCP, MAQAN, MAQR, MARC, MA5, B4 y B5, el error promedio fue de - 192 mm (con una variación entre -173 y -215 mm), que corresponden al 15 % de la entrada de lluvia anual. Estos valores continúan siendo bajos para poder afectar las conclusiones mencionadas anteriormente.



**Figura 6-159 Gráfico de Cajas del Balance Hídrico Anual de las Estaciones de Control para el EsIA Ubicadas Dentro del PLL**

La línea entrecortada en el valor de 0 mm indica que la cantidad de agua que entra y sale de las unidades hidrográfica a escala anual es la misma.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, marzo 2022

### Caudales Extremos Mínimos

Los caudales mínimos de siete días para un periodo de retorno de diez años (7Q10) calculados para cada mes y cada año durante el periodo de estudio, se presentan en la Tabla 6-102 y la Tabla 26S del Anexo C, Respaldos Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria, respectivamente. En general, estos valores indican que los caudales mínimos en el área geográfica se producen entre septiembre y diciembre, excepto para la estación PLLH003, en la cual el caudal mínimo se produjo en febrero. Entre todas las estaciones de monitoreo, los caudales 7Q10 más bajos se producen en la estación de monitoreo PLLH004, mientras que los más altos se registraron en la estación PLLH003.

**Tabla 6-102 Caudales Extremos Mínimos Mensuales 7Q10 para las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL en m3/s**

Mes	Estación de Monitoreo								
	PLLH002	PLLH003	PLLH004	PLLH005	PLLH006	PLLH007	PLLH008	PLLH009	PLLH010
Enero	0,0076	0,0114	0,0009	0,0048	0,0054	0,0038	0,0171	0,0019	0,0021
Febrero	0,0093	0,0034	0,0011	0,0051	0,0084	0,0017	0,0070	0,0016	0,0020
Marzo	0,0102	0,0189	0,0008	0,0155	0,0082	0,0035	0,0137	0,0033	0,0040
Abril	0,0184	0,0261	0,0025	0,0164	0,0144	0,0050	0,0227	0,0040	0,0058
Mayo	0,0212	0,0289	0,0028	0,0163	0,0124	0,0047	0,0207	0,0072	0,0053
Junio	0,0184	0,0298	0,0026	0,0159	0,0156	0,0062	0,0280	0,0051	0,0071

Mes	Estación de Monitoreo								
	PLLH002	PLLH003	PLLH004	PLLH005	PLLH006	PLLH007	PLLH008	PLLH009	PLLH010
Julio	0,0131	0,0298	0,0017	0,0143	0,0094	0,0050	0,0224	0,0057	0,0054
Agosto	0,0049	0,0248	0,0003	0,0106	0,0037	0,0032	0,0147	0,0045	0,0037
Septiembre	0,0036	0,0220	0,0001	0,0091	0,0003	0,0029	0,0067	0,0018	0,0033
Octubre	0,0043	0,0149	0,0001	0,0054	0,0003	0,0020	0,0072	0,0017	0,0023
Noviembre	0,0029	0,0144	0,0003	0,0032	0,0023	0,0017	0,0075	0,0011	0,0020
Diciembre	0,0027	0,0106	0,0008	0,0049	0,0049	0,0016	0,0068	0,0010	0,0018

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

Por otro lado, los caudales mínimos de siete días para un periodo de retorno de diez años (7Q10) calculados para cada mes y cada año para las estaciones de control del EsIA durante el periodo de estudio, se presentan en la Tabla 6-103 y la Tabla 27S del Anexo C, Respaldos Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria, respectivamente. En general, estos valores indican que los caudales mínimos en el área geográfica se producen entre agosto y diciembre. Entre todas las estaciones de monitoreo, los caudales 7Q10 más bajos se producen en la estación de monitoreo B1, mientras que los más alto se registraron en la estación MARC.

**Tabla 6-103 Caudales Extremos Mínimos Mensuales 7Q10 para las Estaciones de Control del EsIA Ubicadas Dentro del PLL en m<sup>3</sup>/s**

Mes	Estación de Control									
	B1	B2	B3	MA1.1+1.2	MA1.3	MA2	MAK	MAR	MAP	MACCP
Enero	0,00010	0,00010	0,00010	0,00477	0,00036	0,01414	0,00117	0,00089	0,00646	0,00070
Febrero	0,00010	0,00010	0,00010	0,01632	0,00034	0,01390	0,00117	0,00110	0,00639	0,00070
Marzo	0,00010	0,00010	0,00019	0,01589	0,00067	0,02737	0,00229	0,00121	0,01373	0,00134
Abril	0,00029	0,00030	0,00033	0,01427	0,00147	0,05824	0,00486	0,00274	0,03440	0,00321
Mayo	0,00020	0,00041	0,00020	0,01059	0,00093	0,03676	0,00307	0,00384	0,03066	0,00201
Junio	0,00030	0,00040	0,00039	0,00907	0,00154	0,06187	0,00520	0,00351	0,03754	0,00350
Julio	0,00020	0,00020	0,00020	0,00535	0,00099	0,03931	0,00329	0,00156	0,02587	0,00217
Agosto	0,00010	0,00010	0,00024	0,00315	0,00064	0,02561	0,00214	0,00059	0,01844	0,00143
Septiembre	0,00010	0,00001	0,00010	0,00492	0,00057	0,02284	0,00190	0,00040	0,01693	0,00126
Octubre	0,00010	0,00010	0,00010	0,00511	0,00040	0,01600	0,00134	0,00029	0,00700	0,00084
Noviembre	0,00010	0,00010	0,00010	0,01553	0,00033	0,01370	0,00114	0,00020	0,00446	0,00073
Diciembre	0,00010	0,00010	0,00010	0,01637	0,00030	0,01247	0,00104	0,00030	0,00406	0,00067
Mínimo	0,00010	0,00001	0,00010	0,00315	0,00030	0,01247	0,00104	0,00020	0,00406	0,00067
Media	0,00015	0,00017	0,00018	0,01011	0,00071	0,02852	0,00238	0,00139	0,01716	0,00155
Máximo	0,00030	0,00041	0,00039	0,01637	0,00154	0,06187	0,00520	0,00384	0,03754	0,00350
Mes	Estación de Control									
	MAQAN	MAQR	MARC	MARF	MA5	B4	B5	B6		

Mes	Estación de Control									
	B1	B2	B3	MA1.1+1.2	MA1.3	MA2	MAK	MAR	MAP	MACCP
Enero	0.02469	0.01506	0.03070	0.01716	0.00536	0.00061	0.00104	0.00509		
Febrero	0.02426	0.01479	0.03016	0.01630	0.00524	0.00060	0.00101	0.00619		
Marzo	0.04776	0.02910	0.05939	0.02380	0.01039	0.00120	0.00203	0.00684		
Abril	0.10163	0.06194	0.12639	0.03909	0.02211	0.00257	0.00429	0.01553		
Mayo	0.06416	0.03910	0.07976	0.04227	0.01396	0.00163	0.00271	0.02174		
Junio	0.10796	0.06580	0.13427	0.04740	0.02349	0.00273	0.00454	0.01980		
Julio	0.06861	0.04181	0.08534	0.02413	0.01491	0.00174	0.00291	0.00881		
Agosto	0.04469	0.02723	0.05556	0.01164	0.00971	0.00114	0.00189	0.00331		
Septiembre	0.03986	0.02429	0.04956	0.00924	0.00867	0.00101	0.00167	0.00237		
Octubre	0.02786	0.01699	0.03466	0.00704	0.00606	0.00070	0.00117	0.00156		
Noviembre	0.02393	0.01459	0.02976	0.00556	0.00520	0.00060	0.00101	0.00116		
Diciembre	0.02176	0.01326	0.02706	0.00844	0.00473	0.00056	0.00093	0.00180		
Mínimo	0.02176	0.01326	0.02706	0.00556	0.00473	0.00056	0.00093	0.00116		
Media	0.04976	0.03033	0.06188	0.02101	0.01082	0.00126	0.00210	0.00785		
Máximo	0.10796	0.06580	0.13427	0.04740	0.02349	0.00273	0.00454	0.02174		

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

### Caudales Extremos Máximos

La Tabla 6-104 y Tabla 6-105 presentan los resultados de los caudales extremos máximos de cada estación de monitoreo dentro del PLL para diferentes periodos de retorno. Las distribuciones GEV que fueron ajustadas para calcular dichos caudales extremos junto a sus intervalos de confianza del 95 % se presentan en las Figuras 17S a 25S del Anexo C, Respaldos Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria para cada estación. Debido a que para las estaciones de control para el EsIA solamente se contó con 12 años, los resultados de este análisis para los periodos de retorno mayores a diez años presentan una baja confiabilidad, por lo que los caudales extremos máximos para periodos de retorno mayores deben ser usados con precaución en dichas estaciones.

**Tabla 6-104 Caudales Extremos Máximos para Diferentes Periodos de Retorno para las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL en m<sup>3</sup>/s**

Periodo de Retorno (años)	Estación de Monitoreo								
	PLLH002	PLLH003	PLLH004	PLLH005	PLLH006	PLLH007	PLLH008	PLLH009	PLLH010
2	0,6742	0,5701	0,1907	0,4644	1,2024	0,0969	0,4319	0,1816	0,111
5	0,8879	0,7674	0,2689	0,616	1,6207	0,1308	0,606	0,2406	0,1512
10	1,0532	0,9304	0,3335	0,7313	1,9601	0,1596	0,7672	0,2847	0,1861
25	1,2325	1,1165	0,407	0,8546	2,3421	0,1932	0,9685	0,3312	0,2274
50	1,4988	1,4096	0,5225	1,035	2,934	0,2474	1,3197	0,3982	0,2954
100	1,7272	1,6757	0,6272	1,1875	3,4632	0,2978	1,6717	0,4541	0,3599

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo

hidrometeorológico, 2006-2019  
Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

**Tabla 6-105 Caudales Extremos Máximos para Diferentes Periodos de Retorno para las Estaciones de Control del EsIA Ubicadas Dentro del PLL en m3/s**

Periodo de retorno (Años)	Estación de Control									
	B1	B2	B3	MA1.1+1.2	MA1.3	MA2	MAK	MAR	MAP	MACCP
2	0.0049	0.0107	0.0063	0.0262	0.0894	1.0717	0.1237	0.0963	0.8962	0.0590
5	0.0055	0.0116	0.0071	0.0313	0.1007	1.2073	0.1345	0.1047	1.0070	0.0666
10	0.0058	0.0119	0.0075	0.0347	0.1060	1.2702	0.1371	0.1066	1.0444	0.0701
25	0.0060	0.0120	0.0078	0.0379	0.1098	1.3162	0.1382	0.1074	1.0657	0.0727
50	0.0062	0.0121	0.0080	0.0422	0.1135	1.3601	0.1389	0.1078	1.0813	0.0751
100	0.0064	0.0121	0.0082	0.0453	0.1155	1.3843	0.1391	0.1080	1.0879	0.0765
Periodo de retorno (Años)	Estación de Control									
	MAQAN	MAQR	MARC	MARF	MA5	B4	B5	B6		
2	1.8700	1.1400	2.3257	1.1324	0.4068	0.0473	0.0788	0.5411		
5	2.1065	1.2842	2.6198	1.2396	0.4583	0.0533	0.0888	0.5890		
10	2.2164	1.3511	2.7565	1.2665	0.4822	0.0561	0.0935	0.6009		
25	2.2966	1.4000	2.8562	1.2788	0.4996	0.0581	0.0968	0.6063		
50	2.3732	1.4467	2.9514	1.2859	0.5163	0.0600	0.1001	0.6094		
100	2.4155	1.4725	3.0040	1.2882	0.5255	0.0611	0.1019	0.6104		

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

### Caudales Ecológicos

Los valores de los caudales ecológicos mensuales para cada estación de monitoreo dentro del PLL se muestran en la Tabla 6-106, y de las estaciones de control en la Tabla 6-107. Estos valores corresponden al 10 % de los caudales promedios de cada mes, que se presentan en las Tablas 1S a 21S del Anexo C, Respaldo Línea Base. C.1 Componente Físico, C.1.13 Información hidrológica complementaria. En general, dentro del área geográfica los caudales ecológicos más bajos se produjeron en agosto para las estaciones de monitoreo y en septiembre para las estaciones de control, mientras que los más altos fueron observados durante abril para las estaciones de monitoreo y durante febrero para las estaciones de control.

**Tabla 6-106 Caudales Ecológicos Mensuales para las Estaciones de Monitoreo Ubicadas Dentro del PLL en m3/s**

Mes	Estación de Monitoreo									
	PLLH002	PLLH003	PLLH004	PLLH005	PLLH006	PLLH007	PLLH008	PLLH009	PLLH010	
Enero	0,0077	0,0098	0,0022	0,0055	0,0151	0,0018	0,0076	0,0021	0,0020	
Febrero	0,0102	0,0127	0,0033	0,0068	0,0222	0,0023	0,0101	0,0024	0,0027	
Marzo	0,0092	0,0123	0,0032	0,0064	0,0222	0,0021	0,0094	0,0026	0,0025	
Abril	0,0119	0,0156	0,0044	0,0077	0,0283	0,0027	0,0118	0,0029	0,0031	

Mes	Estación de Monitoreo								
	PLLH002	PLLH003	PLLH004	PLLH005	PLLH006	PLLH007	PLLH008	PLLH009	PLLH010
Mayo	0,0100	0,0139	0,0035	0,0063	0,0220	0,0023	0,0103	0,0025	0,0026
Junio	0,0093	0,0132	0,0031	0,0063	0,0200	0,0022	0,0097	0,0025	0,0025
Julio	0,0078	0,0113	0,0025	0,0050	0,0160	0,0019	0,0083	0,0020	0,0021
Agosto	0,0056	0,0085	0,0015	0,0040	0,0105	0,0014	0,0062	0,0016	0,0016
Septiembre	0,0059	0,0087	0,0016	0,0048	0,0115	0,0015	0,0063	0,0018	0,0017
Octubre	0,0071	0,0098	0,0020	0,0049	0,0143	0,0016	0,0071	0,0019	0,0019
Noviembre	0,0074	0,0103	0,0022	0,0047	0,0150	0,0017	0,0076	0,0018	0,0020
Diciembre	0,0065	0,0091	0,0018	0,0044	0,0136	0,0016	0,0068	0,0017	0,0018

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019; Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2019

Elaboración: Giovanni Mosquera, Patricio Lazo, julio 2020

**Tabla 6-107 Caudales Ecológicos Mensuales para las Estaciones de Control del EsIA Ubicadas Dentro del PLL en m<sup>3</sup>/s**

Mes	Estación de Control									
	B1	B2	B3	MA1.1+1.2	MA1.3	MA2	MAK	MAR	MAP	MACCP
Enero	0.00009	0.00012	0.00012	0.00050	0.00165	0.01978	0.00138	0.00107	0.00837	0.00107
Febrero	0.00013	0.00019	0.00017	0.00073	0.00244	0.02929	0.00217	0.00168	0.01002	0.00159
Marzo	0.00010	0.00014	0.00013	0.00055	0.00185	0.02212	0.00156	0.00121	0.01302	0.00119
Abril	0.00012	0.00016	0.00015	0.00065	0.00216	0.02588	0.00181	0.00141	0.01179	0.00140
Mayo	0.00010	0.00015	0.00013	0.00056	0.00186	0.02225	0.00169	0.00131	0.01148	0.00121
Junio	0.00010	0.00014	0.00012	0.00053	0.00177	0.02117	0.00160	0.00124	0.01093	0.00116
Julio	0.00007	0.00010	0.00010	0.00041	0.00137	0.01638	0.00118	0.00092	0.00831	0.00089
Agosto	0.00004	0.00005	0.00006	0.00024	0.00079	0.00950	0.00060	0.00047	0.00548	0.00051
Septiembre	0.00004	0.00004	0.00005	0.00022	0.00074	0.00885	0.00050	0.00039	0.00334	0.00047
Octubre	0.00005	0.00005	0.00006	0.00025	0.00083	0.00998	0.00061	0.00047	0.00430	0.00053
Noviembre	0.00005	0.00005	0.00006	0.00027	0.00089	0.01069	0.00060	0.00046	0.00339	0.00057
Diciembre	0.00005	0.00006	0.00007	0.00028	0.00093	0.01119	0.00068	0.00053	0.00526	0.00060

Mes	Estación de Control							
	MAQAN	MAQR	MARC	MARF	MA5	B4	B5	B6
<b>Enero</b>	<b>0.03452</b>	<b>0.02104</b>	<b>0.04293</b>	<b>0.01190</b>	<b>0.00751</b>	<b>0.00087</b>	<b>0.00146</b>	<b>0.00604</b>
<b>Febrero</b>	<b>0.05111</b>	<b>0.03116</b>	<b>0.06356</b>	<b>0.01821</b>	<b>0.01112</b>	<b>0.00129</b>	<b>0.00215</b>	<b>0.00952</b>
Marzo	0.03859	0.02353	0.04800	0.01338	0.00840	0.00098	0.00163	0.00687
Abril	0.04516	0.02753	0.05616	0.01519	0.00982	0.00114	0.00190	0.00794
Mayo	0.03883	0.02367	0.04829	0.01438	0.00845	0.00098	0.00164	0.00741
Junio	0.03693	0.02251	0.04593	0.01389	0.00803	0.00093	0.00156	0.00704
Julio	0.02858	0.01742	0.03555	0.01051	0.00622	0.00072	0.00120	0.00519

Agosto	0.01658	0.01011	0.02062	0.00592	0.00361	0.00042	0.00070	0.00265
Septiembre	0.01544	0.00941	0.01920	0.00492	0.00336	0.00039	0.00065	0.00218
Octubre	0.01741	0.01061	0.02165	0.00584	0.00379	0.00044	0.00073	0.00268
Noviembre	0.01864	0.01137	0.02319	0.00563	0.00406	0.00047	0.00079	0.00262
Diciembre	0.01952	0.01190	0.02427	0.00633	0.00425	0.00049	0.00082	0.00299

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, Base de datos de monitoreo hidrometeorológico, 2006-2020  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022

## Conclusiones

Las principales conclusiones del análisis de la hidrología superficial de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL se detallan a continuación:

- > En general, la dinámica mensual de caudal mostró una estacionalidad poco marcada para caudales promedio y bajos entre todas las unidades hidrográficas dentro del área geográfica. La estacionalidad es marcada para caudales altos cuyos valores más altos de enero a junio.
- > El análisis de las curvas de duración de caudal indicó que la hidrología está dominada por la producción de caudales moderados a bajos, que coincide con los hallazgos previamente reportados para cuencas de páramo con condiciones biofísicas y geomorfológicas similares (Mosquera et al., 2015). Dicho análisis también indicó que el funcionamiento hidrológico de todas las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL es homogéneo presentando una similar capacidad de producción y regulación de caudales.
- > La estrecha similitud entre la forma de las curvas de duración de caudales de las unidades hidrográficas dentro del PLL y las ubicadas fuera del proyecto a escala regional (que abarcaron todos los rangos de caudales específicos de las estaciones dentro del área geográfica) indicaron que la producción y regulación de caudales en el área geográfica es representativa de la hidrología regional de los páramos del sur del Ecuador.
- > Los coeficientes de escorrentía anuales de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del PLL indicaron que todas las unidades hidrográficas poseen una alta capacidad de producción anual del caudal, que varía entre el 40 y 70 % de la entrada de precipitación, que concuerda con lo reportado en previas investigaciones científicas en otras unidades hidrográficas de páramo en la región (Buytaert et al., 2007; Crespo et al., 2011; Mosquera et al., 2015).
- > Los errores en el balance hídrico anual de las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL fueron menores al 7,8 % del promedio de la precipitación anual estimada en el área geográfica durante el periodo 1964-2019 respaldando hallazgos científicos previos en la región (Ochoa-Sánchez et al., 2020). En el caso de las estaciones de control, el error fue menor al 2 % en B2, MAK, MAR, MAP, MARF y B6, y menor al 15 % en B1, B3, MA1.1+1.2, MA1.3, MA2, MACCP, MAQAN, MAQR, MARC, MA5, B4, y B5. Estos bajos porcentajes de error indican que tanto la percolación de agua superficial a reservorios de agua profundos como la contribución de agua subterránea profunda a las unidades hidrográficas de estudio es muy baja a despreciable, como se ha reportado en varias investigaciones científicas sobre la generación de escorrentía superficial en el área geográfica (Correa et al., 2019, 2017; Mosquera et al., 2016a).
- > Los caudales extremos mínimos para las unidades hidrográficas ubicadas dentro del PLL se producen entre septiembre y diciembre.
- > Al comparar los caudales extremos mínimos (7Q10) de todas las estaciones dentro del PLL con los caudales de no excedencia del 15% (Q85 de excedencia) de las curvas de estacionalidad, se pudo observar que los 7Q10 son alrededor del 70% menores. De igual manera, al comparar los valores de

7Q10 con los correspondientes al caudal ecológico (10% del caudal promedio mensual), se puede observar que el 7Q10 tiene valores similares, aunque los valores mínimos en su mayoría corresponden al 7Q10 con diferencias de hasta el 90% en algunos casos. Del análisis se puede concluir que el 7Q10 es un índice mucho más conservador para el caso de caudales mínimos necesarios para la planeación del funcionamiento operativo del PLL.

- > Se presentan estimaciones de los caudales extremos máximos para diferentes periodos de retorno y los caudales ecológicos de cada una de las estaciones ubicadas dentro del PLL utilizando datos de largo plazo durante el periodo 1964-2019, que pueden servir como base para la construcción de obras civiles (galerías subterráneas, planta tratamiento, presa de relaves, captación de agua, conducción de agua, desfogue de agua, entre otras) y la implementación de medidas de protección y mitigación de impactos que ayuden a mantener el abastecimiento de los usos de agua a las comunidades aguas abajo y las zonas de conservación y terrenos comunitarios.
- > Las estaciones de control para el EIA del PLL serán incluidas como parte del plan de monitoreo del plan de manejo ambiental, lo que ayudará a corroborar los resultados obtenidos en este estudio para el grupo de unidades hidrográficas en mención.

### 6.1.1.13.2 Calidad del Agua Superficial

#### Metodología

##### Puntos de Muestreo

Con el objetivo representar de manera precisa la línea base de calidad de agua superficial del PLL, se ha diseñado una red de puntos de monitoreo con un amplio rango espacial y temporal (Tabla 6-108 y Figura 6-161). En las características mostradas en la tabla, se especifica si estos puntos pertenecen a ecosistema de páramo herbáceo (denominado a continuación páramo) o ecosistema de bosque montano, con la finalidad de identificar puntos con distintas características debido al cambio de ecosistemas (por ejemplo, mayor cantidad de sedimentos en suspensión debido a la mayor erosión).

Para la selección de estos puntos de muestreo se han tomado en cuenta criterios técnicos, con el fin de cubrir las recomendaciones del Ministerio del Ambiente del Ecuador en base a la “Guía para elaboración de estudios de impacto ambiental (EIA) sector minero”.

- > En primer lugar, en función al uso del agua, cuatro puntos de uso consuntivo fueron identificados aguas abajo del PLL, que es la captación de agua para canal de riego de San Gerardo (código: MAR), la captación y canal de riego Cristal-Alumbre y Alumbre San Martín (códigos: MARC, MACCP, JOR y MAP), en este grupo es importante destacar el punto de monitoreo MARC que aunque se encuentra después de la captación del canal de riego Alumbre San Martín y no influye en el mismo fue tomado en cuenta para el análisis ya que se encuentra cercano al canal mencionado, el canal para riego Gualay (códigos: B1, B2, B3) y la captación para agua de consumo humano y abrevaderos de animales (código: MA3); y, asimismo, se tomó en cuenta puntos de monitoreo en la cabecera de las cuencas hidrográficas permanentes y a la salida de las concesiones del Proyecto.
- > Segundo, con la finalidad de establecer una línea base clara de la zona del Proyecto, se tomó en cuenta aquellos puntos ubicados en las cercanías o cuerpos de agua vecinos que puedan representar la dinámica real de la calidad de agua actual de la zona en general que están fuera del área de implantación del PLL, pero que pertenecen a la zona de estudio.
- > Tercero, los puntos han sido seleccionados en función de las futuras intervenciones en las etapas de construcción, operación y mantenimiento y cierre del PLL. Por ejemplo, en la Figura 6-161 se observa cómo los puntos B1, B2, B3, MA2, MA4, MAP y TAS, en general, cubren los afluentes que están a la salida o cerca de la salida de todas las concesiones mineras. Otro ejemplo son las zonas de potenciales obras (relavera, planta de tratamiento, canal de conducción de aguas, vías, desfogue de

aguas post-tratamiento, etc.) y aguas abajo del emplazamiento de estas potenciales obras con los puntos con los puntos MAR, MAK, MACHT, MA1, QUIV, MAQAN, MA2, MACCP, B1, B2, B3, MA7 y JOR (Figura 6-161).

- > Además de lo anterior, es importante recalcar el hecho de que en la zona no existen actividades productivas, hasta la fecha, a excepción de pastoreo extensivo esporádico en las áreas de terrenos comunales, aspecto que fue tomado en cuenta para la ubicación de los puntos MAZHA, MAZH y TAS.

Página en blanco

**Tabla 6-108 Ubicación de los Puntos de Muestreo de Aguas Superficiales**

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
1	MACCP	Quebrada Alumbre	697896,47	9660131,16	3748	3/10/2012	Alumbre	0,17	NA	Herbazal del páramo
						28/12/2012				
						28/3/2013				
						28/6/2013				
						30/9/2013				
						23/12/2013				
						29/3/2014				
						27/6/2014				
						26/9/2014				
						29/12/2014				
						26/9/2017				
						28/12/2017				
						28/3/2018				
						2/10/2018				
						9/5/2020				
						31/10/2020				
						29/11/2020				
						30/1/2021				
						28/2/2021				
						31/3/2021				
23/4/2021										
15/5/2021										
11/6/2021										
26/7/2021										
26/8/2021										
20/9/2021										
20/10/2021										
2	MA7	Quebrada S/N	698072,46	9658723,15	3589	11/1/2012		2,00	NA	Herbazal del páramo
						26/4/2012				
						4/7/2017				
						31/7/2017				
						31/8/2017				
						30/10/2017				
						30/11/2017				
						28/12/2017				
						28/3/2018				
						2/10/2018				
						2/10/2018				
						26/9/2017				
						19/12/2018				
						24/9/2019				
						19/12/2019				

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						9/5/2020 31/10/2020 29/11/2020 30/1/2021 28/2/2021 31/3/2021 23/4/2021 16/5/2021 11/6/2021 26/7/2021 27/8/2021 21/9/2021 21/10/2021				
3	JOR	Quebrada Alumbre	698193,45	9658579,15	3570	23/1/2008 20/2/2008 18/3/2008 16/4/2008 22/5/2008 27/6/2008 17/7/2008 21/8/2008 19/9/2008 16/10/2008 19/11/2008 23/12/2008 28/1/2009 18/2/2009 12/3/2009 22/4/2009 20/5/2009 24/6/2009 22/7/2009 26/8/2009 23/9/2009 28/10/2009 8/11/2009 16/12/2009 17/2/2010 4/3/2010 27/5/2010 25/8/2010 24/11/2010 24/2/2011 6/7/2011	1,40	NA	Herbazal del páramo	

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						14/12/2011 28/6/2012 9/5/2020 31/10/2020 29/11/2020 30/1/2021 28/2/2021 31/3/2021 23/4/2021 16/5/2021 11/6/2021 26/7/2021 27/8/2021 21/9/2021 21/10/2021				
4	MAP	Quebrada Alumbre	698399,44	9656848,15	3279	24/1/2008 21/2/2008 19/3/2008 17/4/2008 22/5/2008 27/6/2008 17/7/2008 21/8/2008 19/9/2008 16/10/2008 20/11/2008 23/12/2008 28/1/2009 18/2/2009 12/3/2009 22/4/2009 20/5/2009 24/6/2009 22/7/2009 26/8/2009 23/9/2009 28/10/2009 8/11/2009 16/12/2009 17/2/2010 4/3/2010 27/5/2010 25/8/2010 24/11/2010		1,15	NA	Bosque siempreverde montano alto de cordillera occidental de los Andes

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						24/2/2011 6/7/2011 14/12/2011 28/6/2012 4/7/2017 31/7/2017 31/8/2017 30/10/2017 30/11/2017 28/12/2017 28/3/2018 2/10/2018 20/12/2018 10/5/2020 31/10/2020 29/11/2020 30/1/2021 28/2/2021 31/3/2021 23/4/2021 16/5/2021 11/6/2021 26/7/2021 27/8/2021 21/9/2021 21/10/2021				
5	B1	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Bermejós)	697175,00	9663183,00	3788	8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021	Bermejós	0,55	NA	Herbazal del páramo
6	B2	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Bermejós)	697179,00	9663301,00	3786	8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021		0,25	NA	Herbazal del páramo

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
7	B3	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Bermejós)	697246,00	9663456,00	3789	8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021	0,35	NA	Herbazal del páramo	
8	B4	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Bermejós)	695820,00	9663820,00	3763	22/10/2021	0,2	NA	Herbazal del páramo	
9	B5	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Bermejós)	696505,00	9664025,00	3765	22/10/2021	0,3	NA	Herbazal del páramo	
10	B6	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Bermejós)	696601,00	9664162,00	3760	22/10/2021	2,37	NA	Herbazal del páramo	
11	MAZHA	Quebrada S/N	696257,46	9659545,17	3658	26/9/2017 28/12/2017 28/3/2018 2/10/2018 20/12/2018 9/5/2020 31/10/2020 29/11/2020 30/1/2021 28/2/2021 31/3/2021 23/4/2021 16/5/2021 11/6/2021 26/7/2021	Cristal	2,50	NA	Herbazal del páramo

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						27/8/2021 21/9/2021 21/10/2021				
12	MAZH	Quebrada S/N	696425,46	9659307,17	3650	26/9/2017 28/12/2017 28/3/2018 2/10/2018 20/12/2018 9/5/2020 31/10/2020 29/11/2020 30/1/2021 28/2/2021 31/3/2021 23/4/2021 16/5/2021 11/6/2021 26/7/2021 27/8/2021 21/9/2021 21/10/2021	0,40	NA	Herbazal del páramo	
13	TAS	Río Cristal	696134,45	9658271,17	3493	23/1/2008 20/2/2008 18/3/2008 16/4/2008 21/5/2008 26/6/2008 16/7/2008 20/8/2008 18/9/2008 15/10/2008 19/11/2008 23/12/2008 28/1/2009 18/2/2009 12/3/2009 22/4/2009 20/5/2009 24/6/2009 22/7/2009 26/8/2009 23/9/2009 28/10/2009	1,70	NA	Intervención	

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						16/12/2009 17/2/2010 4/3/2010 27/5/2010 25/8/2010 24/11/2010 24/2/2011 6/7/2011 14/12/2011 9/5/2020 31/10/2020 29/11/2020 30/1/2021 28/2/2021 31/3/2021 23/4/2021 16/5/2021 11/6/2021 26/7/2021 27/8/2021 20/9/2021 21/10/2021				
14	MARC	Río Cristal (Después de la confluencia)	696807,00	9654800,00	2892	21/10/2021		0,7	NA	Zona intervenida, pasto y ganadería
15	MAR	Quebrada S/N	697756,48	9662205,15	3776	26/9/2017 28/12/2017 28/3/2018 1/10/2018 20/12/2018 8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021	Rumiguaycu	0,40	NA	Herbazal del páramo
16	MAK	Quebrada S/N	698910,47	9661462,15	3665	11/1/2012		0,23	NA	Herbazal del páramo

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						26/4/2012 26/7/2012 3/10/2012 28/12/2012 28/3/2013 28/6/2013 30/9/2013 23/12/2013 29/3/2014 27/6/2014 26/9/2014 29/12/2014 8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 27/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
17	MA3	Quebrada Rumiguaycu	698997,47	9661003,15	3597	23/1/2008 21/2/2008 18/3/2008 16/4/2008 21/5/2008 26/6/2008 16/7/2008 20/8/2008 18/9/2008 15/10/2008 19/11/2008 23/12/2008 28/1/2009 18/2/2009 22/4/2009 20/5/2009 24/6/2009 22/7/2009 26/8/2009	1,20	NA	Herbazal del páramo	

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						23/9/2009				
						28/10/2009				
						8/11/2009				
						16/12/2009				
						17/2/2010				
						4/3/2010				
						27/5/2010				
						25/8/2010				
						24/11/2010				
						24/2/2011				
						6/7/2011				
						14/12/2011				
						28/6/2012				
						25/2/2015				
						31/3/2015				
						26/6/2015				
						30/9/2015				
						23/12/2015				
						30/3/2016				
						28/6/2016				
						30/9/2016				
						21/12/2016				
						31/3/2017				
						22/6/2017				
						27/9/2017				
						29/12/2017				
						29/3/2018				
						29/6/2018				
						28/9/2018				
						21/12/2018				
						24/1/2019				
						29/3/2019				
						25/9/2019				
						20/12/2019				
						8/5/2020				
						30/10/2020				
						28/11/2020				
						29/1/2021				
						27/2/2021				
						30/3/2021				
						22/4/2021				
						15/5/2021				
						10/6/2021				
						25/7/2021				

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						27/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
18	MA4	Quebrada Rumiguaycu	699664,47	9660625,14	3552	25/2/2015 31/3/2015 26/6/2015 30/9/2015 23/12/2015 30/3/2016 28/6/2016 30/9/2016 21/12/2016 31/3/2017 22/6/2017 27/9/2017 29/12/2017 29/3/2018 29/6/2018 28/9/2018 21/12/2018 24/1/2019 29/3/2019 25/9/2019 20/12/2019 8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 27/8/2021 20/9/2021 20/10/2021	1,80	NA	Herbazal del páramo	
19	MAQR	Quebrada Rumiguaycu (Parte Baja Calloancay)	701052,00	9659652,00	3458	21/10/2021		2,7	NA	Herbazal del páramo
20	MAQA	Quebrada S/N	698854,49	9664158,15	3652	26/9/2017 28/12/2017 28/3/2018 1/10/2018	Quinuahuaycu	0,85	NA	Herbazal del páramo

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						19/12/2018 8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
21	MACHT	Quebrada S/N	698399,49	9663551,15	3730	23/1/2008 20/2/2008 18/3/2008 16/4/2008 21/5/2008 26/6/2008 16/7/2008 20/8/2008 18/9/2008 15/10/2008 19/11/2008 23/12/2008 28/1/2009 18/2/2009 12/3/2009 22/4/2009 20/5/2009 24/6/2009 22/7/2009 26/8/2009 23/9/2009 28/10/2009 8/11/2009 16/12/2009 17/2/2010 4/3/2010 27/5/2010 25/8/2010 24/11/2010 24/2/2011	0,60	NA	Herbazal del páramo	

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						6/7/2011 18/10/2011 14/12/2011 11/1/2012 26/4/2012 28/6/2012 26/7/2012 3/10/2012 28/12/2012 28/3/2013 28/6/2013 30/9/2013 23/12/2013 29/3/2014 27/6/2014 26/9/2014 29/12/2014 26/9/2017 28/12/2017 1/10/2018 19/12/2018 8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
22	MA1.1	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Quinuahuaycu)	698869,00	9663314,00	3621	8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021		0,40	NA	Herbazal del páramo

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
23	MA1.2	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Quinuahuaycu)	698854,00	9663427,00	3621	8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021	0,10	NA	Herbazal del páramo	
24	MA1.3	Quebrada S/N (afluente de la quebrada Quinuahuaycu)	699105,00	9663070,00	3588	8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021	0,60	NA	Herbazal del páramo	
25	MA1	Quebrada Quinuahuaycu	698885,49	9663551,15	3628	17/10/2011 11/1/2012 26/4/2012 26/7/2012 3/10/2012 28/12/2012 28/3/2013 28/6/2013 30/9/2013 23/12/2013 29/3/2014 27/6/2014 26/9/2014 29/12/2014	0,50	NA	Herbazal del páramo	

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						25/2/2015 31/3/2015 26/6/2015 30/9/2015 23/12/2015 30/3/2016 28/6/2016 30/9/2016 21/12/2016 31/3/2017 22/6/2017 27/9/2017 29/12/2017 29/3/2018 29/6/2018 28/9/2018 21/12/2018 24/1/2019 29/3/2019 25/9/2019 20/12/2019 8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
26	QUIV	Quebrada Quinuahuaycu	698970,49	9663266,15	3598	23/1/2008 20/2/2008 18/3/2008 16/4/2008 21/5/2008 26/6/2008 16/7/2008 20/8/2008 18/9/2008 15/10/2008		2,20	NA	Herbazal del páramo

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						19/11/2008 23/12/2008 28/1/2009 18/2/2009 12/3/2009 22/4/2009 20/5/2009 24/6/2009 22/7/2009 26/8/2009 23/9/2009 28/10/2009 8/11/2009 16/12/2009 17/2/2010 4/3/2010 27/5/2010 25/8/2010 24/11/2010 24/2/2011 6/7/2011 14/12/2011 28/6/2012 8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
27	MA2	Quebrada Quinuahuaycu	699756,48	9662620,14	3543	26/7/2012 3/10/2012 28/12/2012 28/3/2013 28/6/2013 30/9/2013 23/12/2013 29/3/2014		1,90	NA	Herbazal del páramo

Número de muestra	Código de muestra	Cuerpo de Agua	Coordenadas WGS84 Zona 17Sur			Fecha de muestreo	Descripción del sitio de muestreo			
			Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)		Unidad Hidrográfica	Ancho (m)	Profundidad* (m)	Ecosistema
						27/6/2014 26/9/2014 29/12/2014 25/2/2015 31/3/2015 26/6/2015 30/9/2015 23/12/2015 30/3/2016 28/6/2016 30/9/2016 21/12/2016 31/3/2017 22/6/2017 27/9/2017 29/12/2017 29/3/2018 29/6/2018 28/9/2018 21/12/2018 21/12/2018 24/1/2019 29/3/2019 25/9/2019 20/12/2019 8/5/2020 30/10/2020 28/11/2020 29/1/2021 27/2/2021 30/3/2021 22/4/2021 15/5/2021 10/6/2021 25/7/2021 26/8/2021 20/9/2021 20/10/2021				
28	MAQAN	Quebrada Quinuahuaycu (Parte Baja)	701090,00	9661773,00	3419	21/10/2021		2,65	NA	Herbazal del páramo
29	MA5	Río Falso - Parte Alta	699687,00	9657969,00	3603	22/10/2021	Río Falso	0,95	NA	Herbazal del páramo
30	MARF	Río Falso - Parte Baja	699948,00	9655697,00	3322	22/10/2021		1,67	NA	Zona Intervenida, pasto y ganadería

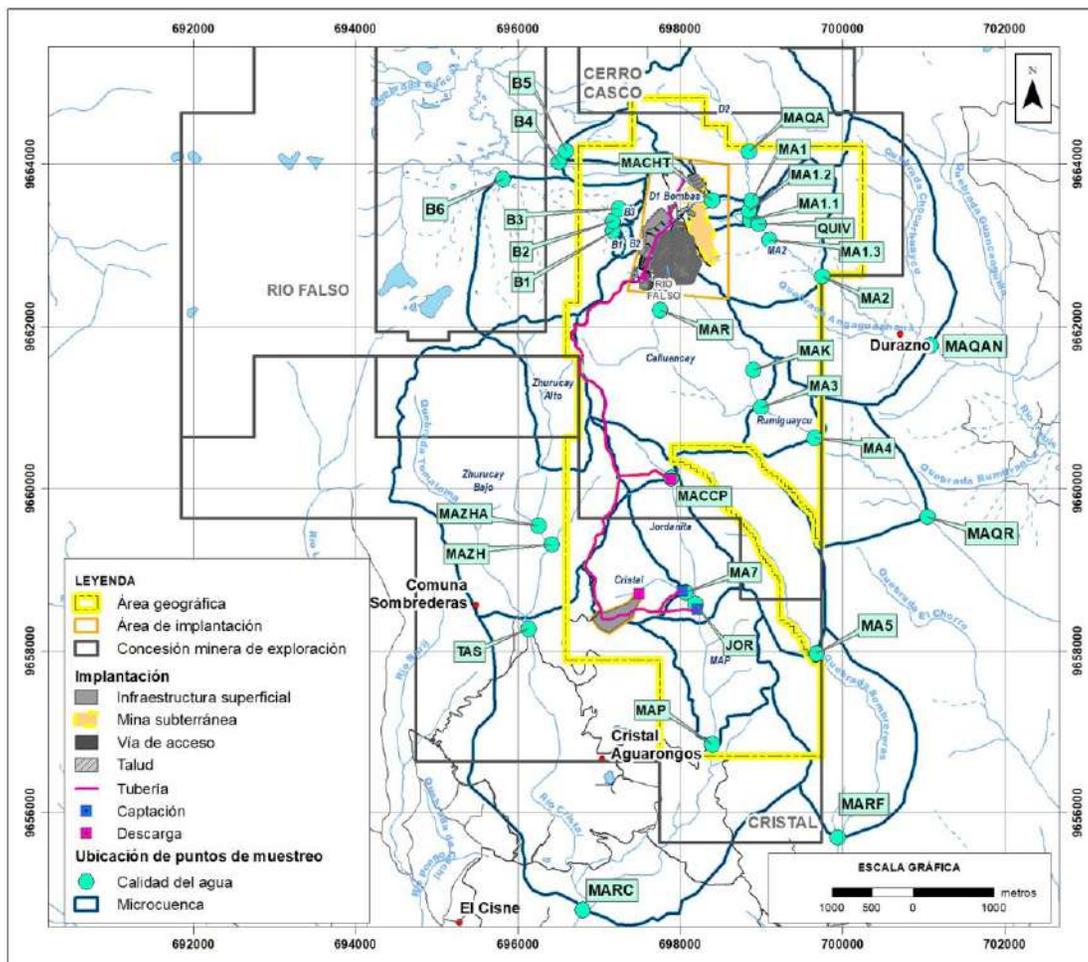
Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de calidad de agua, 2022  
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022





**Figura 6-160** Fotografías de los Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua Ubicadas Dentro del PLL

Fuente: DPMECUADOR SA, Base de datos de calidad de agua, 2022  
 Elaboración: Juan Pesántez, marzo 2022



**Figura 6-161 Puntos de Muestreo de Calidad de Agua Superficial**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, Base de datos de calidad de agua, 2020  
 Elaboración: Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-15 Muestreo de Agua).

La frecuencia y el rango temporal de muestreo de la información histórica se realizó de acuerdo con los requerimientos del Ministerio del Ambiente en los planes de Manejo Ambiental y la *Guía para elaboración de estudios de impacto ambiental (EIA) del sector minero*; la información histórica presentada pertenece a las distintas fases de exploración (Plan de manejo Ambiental y línea base abiótica). Las muestras fueron tomadas en épocas húmedas o invierno (primer período más lluvioso entre enero y mayo, y segundo periodo menos lluvioso entre noviembre y diciembre) y en épocas secas o verano (agosto a septiembre, en algunos años los meses octubre y noviembre tiene lluvias bajas), esto según la caracterización de clima (ver sección 6.1.1.1). Desde noviembre 2020 hasta octubre de 2021 se realizó un muestreo mensual a excepción del mes de diciembre de 2020 en todos los puntos y se analizaron las muestras en laboratorios acreditados diferentes al laboratorio que analizó las muestras anteriormente para respaldar los resultados de esta línea base. En el anexo C. Respaldo de línea base, C.1 Físico, C.1.3.1 Agua Superficial se presenta un informe con una caracterización más amplia en condiciones húmedas y secas para todos los puntos de muestreo donde se confirma que los resultados, aunque se han realizado en laboratorios diferentes, coinciden con los resultados de concentraciones encontradas anteriormente y no cambian las conclusiones. Es así que desde ahora en adelante se analizarán todos los resultados en conjunto sin discriminar por el laboratorio que analizó las muestras. Además del muestreo histórico, se incluyó el

muestreo de octubre de 2021 los puntos B4, B5, B6, MA5, MARF, MARC, MAQR y MAQAN, esto con la finalidad de tener una idea de las concentraciones de los parámetros de análisis aguas abajo de los puntos de muestreo históricos. Los detalles de estos aspectos están en la Tabla 6-109. La tabla indica los períodos monitoreados en cada uno de los puntos y su frecuencia.

**Tabla 6-109 Frecuencia de Muestreo de Calidad de Agua Superficial**

Unidad Hidrográfica	Código	Cuerpo de Agua	Frecuencia de Muestreo según el Período
Alumbre	MACCP	Quebrada Alumbre	2012/2014: trimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MA7	Quebrada S/N	2012: semestral; 2017: bimensual; 2018: trimestral; 2019: semestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	JOR	Quebrada Alumbre	2008/2009: mensual; 2010: bimensual; 2011: cuatrimestral; 2012: anual; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MAP	Quebrada Alumbre	2008/2009: mensual; 2010: bimensual; 2011: cuatrimestral; 2012: anual; 2011: bimensual; 2012: cuatrimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
Bermejos	B1	Quebrada S/N (caldera)	2020 trimestral; 2021 mensual.
	B2	Quebrada S/N (caldera)	2020 trimestral; 2021 mensual.
	B3	Quebrada S/N (caldera)	2020 trimestral; 2021 mensual.
Cristal	MAZHA	Quebrada S/N	2017: semestral; 2018: cuatrimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MAZH	Quebrada S/N	2020 trimestral; 2021 mensual.
	TAS	Río Cristal	2008/2009: mensual; 2010: bimensual; 2011: cuatrimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
Rumiguaycu	MAR	Quebrada S/N	2017/2018: semestral; ; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MAK	Quebrada S/N	2011: anual; 2012: bimensual; 2013/2014: trimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MA3	Quebrada Rumiguaycu	2008/2009: mensual; 2010: bimensual; 2011: cuatrimestral; 2012: anual; 2015/2019: trimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MA4	Quebrada Rumiguaycu	2015/2019: trimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
Quinuahuaycu	MAQA	Quebrada S/N	2017/2018: semestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MACHT	Quebrada S/N	2008/2009: mensual; 2010: bimensual; 2011: cuatrimestral; 2012: bimensual; 2013/2014: trimestral; 2017: semestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MA1.1	Quebrada S/N (efluente de la Quebrada Quinuahuaycu)	2020 trimestral; 2021 mensual.
	MA1.2	Quebrada S/N (efluente de la	2020 trimestral; 2021 mensual.

Unidad Hidrográfica	Código	Cuerpo de Agua	Frecuencia de Muestreo según el Período
		Quebrada Quinuahuaycu)	
	MA1.3	Quebrada S/N (efluente de la Quebrada Quinuahuaycu)	2020 trimestral; 2021 mensual.
	MA1	Quebrada Quinuahuaycu	2011: anual; 2012: bimensual; 2013/2019: trimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	QUIV	Quebrada Quinuahuaycu	2008/2009: mensual; 2010: bimensual; 2011: cuatrimestral; 2012: anual; 2020 trimestral; 2021 mensual.
	MA2	Quebrada Quinuahuaycu	2012: cuatrimestral; 2013/2019: trimestral; 2020 trimestral; 2021 mensual.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Base de datos de calidad de agua, 2008-2021. ANAVLAB CIA.LTDA.: Informe de resultados de laboratorio. ALS S.A.: Informe de resultados de laboratorio. Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

### Parámetros Analizados

Los parámetros analizados estuvieron de acuerdo con aquellos parámetros solicitados por el Ministerio del Ambiente en el TULSMA Libro VI, Anexo 1, aprobada mediante Decreto Ejecutivo 3516 y con Registro Oficial No. 387 del 4 de noviembre 2015; esto, según las tablas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, en el Acuerdo Ministerial 097-A (A.M. 097-A), Anexo 1 mencionado anteriormente, Tabla 1 (Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico), Tabla 2 (Criterios de Calidad Admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios), 2a (Criterios de calidad admisible del amoníaco total para la protección de la vida acuática [mg/1 NH<sub>3</sub>]) y Tabla 3 (Criterios de calidad de aguas para riego agrícola).

Es importante tener en cuenta que la Tabla 1 solamente se consideró para el punto MA3, que se encuentra aguas arriba del canal de agua para consumo humano y abrevaderos de animales, Durazno; y la Tabla 3 se consideró para los puntos MAR por el canal de riego de San Gerardo, el punto MA3 por el canal de agua para abrevaderos de animales, Durazno, los puntos MACCP, JOR y MAP por el canal de riego Cristal Alumbre y canal Alumbre San Martín y los puntos B1, B2, B3 por el canal para riego Gualay. De esta manera, se consideraron los parámetros por su importancia agrícola y de consumo humano.

Todos los análisis en este estudio fueron realizados por laboratorios certificados y acreditados, como Gruentec, que cuenta con la acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE LEN 05-008), ANAVANLAB CIA.LTDA., con acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE LEN 18-019) y CORPORACIÓN LABORATORIOS AMBIENTALES DEL ECUADOR CORPLABEC S.A. ALS con acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE-ACR-0262-2019). Para el punto MA3, cuando no hubo resultados de ciertos parámetros a ser comparados con la Tabla 1, se tomaron los resultados del punto MAD, el cual está ubicado 50 m aguas abajo de MA3, en el mismo canal y sin influencia de afluentes entre ambos puntos, por lo que se pueden considerar iguales. En el Anexo C. Respaldos Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.4 Certificados Laboratorio, C.1.4.2. Acreditación Laboratorio, se describen todos los parámetros con sus respectivas acreditaciones y registros, así como los años de muestreo. Los límites de cuantificación (LC) están de acuerdo con la acreditación y el registro, dependiendo del período de muestreo y el año en que se realizó; un resumen de estos consta en las figuras de la sección de resultados expresados con líneas grises. Además, en cada reporte de resultados provisto por el laboratorio acreditado está el valor de concentración exacto del LC en el momento del análisis (Anexo C. Respaldos Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.3. Resultados de Laboratorio, C.1.3.1 Agua Superficial). Todos los parámetros han sido clasificados de acuerdo con diferentes grupos, según sus características en: fisicoquímicos,

aniones y no metálicos, orgánicos y microbiológicos, metales totales y metales disueltos (Tabla 6-110), para una mejor organización y presentación de los resultados.

**Tabla 6-110 Grupos de Parámetros y Criterios de Calidad de Agua (CCA) Considerados en el Estudio**

Grupo	Parámetros de cada Grupo	Unidad	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 1	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 2 y 2a	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 3
Fisicoquímicos	pH	Unidades de pH	6-9	6,5-9	6-9
	Sólidos suspendidos totales	mg/L	NA	Se establecerá en los alcances posteriores al PMA.	NA
	Oxígeno disuelto	%	NA	>80	NA
	Oxígeno disuelto	mg/L	NA	NA	3
	Temperatura	°C	NA	NA	NA
	Materia flotante		NA	Ausencia	Ausencia
	Turbiedad	UNT	100	NA	NA
Aniones y no metálicos	Amoniaco	mg/L	NA	Tabla 2a	NA
	Cloro residual	mg/L	NA	0,01	NA
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,01	NA
	Nitrato	mg/L	50	13	NA
	Nitrito	mg/L	0,2	0,2	0,5
	Sulfatos	mg/L	500	NA	250
	Fluoruro	mg/L	1,5	NA	NA
	Flúor	mg/L	NA	NA	1
Orgánicos y microbiológicos	Aceites y grasas	mg/L	0,3	0,3	Ausencia
	Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000	NA	1000
	DBO	mg/L	<2	20	NA
	DQO	mg/L	<4	40	NA
	Fenoles monohídricos	mg/L	NA	0,001	NA
	Hidrocarburos totales	mg/L	0,2	0,5	NA
	Tensoactivos	mg/L	NA	0,5	NA
Metales totales	Ag-Plata	mg/L	NA	0,01	NA
	Al-Aluminio	mg/L	NA	0,1	5
	As-Arsénico	mg/L	0,1	0,05	0,1
	B-Boro	mg/L	NA	0,75	0,75

Grupo	Parámetros de cada Grupo	Unidad	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 1	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 2 y 2a	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 3
	Ba-Bario	mg/L	1	1	NA
	Be-Berilio	mg/L	NA	0,1	0,1
	Cd-Cadmio	mg/L	0,02	0,001	0,05
	Co-Cobalto	mg/L	NA	0,2	0,01
	Cr-Cromo	mg/L	0,05	0,032	0,1
	Cu-Cobre	mg/L	2	0,005	0,2
	Fe-Hierro	mg/L	1	0,3	5
	Hg-Mercurio	mg/L	0,006	0,0002	0,001
	Li-Litio	mg/L	NA	NA	2,5
	Mn-Manganeso	mg/L	NA	0,1	0,2
	Mo-Molibdeno	mg/L	NA	NA	0,01
	Ni-Níquel	mg/L	NA	0,025	0,2
	Pb-Plomo	mg/L	0,01	0,001	5
	Se-Selenio	mg/L	0,01	0,001	0,02
	Sn-Estaño	mg/L	NA	NA	NA
	V-Vanadio	mg/L	NA	NA	0,1
	Zn-Zinc	mg/L	NA	0,03	2
	Metales disueltos	Ag-Plata	mg/L	NA	0,01
Al-Aluminio		mg/L	NA	0,1	5
As-Arsénico		mg/L	0,1	0,05	0,1
B-Boro		mg/L	NA	0,75	0,75
Ba-Bario		mg/L	1	1	NA
Be-Berilio		mg/L	NA	0,1	0,1
Cd-Cadmio		mg/L	0,02	0,001	0,05
Co-Cobalto		mg/L	NA	0,2	0,01
Cr-Cromo		mg/L	0,05	0,032	0,1
Cu-Cobre		mg/L	2	0,005	0,2
Fe-Hierro		mg/L	1	0,3	5
Hg-Mercurio		mg/L	0,006	0,0002	0,001
Li-Litio		mg/L	NA	NA	2,5
Mn-Manganeso		mg/L	NA	0,1	0,2
Mo-Molibdeno		mg/L	NA	NA	0,01
Ni-Níquel		mg/L	NA	0,025	0,2
Pb-Plomo		mg/L	0,01	0,001	5
Se-Selenio		mg/L	0,01	0,001	0,02

Grupo	Parámetros de cada Grupo	Unidad	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 1	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 2 y 2a	Criterio de Calidad de Agua (CCA) A.M. 097-A Anexo 1 Tabla 3
	Sn-Estaño	mg/L	NA	NA	NA
	V-Vanadio	mg/L	NA	NA	0,1
	Zn-Zinc	mg/L	NA	0,03	NA
Pesticidas	Bifenilos Policlorados	ug/L	NA	1,0	NA
	Clorofenoles	mg/L	NA	0,05	NA
	Piretroides	mg/L	NA	0,05	NA
	Plaguicidas organoclorados totales	ug/L	NA	10,0	NA
	Plaguicidas organofosforados totales	ug/L	NA	10,0	NA

NA: No aplica CCA para este parámetro

Fuente: A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2, 2a y 3, 4 de noviembre de 2015  
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

### Análisis de Control de Calidad (QA/QC)

Con el objetivo de garantizar la calidad y la precisión de los análisis de laboratorio, se tomaron procedimientos rigurosos de control de aseguramiento y calidad (QA/QC). Por un lado, para garantizar la toma de muestra, preservación y cadena de custodia (procedimientos de campo), como para el análisis de laboratorio (equipos y certificados de acreditación), lo que constituye el "QA", y por otro, postprocesamiento de los resultados (balance de cargas y análisis de valores atípicos), que constituye el "QC".

### *Procedimientos de Campo*

#### *Laboratorio GRUENTEC*

Las muestras fueron tomadas por técnicos de Gruentec. Todas las directrices para los procedimientos de campo fueron manejadas y controladas por el laboratorio, mientras que el personal de INVMINEC, sus contratistas y, de manera casual (dependiendo de su disponibilidad), personal de las comunidades dieron acompañamiento en campo para cada una de las campañas de muestreo. Adicionalmente, en las muestras que pertenecieron a los planes de manejo ambiental del Proyecto en sus distintas fases, al menos un funcionario del MAE acompañó en estas campañas, además de que participaron delegados técnicos de varias instituciones, como son: Comisión de Gestión Ambiental de Cuenca (CGA), Municipio de Cuenca, Dirección de Gestión Ambiental de ETAPA, Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y representantes de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (principalmente de San Gerardo y Chumblín).

En adelante, en esta sección se detallará, de manera resumida, el procedimiento utilizado para el muestreo. Con el fin de asegurar la calidad de los datos y mantener la cadena de custodia, se usaron procedimientos (QA) rigurosos y que siguen la normativa internacional. En este sentido, el laboratorio Gruentec fue el encargado de suministrar los frascos y las hieleras adecuadas para la toma de muestras. Estos frascos fueron designados de acuerdo con su fin, los cuales fueron lavados y preparados especialmente, como indica la Tabla 6-111. Para el etiquetado, se utilizaron etiquetas especiales provistas por Gruentec, para evitar que el código se remueva en presencia de agua o al tacto. En cada punto de muestreo se llenó el formulario de custodia. Se adjuntó una hoja de campo con las características

relevantes del punto en el cual se realizó la toma de muestra, como de las condiciones ambientales y generales en las que se realizó el trabajo.

Para la toma de muestras se usaron guantes designados para este fin. Para tomar la muestra en los ríos, se sumergió el frasco destapado lo más perpendicular posible, para luego poner la boca contracorriente. El punto de toma de muestra fue lo más alejado posible de la orilla o cualquier obstáculo natural o artificial del cuerpo de agua, y se evitó levantar el material en suspensión del fondo o los bordes del cauce. Debido a que los ríos son poco profundos, se tomó las muestras a mitad del calado total del río. Antes de llenar el envase, este fue enjuagado dos o tres veces con el agua de la misma fuente monitoreada. No se permitió el ingreso de hojas, ramas u otro tipo de sólidos grandes a la botella, y el envase o botella fue llenada completamente. El intervalo de tiempo entre recolección de la muestra y el análisis en laboratorio siempre fue el mínimo posible. Para el análisis de DBO y DQO, la muestra fue recogida en la mañana para entregar al laboratorio en la tarde del mismo día (cuando el análisis no puede ser realizado antes de las ocho horas, la muestra se debe mantener a temperatura menor a 4 °C, pero no congelada). El tiempo máximo entre su recolección y análisis no excedió las 24 horas. Todas las muestras se preservaron a oscuras a 4 °C, poniéndolas luego de su recolección en las hieleras junto con una o dos fundas de hielo. Las muestras para metales fueron acidificadas en campo con ácido nítrico purificado (pH < 2) para evitar la adsorción y precipitación de trazas de metales; además, las muestras para metales disueltos fueron filtradas en campo con filtros de membrana de polipropileno de 0,45 µm. Las muestras para el análisis de cianuro fueron preservadas inmediatamente con 1 ml de 6N NaOH por cada 500 ml de muestra.

Laboratorio ANAVANLAB CIA.LTDA

Las muestras fueron tomadas por técnicos de ANAVANLAB CIA.LTDA quienes garantizan que los estándares de calidad y seguridad se cumplan durante todo el proceso de toma de muestras. Todas las directrices para los procedimientos de campo fueron manejadas y controladas por el laboratorio, mientras que el personal de INVMINEC, sus contratistas y, de manera casual (dependiendo de su disponibilidad), personal de las comunidades dieron acompañamiento en campo para cada una de las campañas de muestreo. El Laboratorio dispone de personal técnico cualificado para programar, preparar y realizar el muestreo, toma de muestras, respetando y cumpliendo todos los requerimientos de seguridad exigidos por INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC. El personal se encuentra cualificado para realizar los análisis en sitio de pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Temperatura de las muestras y medición de las condiciones ambientales.

En adelante, se detallará, de manera resumida, el procedimiento utilizado para el muestreo con el laboratorio ANAVANLAB CIA.LTDA. El laboratorio mencionado fue el encargado de suministrar los frascos y las hieleras adecuadas para la toma de muestras. Estos frascos fueron designados de acuerdo con su fin, los cuales fueron lavados y preparados especialmente, como indica la Tabla 6-111. Para el etiquetado, se utilizaron etiquetas especiales provistas por ANAVANLAB CIA.LTDA, para evitar que el código se remueva en presencia de agua o al tacto. En cada punto de muestreo se llenó el formulario de custodia. Se adjuntó una hoja de campo con las características relevantes del punto en el cual se realizó la toma de muestra, como de las condiciones ambientales y generales en las que se realizó el trabajo.

La toma de muestras de aguas es realizada de acuerdo al procedimiento interno del laboratorio AAAP- A003 "Toma de muestra de Agua" que está basado en los siguientes métodos estandarizados:

- > SM 1060: Collection and preservation of samples. 23rd ed. 2017
- > NTE INEN 2169:2013 "Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras"
- > NTE INEN 2176:1998 "Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo"
- > EPA, SW-546 On line, Chapter One.

La muestra simple se debe tomar por debajo de la superficie si la fuente de agua es lo suficientemente profunda para hacer esto. Se retira la tapa de la botella, se sostiene la botella cerca de su base, después

se baja la botella con la boca hacia abajo y se la sumerge en el agua donde la muestra va a ser tomada. Se pone la boca de la botella en contracorriente y lentamente se la mueve alejándose del muestreador. No se permite el ingreso de hojas, ramas u otro tipo de sólidos grandes a la botella. Cuando la botella está llena con la muestra, se saca a la superficie y se cierra herméticamente. El llenado de los envases se realiza de acuerdo a los ensayos a realizar, es importante tomar en consideración que para microbiología se debe dejar un espacio del 1% del envase para permitir oxigenación de los microorganismos. La recolección en contracorriente permite que cualquier escombros o desecho sea evitado a fin de que no entre en la botella, y que si existen presencia de aceites estos sean colectados. Para los análisis en sitio, se recoge a la vez una muestra similar en un recipiente limpio (frascos estériles) y se analiza pH, conductividad, temperatura y Oxígeno Disuelto cuando es el caso. Se registran los resultados en la cadena de custodia correspondiente.

Una vez tomadas las muestras, éstas fueron etiquetadas, apropiadamente preservadas (si es necesario, de acuerdo al procedimiento de toma de muestras) y transportadas a una temperatura de (2 a 6) °C, siguiendo una cadena de custodia de muestras hasta su arribo al laboratorio, donde se cuenta con un sistema de codificación y registro, garantizando la integridad de las muestras, así como la confidencialidad del cliente. Es importante que las etiquetas contengan la siguiente información básica: identificación de la muestra, fecha y hora de toma, responsable, preservante y tipo de análisis a realizar.

A medida que se van tomando las muestras, y hasta terminar los recorridos de muestreo, se fueron colocando las botellas en sus respectivas fundas de protección de golpes y en la caja térmica que contiene ice packs. Al finalizar el muestreo se cierran y aseguran las cajas térmicas y se realiza el transporte al Laboratorio.

Laboratorio CORPORACIÓN LABORATORIOS AMBIENTALES DEL ECUADOR CORPLABEC S.A. (ALS)

Las muestras fueron tomadas por técnicos de ALS. Todas las directrices para los procedimientos de campo fueron manejadas y controladas por el laboratorio, mientras que el personal de INVMINEC, sus contratistas y, de manera casual (dependiendo de su disponibilidad), personal de las comunidades dieron acompañamiento en campo para cada una de las campañas de muestreo.

El procedimiento utilizado para el muestreo con el laboratorio ALS se encuentra elaborado bajo los lineamientos NTE INEN 2176:2013, NTE INEN 2169:2013, NTE INEN 2226:2013, STANDARD METHODS y NTE INEN ISO/IEC 17025:2006. En este sentido, el laboratorio ALS fue el encargado de suministrar los frascos y las hieleras adecuadas para la toma de muestras. Estos frascos fueron designados de acuerdo con su fin, los cuales fueron lavados y preparados especialmente, como indica la Tabla 6-111. Para el etiquetado, se utilizaron etiquetas especiales provistas por ALS, para evitar que el código se remueva en presencia de agua o al tacto. En cada punto de muestreo se llenó el formulario de custodia. Se adjuntó una hoja de campo con las características relevantes del punto en el cual se realizó la toma de muestra, como de las condiciones ambientales y generales en las que se realizó el trabajo. Para la toma de muestras se usaron guantes designados para este fin siguiendo después todos los procedimientos descritos en los lineamientos citados anteriormente.

**Tabla 6-111 Descripción de Frascos Usados para la Recolección de Muestras por Laboratorio**

Laboratorio	Etiquetas	Frasco Provistos por Gruentec	Parámetros a Analizarse en las Muestras
	Aniones/ DBO	Polietileno de 1000 ml	Cloruro, sulfato, fluoruro (aniones), NH <sub>4</sub> , Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pH, conductividad, Oxígeno disuelto
	Sólidos	Polietileno de 500 ml	Sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, turbidez
	Cianuro	Polietileno ámbar de 1000 ml	CN

Laboratorio	Etiquetas	Frasco Provistos por Gruentec	Parámetros a Analizarse en las Muestras
Gruentec	Metales	polietileno de 500 ml o de 50 ml	Metales pesados (Ej.: Al, As, Ba, Cd, Cr, Fe, Pb, V, etc.)
	Bacterias	Plástico color blanco de 100 ml (esterilizado)	Coliformes totales y fecales, parámetros microbiológicos.
	TPH/HAP	Vidrio color ámbar o de aluminio de 1000 ml	Hydrocarburos totales de petróleo (TPH), fenoles, Demanda Química de oxígeno (DQO) Hydrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)
	VOC	Vidrio con tapa de teflón 40 ml	Compuestos orgánicos volátiles
ANAVANLAB	TPH/HAP	Vidrio ámbar 250mL Preservante: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	DQO + Aceites y grasas + TPH
	Cianuro	Vidrio ámbar 250mL Preservante: NaOH	CN
	Metales	Vidrio ámbar 100mL Preservante: HNO <sub>3</sub>	Metales pesados (Ej.: Al, As, Ba, Cd, Cr, Fe, Pb, V, etc.)
	Físico-Químicos Generales	Plástico 2 L Preservante: Refrigerar	Coliformes totales y fecales, parámetros microbiológicos.
	TPH/HAP	Vidrio color ámbar o de aluminio de 1000 ml	Hydrocarburos totales de petróleo (TPH), fenoles, Demanda Química de oxígeno (DQO) Hydrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)
	VOC	Vidrio ámbar 2 L Preservante: refrigeración	Compuestos orgánicos volátiles
ALS	Aniones/DBO	Polietileno 1000	Cloruro, sulfato, fluoruro (aniones), NH <sub>4</sub> , Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pH, conductividad, Oxígeno disuelto
	Sólidos	Polietileno de 100 ml	Sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, turbidez
	Cianuro	Polietileno ámbar de 500 ml	CN
	Metales	polietileno de 500 ml o de 50 ml lavado con ácido	Metales pesados (Ej.: Al, As, Ba, Cd, Cr, Fe, Pb, V, etc.)
	Bacterias		Coliformes totales y fecales, parámetros microbiológicos.
	TPH/HAP	Vidrio color ámbar o de aluminio de 1000 ml	Hydrocarburos totales de petróleo (TPH), fenoles, Demanda Química de oxígeno (DQO) Hydrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Fuente: GRUENTEC, comunicación vía mail, 2020; INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, base de datos calidad de agua, 2020. ANAVANLAB CIA.LTDA.: Informe de resultados de laboratorio. ALS S.A.: Informe de resultados de laboratorio.  
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

### *Laboratorio, Equipos y Acreditación*

Todas las muestras fueron tomadas y analizadas por laboratorios acreditados. Entre 2008 y 2020 en el laboratorio Gruentec, que tiene la acreditación ISO/IEC 17025 emitida por CALA No A3154 y por el

Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE) OAE-LE-2C-05-008 (Resolución No. SAE-ACR-0318-2018) (Anexo C. Respaldos Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.4 Certificado de Acreditación del Laboratorio para detalle de acreditaciones por parámetro; Anexo C.1.4.2 Acreditación Laboratorio). Entre octubre 2020 y noviembre 2020 en el laboratorio acreditado ANAVANLAB CIA.LTDA., con acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE LEN 18-019) (Anexo C. Respaldos LB, C.1 Físico, C.1.4 Certificados Laboraotrio). Por último, entre enero 2021 y octubre 2021 por el laboratorio acreditado CORPORACIÓN LABORATORIOS AMBIENTALES DEL ECUADOR CORPLABEC S.A. ALS con acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE-ACR-0262-2019) (Anexo C. Respaldos LB, C.1 Físico, C.1.4 Certificados Laboraotrio). En la Tabla 6-112 se detallan, por parámetro, los equipos usados, la técnica de análisis, el método y los límites de cuantificación. Para el caso de los límites de cuantificación, estos dependerán del período de muestreo y las normativas existentes al momento del análisis (Anexo C. Respaldos Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.3 Resultados de Laboratorio, C.1.3.1 Agua Superficial); en la Tabla 6-112 se detallarán todos los límites en el período 2008-2020, en la Tabla 6-112 los límites en el período octubre 2020 - noviembre 2020 y en la tabla 6-113 los límites en el período enero 2021 - octubre 2021.

**Tabla 6-112 Descripción de Equipos Utilizados**

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
pH	Multiparámetro	HACH	HQ 40d	SM 4500 H	Electrometría	2
Sólidos suspendidos totales	Estufa	Humboldt MFG	H30137.4F	SM 2540 D	Gravimetría	2, 5
Oxígeno disuelto (%)	Oxígeno, Medidor	HACH	HQ Series Portable Meters	SM 4500 O,G	Determinación por electrodo o luminiscencia	5.4
Oxígeno disuelto (mg/l)	Oxígeno, Medidor	HACH	HQ Series Portable Meters	SM 4500 O,G	Determinación por electrodo o luminiscencia	0.32
Temperatura	Multiparámetro	HACH	HQ 40d	NA	NA	NA
Materia Flotante	NA	NA	NA	Método Interno	Parámetro sensorial	NA
Turbiedad	TURB 02	HACH	2100Q	HACH 8237	Nefelometría	4
Amoniaco	Analizador de flujo segmentado	SKALAR	5000	SM 4500 Norg	Destilación de la muestra y determinación de amonio (NH <sub>4</sub> ) por titulación, fotometría o electrodo ionosensitivo.	0,02
Cloro residual	Espectrofotómetro Vis	HACH	DR 2010	EPA 330.5	Espectroscopia UV/Vis	0,1
Cianuro Total	Analizador de flujo segmentado	SKALAR	5000	SM 4500 CN	Analizador de Flujo Segmentado SAN ++	0,001, 0,02
Nitrato	Equipo HPLC	Shimadzu	SCL-10A	EPA 300.1	HPLC (Cromat.iónica)	0,05, 0,06, 0,09, 0,1, 0,22
Nitrito	Equipo HPLC	Shimadzu	SCL-10A	EPA 300.2	HPLC (Cromat.iónica)	0,03, 0,05, 0,1
Sulfatos	NA	NA	NA	EPA 300.1	Método interno MM-AG-37	0,05, 0,1, 1,1
Fluoruro	Equipo HPLC	Shimadzu	SCL-10A	EPA 300.1	Determinación como fluoruro por HPLC con detector de conductividad	0,02, 0,03, 0,05, 0,1, 0,4
Flúor	HPLC 02	Shimadzu	LC-10AD VP	EPA 300.1	Cromatografía líquida	0,05, 0,1
Aceites y grasas	Estufa	Humboldt MFG	H30137.4F	EPA 1664	Determinación de la cantidad de aceites y grasas por diferencia de peso, método gravimétrico.	0,3

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Coliformes fecales	Incubador	VWR	1545	SM 9223 A,B	Fermentación de tubos	30, 110000
DBO	Gabinete termostático para DBO	WTW	Oxitop Box	SM 5210 B,D	Respirometría	2, 3
DQO	Espectrofotómetro Vis	HACH	DR 2010	SM 5220 D	Digestión ácido-caliente de la muestra con dicromato y ácido sulfúrico en presencia de un catalizador y sulfato de mercurio para eliminar interferencias de cloruros y determinación por espectrofotometría.	4, 5
Fenoles monohídricos	Analizador de flujo segmentado	SKALAR	5000	EPA 420.1	Analizador de flujo segmentado SAN ++	0,001, 0,008
Hidrocarburos totales	Cromatógrafo de gases con FID	Hewlett-Packard	5890 Serie 20	EPA 8015 D	Extracción con cloruro de metileno, cromatografía de gases y determinación FID GC/FID).	0,2, 0,3, 0,5
Tensoactivos	Analizador de flujo segmentado	SKALAR	5000	EPA 420.1	Analizador de flujo segmentado SAN ++	0,02
Ag-Plata	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,00005, 0,0001, 0,0002, 0,0005, 0,001
Al-Aluminio	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,001, 0,01, 0,02, 0,05
As-Arsénico	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0005, 0,001, 0,0025
B-Boro	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,005, 0,02, 0,025, 0,04, 0,05, 0,1
Ba-Bario	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0002
Be-Berilio	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,00005, 0,0002, 0,0004, 0,0005, 0,001

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Cd-Cadmio	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,00005, 0,0001, 0,0002, 0,0005
Co-Cobalto	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,00002, 0,00005, 0,0001, 0,0002, 0,0005, 0,001
Cr-Cromo	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0002, 0,0004, 0,0005, 0,001
Cu-Cobre	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0002, 0,0005, 0,005, 0,01, 0,025
Fe-Hierro	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,02
Hg-Mercurio	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0001, 0,0002, 0,0005
Li-Litio	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0005, 0,001, 0,0025
Mn-Manganeso	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,00005
Mo-Molibdeno	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0001, 0,0002, 0,0004, 0,0005, 0,001
Ni-Níquel	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0001, 0,0002, 0,001, 0,002, 0,005
Pb-Plomo	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0001, 0,0002, 0,0005, 0,001, 0,0025
Se-Selenio	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0005, 0,001, 0,002, 0,005
Sn-Estaño	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,00005, 0,0005, 0,001, 0,0025
V-Vanadio	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0002, 0,0005, 0,001

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Zn-Zinc	ICP-MS	Agilent	7700e	EPA 6020 A	Determinación por ICP-MS	0,0001, 0,0002, 0,0005, 0,0025, 0,005, 0,01, 0,025
NA: No aplica o sin criterio de calidad de agua						

Fuente: Gruentec, comunicación vía mail, 2020 (Anexo C. Respaldo Línea Base, C.1 Componente Físico, C.1.4. Certificado de Acreditación del Laboratorio, C.1.3 Resultados de Laboratorio, 2008-2021)

Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2021

**Tabla 6-113. Descripción de Equipos Utilizados en ANAVANLAB**

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
pH	Multiparámetro	HACH	HQ 40d	SM 4500 H+	Electrometría	2
Sólidos suspendidos totales	Estufa	BIOWASE	90V-T70C	HACH 8006	Fotometría	30
Oxígeno disuelto (%)	Oxígeno, Medidor	Milwaukee	Mw600	SM 4500 O G	Electrometría	5,4
Oxígeno disuelto (mg/l)	Oxígeno, Medidor	Milwaukee	Mw600	SM 4500 O G.	Electrometría	0,32
Temperatura	Multiparámetro	HACH	HQ 40d	SM 2550B	Termometría	NA
Materia Flotante	NA	NA	NA	SM 2530 B	Cualitativo	NA
Amoniaco	Espectrofotómetro	SKALAR	5000	SM 4500 NH3 F/ HACH 815	Espectrofotometría	0,05, 0,06

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Cloro residual	Espectrofotómetro Vis	HACH	DR 2010	SM 4500 Cl G	Espectrofotometría	0,01
Cianuro Total	Espectrofotómetro	SKALAR	5000	SM 4500 – CN E	Espectrofotometría	0,01
Nitrato	Espectrofotómetro	Shimadzu	SCL-10A	SM 4500-NO3 E	Espectrofotometría	1
Nitrito	Espectrofotómetro	Shimadzu	SCL-10A	SM 4500-NO2 E	Espectrofotometría	0,01
Aceites y grasas	Espectrofotómetro	Humboldt MFG	H30137.4F	SM 5520 C	Espectrofotometría	0,1
DBO	Incubadora	POL-EKO	ST4 BASIC Y	SM 5210 D	Respirometría	6
DQO	Espectrofotómetro UV-Vis	HACH	DR 2010	SM 5220 C y D	Espectrofotometría UV – Vis	4, 5
Fenoles monohídricos	Espectrofotómetro	SKALAR	5000	SM 5530 B-C	Espectrofotometría UV – Vis	0,001
Hidrocarburos totales	Espectrofotómetro	Hewlett-Packard	5890 Serie 20	SM 5520 F	Espectrofotometría IR	0,05
Tensoactivos	Espectrofotómetro	SKALAR	5000	SM 5540 C	Espectrofotometría	0,01
Ag - Plata	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,01, 0,0001
Al - Aluminio	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 D, EPA 3015	Espectrofotometría	0,1
As - Arsénico	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3114 C, 3112 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,0005

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
B - Boro	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 4500-B C	Espectrofotometría	0,5
Ba - Bario	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 D, EPA 3015	Espectrofotometría	1
Be - Berilio	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	EPA 6020 A	Espectrofotometría	0,01
Cd- Cadmio	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,00009, 0,001
Co - Cobalto	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,2, 0,0005
Cr - Cromo	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,03, 0,005
Cu - Cobre	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,005
Fe - Hierro	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,25
Hg - Mercurio	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3114 C, 3112 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,0002
Li - Litio	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Mn - Manganeso	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,1
Mo - Molibdeno	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ni - Níquel	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,02, 0,001
Pb - Plomo	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,001, 0,0005

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Se - Selenio	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3114 C, 3112 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,001, 0,002, 0,0001
Sn - Estaño	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	EPA 6020 A	Espectrofotometría	0,00130
V - Vanadio	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Zn - Zinc	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	SM 3111 B, EPA 3015	Espectrofotometría	0,03

Fuente: ANAVALAB CIA.LTDA.: Informe de resultados de laboratorio.  
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, junio 2021.

**Tabla 6-114. Descripción de Equipos Utilizados en ALS**

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
pH	Multiparámetro	Mettler Toledo	SevenGO Duo SG23	SM 4500-H+ A y 4500 H+ B	Electrometría	2
Sólidos suspendidos totales	Estufa	ESCO ISOTHERM	OFA-32-8	HACH 8006 40 A y 2540 D	Gravimetría	10
Oxígeno disuelto (%)	Medidor de oxígeno disuelto	Mettler Toledo	SevenGO Duo SG23	SM 4500 O G	Electrometría	5,4
Oxígeno disuelto (mg/l)	Oxígeno, Medidor	Mettler Toledo	SevenGO Duo SG23	SM 4500 O G.	Electrometría	0,32
Temperatura	Termómetro digital	ATM	ST-9212 A/B/C	SM 2550B	Termometría	NA
Materia Flotante	Juego de tamices	NA	NA	NMX-AA-006-SCFI-2010	Cribado	NA

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Amoniaco	Espectrofotómetro UV-Vis	Thermo Scientific	Genesys 10S VIS	SM 4500 NH3 F	Espectrofotometría	0,3
Cloro residual	Medidor de cloro	HI 96701C	B0016939	SM 4500-Cl A y 4500-Cl G	Espectrofotometría	0,01
Cianuro Total	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Nitrato	Espectrofotómetro UV-Vis	Thermo Scientific	Genesys 10S VIS	SM 4500-NO3 E	Espectrofotometría	1
Nitrito	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 10S VIS	SM 4500-NO2 E	Espectrofotometría	0,01
Aceites y grasas	Espectrofotómetro IR	Buck Scientific	404	SM 5520 C	Espectrofotometría	0,2
DBO	Incubadora	VELP Scientifica	FOC 225E	SM 5210 B	Electrometría	4,75
DQO	Termoreactor	HACH	DRB 200	SM 5220 A y 5220-D (ALS)	Espectrofotometría	10
Fenoles monohídricos	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Hidrocarburos totales	Cromatógrafo TPH	Agilent	GC 7890B	TNRCC Method 1005	Cromatografía de Gases	0,15
Tensoactivos	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ag - Plata	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 7760 B	Espectrofotometría	0,01
Al - Aluminio	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	SM 3111B, EPA 3010A, SM 3111D	Espectrofotometría	0,1
As - Arsénico	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	SM 3114B (ALS)	Espectrofotometría	0,008
B - Boro	Espectrofotómetro UV-VIS	Thermo Scientific	Genesys 30	EPA 6020 A (G); SM 4500-B C (ANA, ALS)	Espectrofotometría	0,3
Ba - Bario	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	SM 3111D, EPA 3010 A	Espectrofotometría	0,008
Be - Berilio	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 6020 A	Espectrofotometría	0,004
Cd- Cadmio	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3050 A, SM 3111B	Espectrofotometría	0,001
Co - Cobalto	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3050 A, SM 3111B	Espectrofotometría	0,004
Cr - Cromo	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3050 A, SM 3111B	Espectrofotometría	0,02
Cu - Cobre	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3050 A, SM 3111B	Espectrofotometría	0,001

Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Fe - Hierro	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3010A, SM 3111B	Espectrofotometría	0,25
Hg - Mercurio	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	SM 3112B	Espectrofotometría	0,00005
Li - Litio	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 6020 A	Espectrofotometría	0,01
Mn - Manganeseo	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3050 A, SM 3111B	Espectrofotometría	0,01
Mo - Molibdeno	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 6020 A	Espectrofotometría	0,008
Ni - Níquel	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3010 A, SM 3111B	Espectrofotometría	0,02
Pb - Plomo	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3010 A, SM 3111 B	Espectrofotometría	0,001
Se - Selenio	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	SM 3114 C	Espectrofotometría	0,0001
Sn - Estaño	Espectrofotómetro	Thermo Scientific	Genesys 30	EPA 3050B	Espectrofotometría	1
V - Vanadio	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 6020 A	Espectrofotometría	0,01
Zn - Zinc	ICP-OES	Agilent	5110 VDV	EPA 3010 A, SM 3111B	Espectrofotometría	0,01,0,03
Bifenilos policlorados	Cromatógrafo	Agilent	GC7890B	SW846 8270	Cromatografía de gases acoplado a masas	0,06
Plaguicidas organoclorados totales	Cromatógrafo	Agilent	GC7890B	EPA 8270D	Cromatografía de gases acoplado a masas	5
Plaguicidas organofosforados totales	Cromatógrafo	Agilent	GC7890B	US EPA 536 US EPA 1694 SW846 8270	Cromatografía de gases acoplado a masas	0,00005, 0,0001

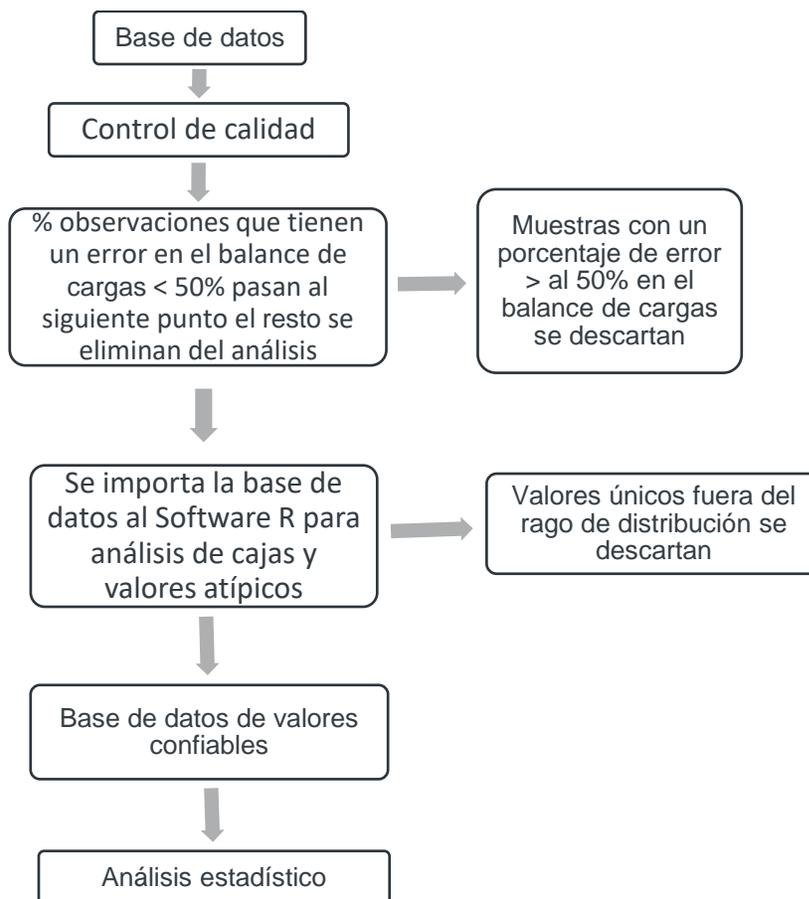
Parámetro	Equipos			Método	Técnica de Análisis	Límite de Cuantificación
	Nombre	Marca	Modelo			
Clorofenoles	Cromatógrafo	Agilent	GC7890B	US EPA 8041 US EPA 3500	Cromatografía de gases acoplado a masas	0,0002, 0,0001
Piretroides	Cromatógrafo	Agilent	GC7890B	SW856 8270	Cromatografía de gases acoplado a masas	0,0001, 0,00001

Fuente: ALS S.A.: Informe de resultados de laboratorio.  
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

Página ne blanco

### Porcentaje de Cierre de Balance

Para asegurar que los valores de concentración usados en los análisis estadísticos no tengan errores, se ha realizado un riguroso control de calidad. Por un lado, llevando a cabo un control de los valores de concentración reportados en la base digital contrastada con los registros físicos; por otro, el balance de cargas de los resultados y un análisis de valores de concentración atípicos. Para ilustrar esto se ha realizado un diagrama de flujo que permita tratar los datos de la mejor manera (Figura 6-162). Partiendo de la base de datos, se hizo un control de calidad donde se organizaron los datos y se revisaron los reportes de los resultados provistos por los laboratorios (resultados y métodos de análisis). Además, se identificaron aquellos valores medidos en el laboratorio bajo el límite de cuantificación (LC). Aquellos LC que se encuentren bajo el criterio correspondiente de calidad admisible (CCA) para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, en el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2, 2a y Tabla 3, fueron reemplazados por el valor del límite de cuantificación. Los análisis con LC por encima de CCA fueron excluidos de la interpretación, con el objetivo de no tener un sesgo de resultados, ya que no se puede conocer el valor exacto de estos y, de incluirlos, se incorporaría un sesgo a los análisis estadísticos.



**Figura 6-162 Diagrama de Flujo para Análisis de Control de Calidad**

Fuente: Modificado del estudio "Evaluación de métodos estadísticos gráficos y multivariados para la clasificación de datos de calidad de agua" (Güler et al., 2002)

Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, julio 2020

Con el objetivo de encontrar muestras no confiables, se ha realizado un análisis de error en balance de cargas entre aniones y cationes (Güler et al., 2002), de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\#Error BC = \frac{\sum Z * mc - \sum Z * ma}{\sum z * mc - \sum z * ma} * 100$$

Donde:

Z es el valor absoluto de la valencia iónica,

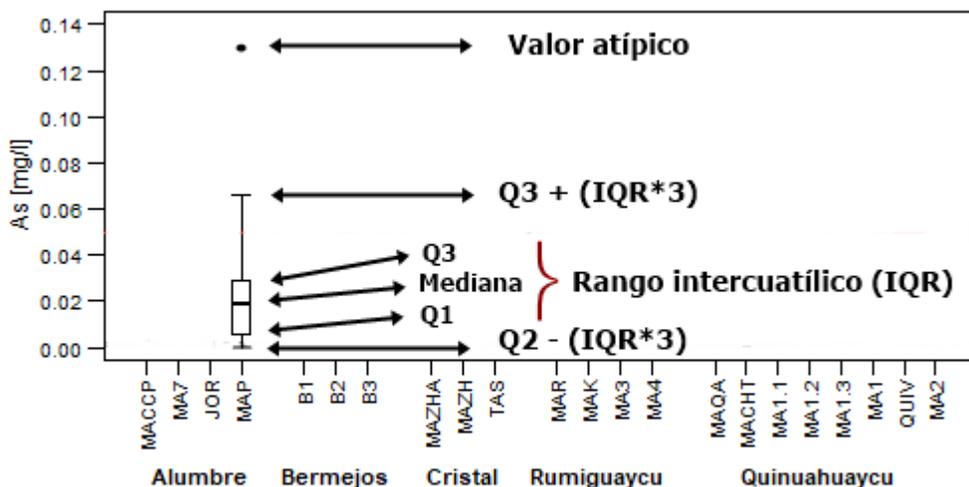
mc la molaridad de los cationes y ma la molaridad de los aniones.

De esta manera, un error mayor al 40 % se consideró como no aceptable (Güler et al., 2002) y se eliminaron todas las muestras del análisis, este valor fue seleccionado considerando que las concentraciones de los elementos bajo análisis son bajas. En este estudio se presentan únicamente las muestras que cumplen con este requisito, ya que, en general, la mayoría de muestras tuvieron errores menores a 40 %; solo dos de un total de 416 muestras tuvieron valores mayores, las cuales fueron excluidas del análisis.

Para el caso de los resultados de los análisis realizados en ANAVANLAB CIA.LTDA y CORPORACIÓN LABORATORIOS AMBIENTALES DEL ECUADOR CORPLABEC S.A. ALS, no se pudo realizar el error en balance de cargas entre aniones y cationes y se saltó este paso de control de calidad. Esto debido a que estos laboratorios no analizaron aniones y cationes mayoritarios en las muestras de agua

### *Análisis de Valores Atípicos*

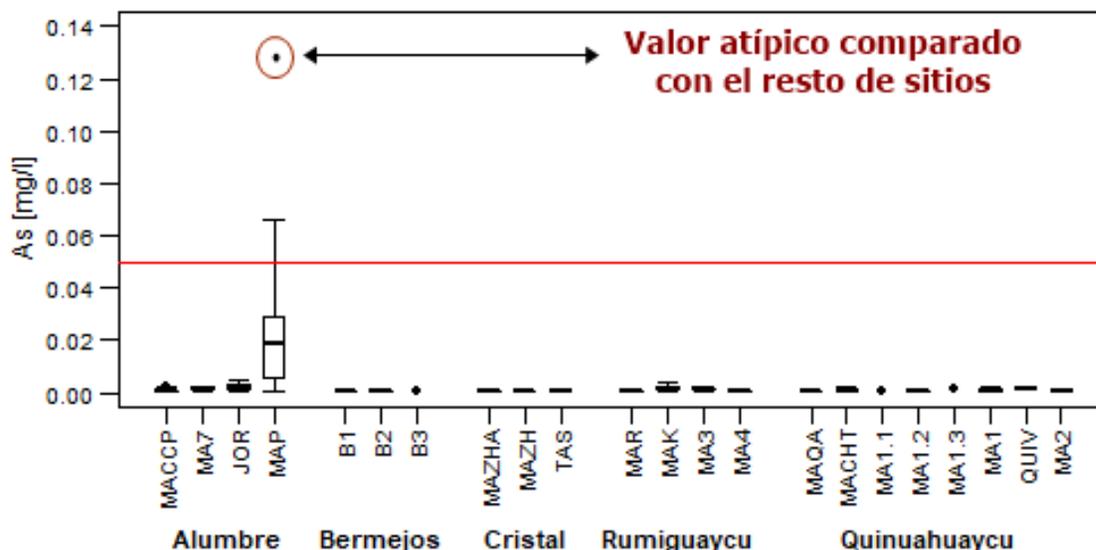
Una vez excluidas las muestras por errores en el balance de cargas, se procedió a realizar un análisis de valores atípicos, para lo cual se usó observación visual mediante diagramas de caja y criterios estadísticos en relación al rango intercuartílico. Los diagramas de caja son gráficos estadísticos que permiten observar y analizar mediante conceptos estadísticos la distribución no paramétrica de un grupo de datos. Este tipo de gráficos agrupan en el rango intercuartílico (IQR) (Figura 6-163) todos los datos entre los cuartiles 1 (percentil 25) y 3 (percentil 75). Estos cuartiles se refieren, una vez ordenados todos los datos de menor a mayor, a aquellos mayores al valor en la posición 25 % en porcentaje de este orden jerárquico, y menores al valor en la posición 75 % de este. Los bigotes que están al final de las líneas verticales (línea horizontal en la figura), arriba y abajo de las cajas, representan el valor del IQR multiplicado por 3 más el valor de la concentración en el cuartil 3 en la parte de arriba de la caja, y el valor del IQR multiplicado por 3 menos el valor de la concentración en el cuartil 1 en la parte de abajo de la caja (Ahmad, 2012; Tukey, 1977; Williamson et al., 1989). Cuando un grupo de muestras (por ejemplo, diferentes estaciones de monitoreo) de un determinado elemento tiene IQR similar, significa que estadísticamente el 50 % de los valores más comunes son similares y, por lo tanto, el comportamiento de las estaciones es el mismo y son semejantes estadísticamente. Así, se puede determinar estadísticamente de manera preliminar aquellos valores que se encuentran por fuera de un rango normal de concentraciones (Figura 6-163-Valores atípicos).



**Figura 6-163 Ejemplo de Diagrama de Caja para Análisis de Valores Atípicos con cada uno de sus Elementos**

Fuente: Gruentec, Reportes de laboratorio, 2008-2021  
 Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, mayo 2022

Los gráficos mencionados se realizaron entre puntos de monitoreo y unidades hidrográficas o cuencas, con la finalidad de identificar si los valores que se encuentran fuera de los bigotes (considerados valores atípicos según  $IQR \times 3$ ) están además fuera de la distribución de las muestras (Figura 6-164). Esto hizo posible definir si estos valores (mencionados anteriormente) realmente correspondían a valores atípicos. Aquellos valores únicos que corresponden a un solo punto de monitoreo en donde exista una sola muestra que esté fuera de la dinámica normal de las zonas de monitoreo fueron eliminados del análisis. Para asegurar que este valor es atípico, se revisó si la muestra bajo análisis fue recolectada durante estados de caudal extremos, como sequía o crecida, lo cual podría explicarlo. Estos errores pueden deberse a fallos en el monitoreo o procedimientos del laboratorio, y podrían incrementar el valor máximo de concentración en un determinado punto mostrando una distribución de concentraciones diferente a la real, no representando la realidad en el punto de estudio. En la Figura 6-164 se presenta un ejemplo para el caso del arsénico, donde se puede observar que una muestra se encuentra por encima del CCA (línea roja horizontal), que por falta de evidencia estadística ha sido considerada como valor atípico. Los valores atípicos identificados fueron excluidos del análisis posterior y, por lo tanto, no fueron considerados en los gráficos de cajas y análisis estadísticos finales en la sección de resultados. El mismo proceso se siguió para todos los elementos, encontrando datos atípicos en otros parámetros, incluyendo: sólidos suspendidos totales (2 muestra excluida), cianuro total (1 muestra excluida), nitrato (6 muestras excluidas), nitrito (1 muestra excluida), aceites y grasas (1 muestra excluida), hidrocarburos totales (1 muestra excluida), arsénico (1 muestra excluida), bario (1 muestra excluida), boro (2 muestra excluida), cromo (3 muestra excluida), níquel (10 muestras excluidas), plata (3 muestras excluidas), selenio (6 muestras excluidas) y mercurio (4 muestras excluidas). Los demás elementos mostraron valores consistentes y no fue necesario excluir valores reportados por el laboratorio.



**Figura 6-164 Ejemplo de Valores Atípicos (círculo rojo) en Análisis de Cajas**

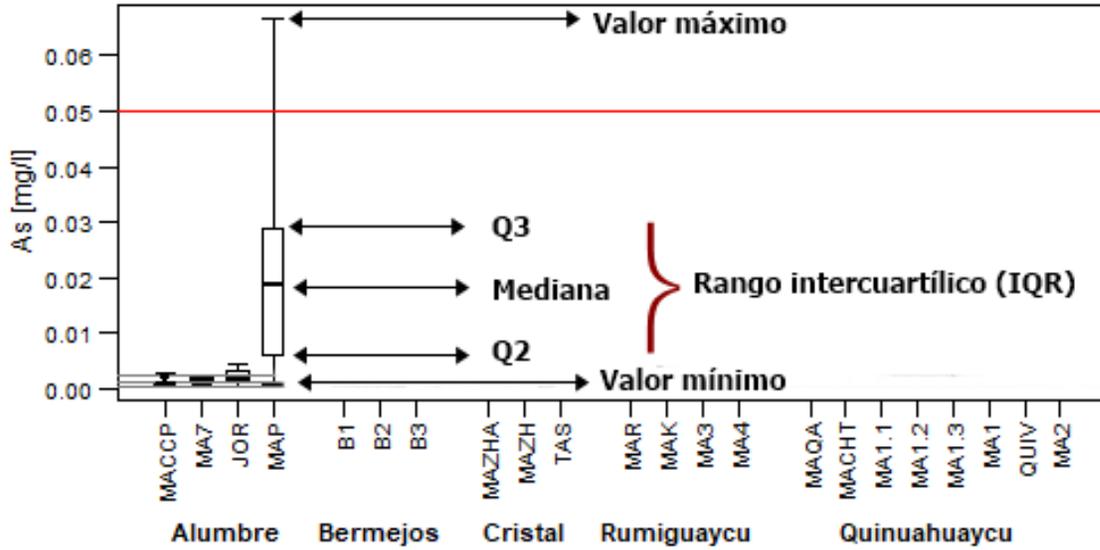
Fuente: Gruentec, Reportes de laboratorio, 2008-2021  
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

#### Análisis de Condiciones Hidrológicas a las que se Monitoreó cada uno de los Puntos

Con el objetivo de identificar si los monitores cubren todas las condiciones de caudal (altos, medios y bajos) de los puntos de monitoreo de al menos aquellas condiciones de los últimos 10 años, se realizaron gráficos de probabilidad de ocurrencia de caudales o curvas de duración general de caudal (ver sección de hidrología de la línea base). Estos gráficos muestran cuál es la probabilidad de que se den ciertas condiciones de caudal en los cuales se adicionaron las muestras tomadas en los puntos de monitoreo correspondientes, para confirmar en qué condiciones se tomaron las muestras en cada punto y verificar si los monitoreos fueron representativos para cada unidad hidrográfica o cuenca (un punto de monitoreo a mediano plazo es válido cuando con los monitoreos en este punto cubren todas las condiciones de caudal).

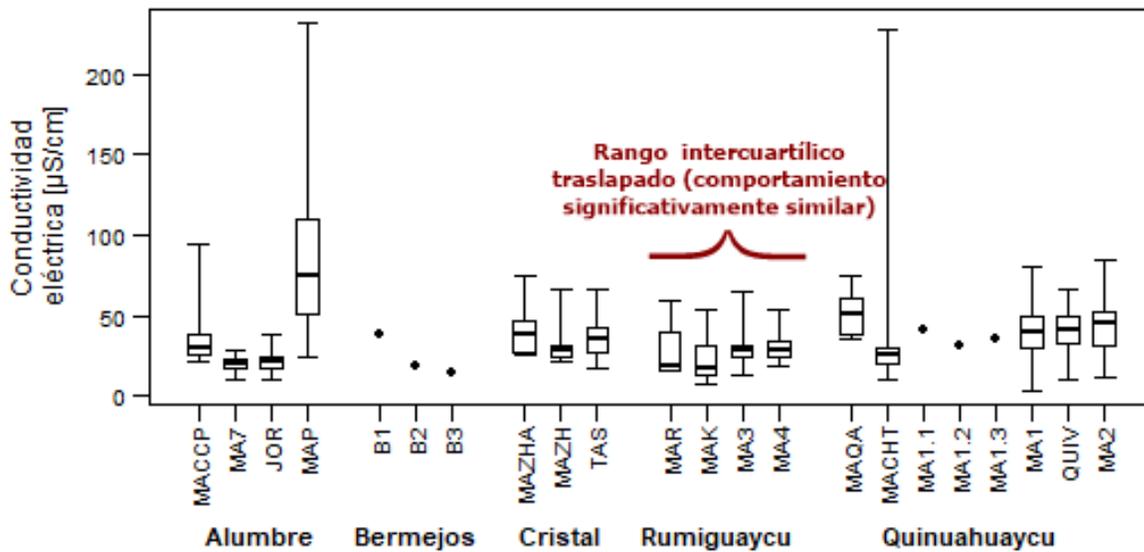
#### Análisis de la Información y Estadística

Debido a que las concentraciones de los parámetros analizados podrían variar de un punto a otro dependiendo de los suelos y la geología del sector, se ha realizado un análisis de la variabilidad espacial de las concentraciones. El análisis clasificará los puntos de monitoreo y mostrará cada una de las unidades hidrográficas o cuencas a las que estos pertenecen. Este tipo de análisis puede revelar comportamientos típicos para cada punto o grupo de puntos para cada elemento. Esto permitirá facilitar el análisis permitiendo agrupar los puntos y unidades hidrográficas con valores similares de concentraciones por elemento químico de acuerdo con el rango intercuartílico (IQR). Cuando el IQR se traslape entre dos o más puntos, estos serán considerados de comportamiento de calidad de agua similar y será descrito como un solo grupo (Figura 6-166). Para los propósitos del análisis espacial, se comparó los puntos mediante un análisis de diagramas de caja similar al análisis de la sección. En este caso, se agrupa en el rango intercuartílico (IQR) (Figura 6-165) todos los datos entre los cuartiles 1 (percentil 25) y 3 (percentil 75). Estos cuartiles se refieren, una vez ordenados todos los datos de menor a mayor, a aquellos mayores al valor en la posición 25 % en porcentaje de este orden jerárquico, y menores al valor en la posición 75 % de este. Los bigotes que están al final de las líneas verticales arriba y abajo de las cajas, representados con una línea horizontal en la figura, son el valor máximo y el valor mínimo del conjunto de datos luego de pasar por el análisis de control de calidad QA/QC. Este análisis permitió representar la dinámica de concentraciones espacialmente, así como identificar los rangos más probables y aquellos menos probables entre los cuales se encuentra la dinámica de concentraciones de cada parámetro.



**Figura 6-165 Ejemplo de Diagrama de Caja para Análisis Espacial con cada uno de sus Elementos**

Fuente: Gruentec, Reportes de laboratorio, 2008-2021  
 Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022



**Figura 6-166 Agrupación de Puntos de Muestreo por Rango Intercuartílico**

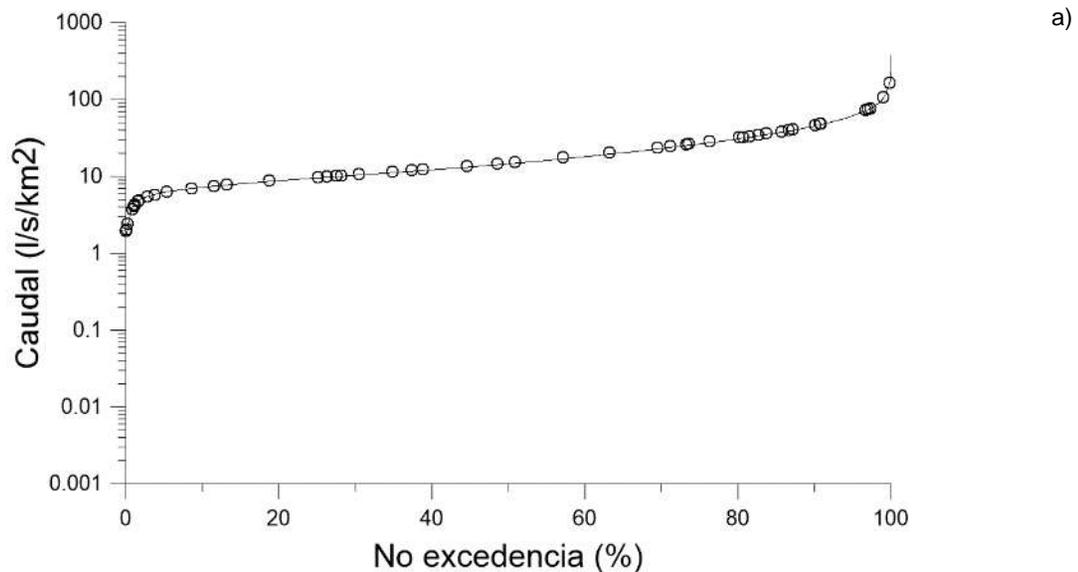
Fuente: Gruentec, Reportes de laboratorio, 2008-2021  
 Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

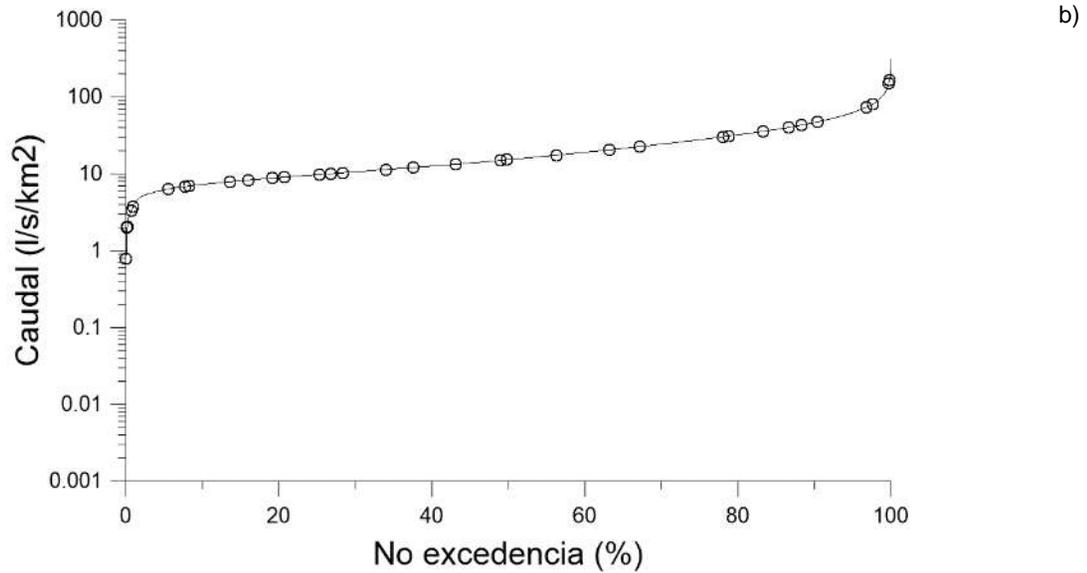
Debido a que los resultados de laboratorio para el caso de metales se expresan como totales y disueltos, se realizó una comparación entre ambos para cada parámetro. La comparación fue similar a la del análisis espacial, tomando en cuenta si el rango intercuartílico se traslapa; de ser el caso, se considerará ambos (disueltos y totales) significativamente similares pudiendo llegar a las mismas conclusiones con estos, y evidenciaría la baja carga de sedimentos y material en suspensión.

## Análisis de Resultados

### Resultados de Análisis de Condiciones Hidrológicas a las que se Monitoreó cada uno de los Puntos

En este análisis desde la Figura 6-167 hasta la Figura 6-170 se muestra la distribución de caudales (ver sección 6.1.1.13.1 Hidrología) y bajo qué condiciones de caudal se tomaron las muestras en cada cuenca (círculos) de acuerdo con el punto de monitoreo de caudal. En las figuras se observan, para todas las unidades hidrográficas o cuencas, que las muestras tomadas cubren la mayoría de las condiciones de caudal (especialmente los extremos). Para el caso de Rumiguaycu y Alumbre, se cubren condiciones de caudal extremadamente bajas (mínimos de caudal) y hasta un 95 % de todos los flujos registrados, representando de esta manera condiciones altas de caudal. Todas las condiciones de caudales extremadamente bajos en todos los puntos son cubiertas completamente con los monitoreos realizados en todas las cuencas de estudio. Es importante decir que los casos aislados donde no se cubre un bajo porcentaje de extremos altos no representan un problema generalizado y, por ende, significativo en el análisis de resultados. Este análisis muestra la validez del muestreo realizado para cualquier análisis de calidad de agua de línea base y es representativo para la zona de estudio del PLL. Este análisis valida además el periodo de muestreo en las condiciones y frecuencia con la que se realizó, como adecuado.



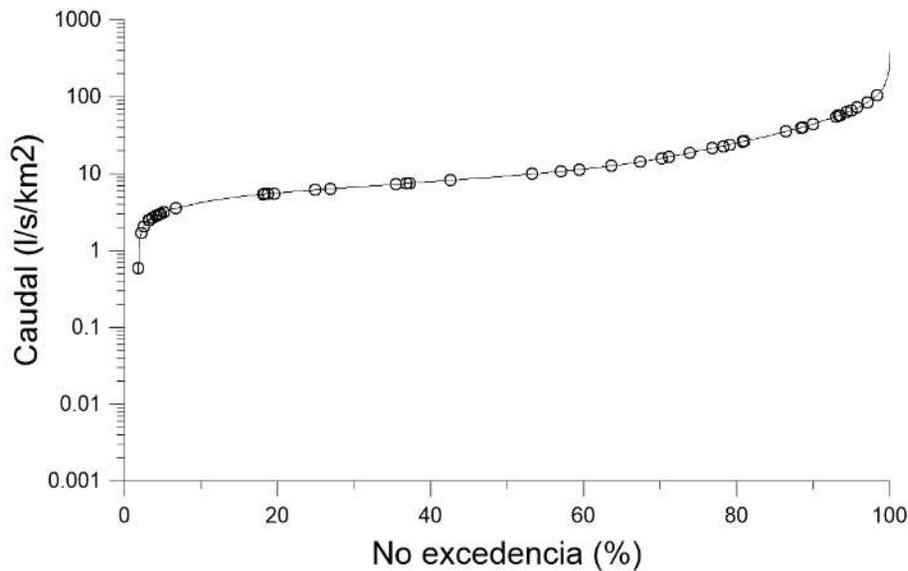


**Figura 6-167 Curva de No Excedencia de Caudal para la Cuenca Quinahuaycu**

(a) Punto de muestreo MACHT. (b) Punto de muestreo QUIV. Los círculos sobre la línea de caudales muestran en qué condiciones de caudal fueron tomadas las muestras dentro de la distribución de caudales, cada punto corresponde a una muestra tomada.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Bases de datos de Caudal., Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB, ALS), 2008-2021

Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

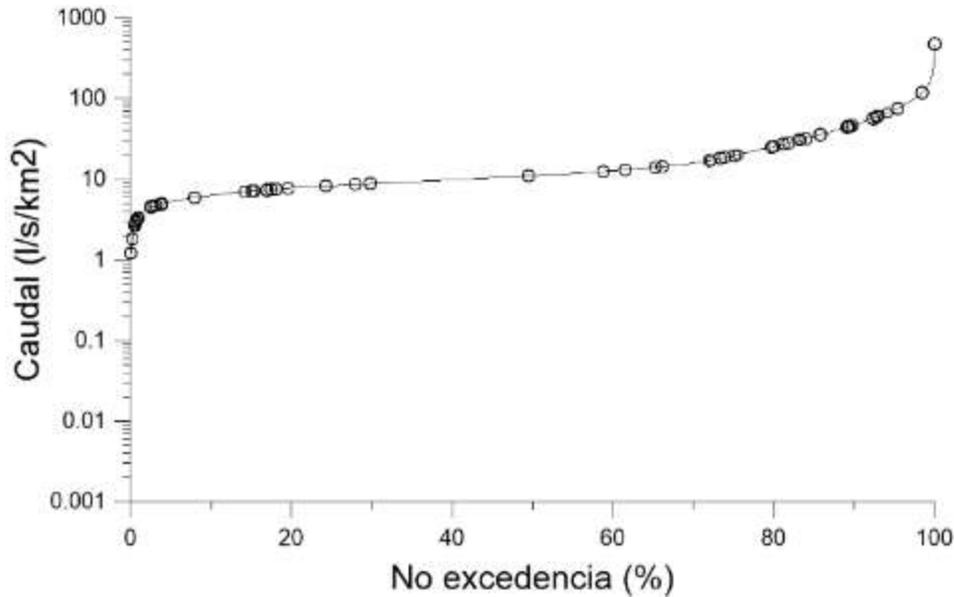


**Figura 6-168 Curva de No Excedencia de Caudal para la Cuenca Rumiguaycu**

Punto de muestreo MA3. Los círculos sobre la línea de caudales muestran en qué condiciones de caudal fueron tomadas las muestras dentro de la distribución de caudales, cada punto corresponde a una muestra tomada.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Bases de datos de Caudal. Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB, ALS), 2008-2021

Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

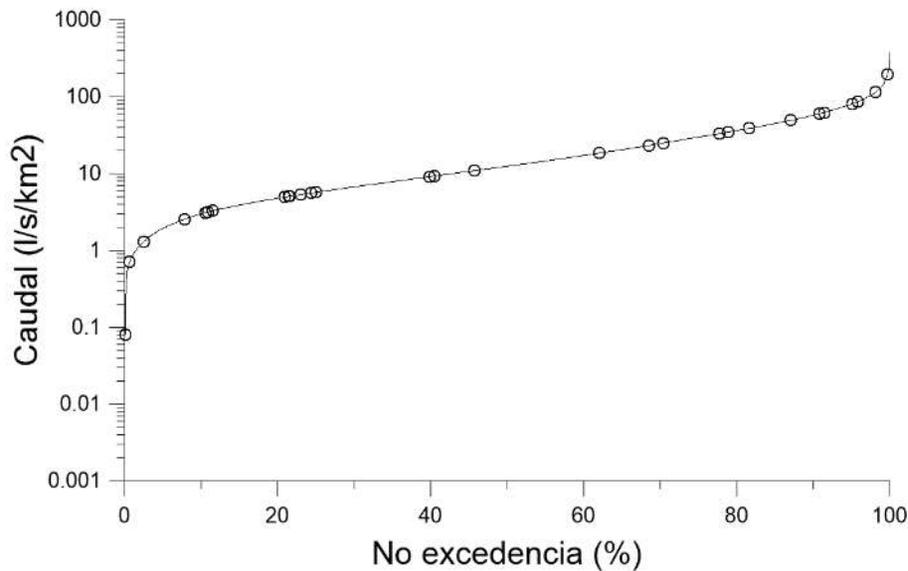


**Figura 6-169 Curva de No Excedencia de Caudal para la Cuenca Alumbre**

Punto de muestreo MAP. Los círculos sobre la línea de caudales muestran en qué condiciones de caudal fueron tomadas las muestras dentro de la distribución de caudales, cada punto corresponde a una muestra tomada.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Bases de datos de Caudal. Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB, ALS), 2008-2021

Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022



**Figura 6-170 Curva de No Excedencia de Caudal para la Cuenca Cristal**

Punto de muestreo TAS. Los círculos sobre la línea de caudales muestran en qué condiciones de caudal fueron tomadas las muestras dentro de la distribución de caudales, cada punto corresponde a una muestra tomada.

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, Bases de datos de Caudal. Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB, ALS), 2008-2021

Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

### Resumen de los Resultados de Laboratorio

Luego de corroborar que se cubrieron todas las condiciones de caudal en cada unidad hidrográfica, se procedió al análisis de resultados. Debido a la gran cantidad de puntos de muestreo y muestras en cada uno de ellos, en la Tabla 6-115 (Resultados de las Muestras de Agua Superficial) se muestra un resumen de los resultados. En la tabla se detallan algunos aspectos importantes del conjunto de datos, como el número de observaciones obtenidas por parámetro, el porcentaje de ellas que están bajo y sobre el límite de cuantificación, parámetros estadísticos importantes de los grupos de datos, el CCA para cada elemento y el porcentaje de muestras del total de observadas bajo y sobre el CCA. De los resultados, se puede apreciar que los parámetros: pH, oxígeno disuelto, turbiedad, coliformes fecales, DBO, DQO, hidrocarburos totales de petróleo, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn presentan concentraciones fuera de los límites de los CCA para las Tablas 1, 2, 2a y 3 del A.M. 097-A, Anexo 1, en alguno de los puntos de muestreo, que se detallan en las secciones siguientes. Mientras que los parámetros: materia flotante, amoníaco, cianuro total, cloro residual, nitratos, nitritos, sulfatos, fluoruro, flúor, fenoles monohídricos, aceites y grasas, tensoactivos, Ag, B, Ba, Be, Co, Cr, Hg, Li, Mo, Ni, Se, Sn y V estuvieron dentro de los límites de CCA en todos los puntos de muestreo. En los muestreos históricos anteriores a aquellos de octubre 2021 no se incluyen pesticidas, normados en el CCA según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (incluyen: bifenilos policlorados, clorofenoles, piretroides, plaguicidas organoclorados totales y plaguicidas organofosforados totales) ya que en estas zonas no existen actividades agrícolas que puedan ocasionar la presencia de los mismos en las quebradas del lugar. A pesar de lo anterior, en los puntos mas bajos de las cuencas del área de influencia directa (representativos de toda el área para estos parámetros) del PLL, se midieron tales parámetros en el muestreo de octubre de 2021 con valores reportados por el laboratorio siempre bajo los límites de cuantificación y bajo los CCA según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2. En las secciones siguientes se analizan las concentraciones de los elementos de este estudio y su variabilidad, en detalle.

Página en blanco

**Tabla 6-115 Resumen de los Resultados de las Muestras de Agua Superficial**

Grupo	Parámetro	# Obs	<LC	% <LC	Media (min.-máx.)	Med	DE	CCA	Obs> CCA	%Obs>CCA
Fisicoquímicos	pH	688	1	0,15%	6,76(3,5-8,4)	7	0,92	6,5-9	178	26%
	Conductividad eléctrica	468	5	1%	39,75(4-231)	32	27,49	NA	NA	NA
	Sólidos suspendidos totales	535	440	82%	12,2(2-59,36)	8,61	11,41	NA	NA	NA
	Sólidos sedimentables	195	179	92%	0,27(0,1-2)	0,1	0,47	NA	NA	NA
	Oxígeno disuelto (mg/l)	512	0	0%	7,13(5-10)	7,2	0,53	3*	0	0
	Oxígeno disuelto (%)	598	184	31%	97,77(68-116,21)	98,4	7,18	>80	13	2%
	Temperatura	389	0	0%	11,38(6,5-19)	11,3	1,98	NA	NA	NA
	Materia Flotante	375	375	100%	-	-	-	Ausencia	0	0
	Turbiedad	164	99	60%	9,5(4-105)	6	15,30	100**	1	0,6
Aniones y no metales	Amoniaco total	406	333	82%	0,038(0,02-0,13)	0,03	0,02	Tabla 2a	0	0
	Cianuro total	299	299	100%	-	-	-	0,01	0	0
	Cloro residual	597	597	100%	-	-	-	0,01	0	0
	Nitratos	446	324	73%	1,05(0,05-3,9)	1,2	0,76	13	0	0
	Nitritos	585	577	99%	0,066(0,01-0,13)	0,07	0,04	0,2	0	0
	Sulfato	240	26	11%	6,3(0,08-43,524)	2,645	8,97	250*	0	0
	Fluoruro	226	155	69%	0,15(0,03-1,457)	0,1	0,19	1,5**	0	0
	Flúor	8	8	100%	-	-	-	1*	0	0
Orgánicos y microbiológicos	Aceites y grasas	655	655	100%	-	-	-	0,3	0	0
	Coliformes fecales	379	304	80%	1561,88(2-110000)	40	12693,58	1000	2	0,3 %
	Demanda bioquímica de oxígeno	568	466	82%	9,68(4-34,68)	7,69	6	<2	102	27 %
	Demanda química de oxígeno	514	198	39%	16,41(4-55,5)	15	9,02	<4	314	55 %
	Fenoles monohídricos	215	215	100%	-	-	-	0,001	0	0
	Hidrocarburos totales (TPH)	647	645	99,7%	0,3(0,2-0,4)	0,3	0,141	0,2	1	0,5 %

Grupo	Parámetro	# Obs	<LC	% <LC	Media (min.-máx.)	Med	DE	CCA	Obs> CCA	%Obs>CCA
	Tensoactivos	181	143	79%	0,04(0,012-0,096)	0,0385	0,020	0,5	0	0
Cationes Totales	Ag-Plata	677	645	95%	0,0005(0,0001-0,0034)	0,0003	0,001	0,01	0	0 %
	Al-Aluminio	687	32	5%	0,17(0,01-2,6)	0,088	0,251	0,1	270	39 %
	As-Arsénico	684	513	75%	0,0059(0,0005-0,0665)	0,00127	0,011	0,05	1	0,15 %
	B-Boro	683	676	99%	0,0253(0,007-0,04)	0,03	0,011	0,75	0	0 %
	Ba-Bario	684	32	5%	0,0262(0,0065-0,096)	0,02485	0,010	1	0	0 %
	Be-Berilio	685	673	98%	0,0004(0,0001-0,0024)	0,0002	0,001	0,1	0	0 %
	Cd- Cadmio	687	619	90%	0,0014(0,00006-0,0081)	0,0012	0,001	0,001	36	5 %
	Co-Cobalto	684	528	77%	0,0008(0,00003-0,00591)	0,0002885	0,001	0,2	0	0 %
	Cr-Cromo	685	632	92%	0,0015(0,0002-0,0086)	0,001	0,002	0,032	0	0 %
	Cu-Cobre	687	365	53%	0,0072(0,0002-0,08)	0,003	0,012	0,005	96	14 %
	Fe-Hierro	687	16	2%	0,51(0,03-6,1)	0,38	0,539	0,3	435	63 %
	Hg-Mercurio	682	666	98%	0,0001(0,0001-0,0002)	0,0001	0,000	0,0002	0	0 %
	Li-Litio	438	346	79%	0,0023(0,0001-0,01)	0,001205	0,003	2,5*	0	0 %
	Mn-Manganeso	687	75	11%	0,0389(0,0002-0,69)	0,018	0,071	0,1	58	8 %
Mo-Molibdeno	438	414	95%	0,0006(0,0001-0,0021)	0,0003	0,001	0,01*	0	0 %	

Grupo	Parámetro	# Obs	<LC	% <LC	Media (min.-máx.)	Med	DE	CCA	Obs> CCA	%Obs>CCA
	Ni-Níquel	679	579	85%	0,001(0,0002-0,005)	0,00058172	0,001	0,025	0	0 %
	Pb-Plomo	681	420	62%	0,002(0,0001-0,013)	0,0012	0,002	0,001	146	21 %
	Se-Selenio	678	674	99%	0,0028(0,001-0,007)	0,0015	0,003	0,001	2	0,3 %
	Sn-Estaño	685	615	90%	0,0014(0,0001-0,0135)	0,001	0,002	NA	0	NA
	V-Vanadio	438	325	74%	0,0013(0,0002-0,0189)	0,00079	0,002	0,1*	0	0
	Zn-Zinc	687	250	36%	0,077(0,00059-1,5)	0,0214	0,164	0,03	165	24 %
Pesticidas	Bifenilos Policlorados	66	66	100%	-	-	-	1,0	0	0 %
	Clorofenoles	66	66	100%	-	-	-	0,05	0	0 %
	Piretroides	66	66	100%	-	-	-	0,05	0	0 %
	Plaguicidas organoclorados totales	66	66	100%	-	-	-	10,0	0	0 %
	Plaguicidas organofosforados totales	66	66	100%	-	-	-	10,0	0	0 %

Grupo	Parámetro	# Obs	<LC	% <LC	Media (min.- máx.)	Med	DE	CCA	Obs> CCA	%Obs>CCA
<p>Los criterios de calidad de agua según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 que no han sido incluidos en esta tabla están relacionados a actividades antropogénicas por lo que no son importantes en esta etapa y se incluirán y serán tomados en cuenta desde los próximos monitoreos al iniciar las actividades.</p> <p>El detalle de cada uno de los resultados de los parámetros por muestreo y por sitio se incluye en el ANEXO C_RESPALDOS LB_C.1 FÍSICO_C1.4 CERTIFICADOS DE LABORATORIO</p> <p>* Solo aplica para el punto de muestreo B1, B2, B3, MACCP, JOR, MAP, MAR, MARCY MA3 según la Tabla 3 del A.M. 097-A</p> <p>** Solo aplica para el punto de muestreo MA3 según la Tabla 1 del A.M. 097-A</p> <p># Obs: Total de número de observaciones; &lt;LC: Número de observaciones con concentraciones menores al Límite de cuantificación; %&lt;LC: Porcentaje de concentraciones con valores menores al límite de cuantificación; Max: Valor de concentración máximo; Min: Valor de concentración mínimo; Media: promedio; Med: mediana; DE: Desviación estándar; CCA: Criterio de calidad de agua según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 y en caso de haber CCA para las tres, se usa el más bajo de las tres tablas; Obs&gt;CCA: Número de observaciones mayores al CCA según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2 o Tabla 3; %Obs&gt;CCA: Porcentaje de observaciones mayores al CCA según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2; NA: No aplica, sin criterio de calidad de agua;-no se puede realizar el cálculo por estar siempre bajo el límite de cuantificación). Las unidades de los parámetros son aquellos del A.M. 097-A (mg/L), a excepción de pH (sin unidad), sólidos sedimentables (ml/l), oxígeno de saturación (%), conductividad (µS/cm), temperatura (°C), Bifenilos Policlorados (µg/L), plaguicidas organoclorados totales (µg/L), plaguicidas organofosforados totales (µg/L) y coliformes fecales (NMP/100 ml).</p>										

Fuente: INV Minerales, Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB y ALS), 2008-2021  
 Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

## Parámetros Físicos

Todos los parámetros han sido analizados con dos CCA, según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1, Tabla 2, Tabla 2a y Tabla 3. Aquellos CCA descritos en la Tabla 1 se representarán con una línea roja punteada en las figuras, esta tabla se considera para el punto MA3, donde existe una captación de agua para consumo humano y abrevaderos de animales. Aquellos de la Tabla 2 se representarán con una línea roja continua, CCA para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios. Por último, aquellos parámetros de la Tabla 3 se representarán con una línea azul, este último límite se considerará para los puntos B1, B2, B3, MACCP, JOR, MAP, MAR, MARC y MA3, donde existe influencia en canales de riego y abrevaderos de animales, en el punto MA3 (ver sección 6.3.15.1.1). En el caso del pH, dos líneas rojas representan un rango establecido en el CCA, en el cual el límite superior es válido para ambas tablas. Los resultados serán comparados con aquellos de las tablas del A.M. 097-A que correspondan, ya sea por canales de riego (Tabla 3) o captaciones de agua para consumo humano (Tabla 1). En la descripción serán mencionados de la misma manera, tomando en cuenta si los parámetros están presentes en las tablas o, dicho de otra manera, que tengan un CCA normado en la legislación.

En general, para los parámetros físicos, los resultados de los análisis reflejan que las concentraciones están dentro de los CCA (Figura 6-171). Esto, a excepción de pH, en el cual se pudo medir que, aunque hay un comportamiento estable en la mayoría de los puntos con rangos intercuartílicos (IQR) superpuestos, existe una tendencia hacia un pH ácido, con valores mínimos en cada punto cercanos a 6, bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (6.5). Esta tendencia desciende incluso en la unidad hidrográfica de Alumbre, donde las medianas están bajo el CCA para MAP, JOR y MA7, llegando a valores mínimos de pH 3,5 en MAP, pH 4,7 en JOR y pH 5,3 en MA7. También en el punto MA4 en Rumiguaycu se midió una concentración baja con un pH de 5,29. Estos valores de pH bajos se deben a la mineralización de la roca de zonas con altas concentraciones de sulfuros ya observadas en formaciones geológicas de los páramos (Madrid, A. L. R., Bissig, T., Hart, C. J., & Figueroa, 2017). Esta rocas al ser expuestas a la erosión natural o deslizamientos de las margenes de los ríos producen drenajes ácidos provocando este descenso en los valores de pH de las quebradas (Plumlee et al., 1999).

Para el caso de la conductividad eléctrica, los resultados también son consistentes en la mayoría de los puntos, variando entre 10 y 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; esto, a excepción de MACHT, donde, aunque el IQR fue similar a los demás puntos, se midieron máximos de conductividades eléctricas mayores, hasta los 227  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Además, en el punto MAP se midió un IQR significativamente mayor que en los demás puntos, llegando a un máximo de conductividad eléctrica de 231  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Lo anterior puede ser un indicativo preliminar de que el agua en MAP es procedente de fuentes diferentes de las demás o con alteraciones geoquímicas (rocas expuestas o formaciones rocosas en superficie).

La mayoría de concentraciones de sólidos suspendidos totales se encuentran en un rango muy bajo, entre 10 y 20 mg/L. En el punto MAP se observó concentraciones máximas de sólidos en suspensión mayores, llegando a los 59,4 mg/L, aspecto que podría deberse a un deslizamiento aguas arriba producto de pendientes mayores y zonas de mayor inestabilidad y a que este punto está fuera del ecosistema de páramo, en donde se presenta mayor cantidad de erosión; por observaciones en campo, la primera opción es la más probable. Similar a este punto se encontraron observaciones entre 25 y 50 mg/l en un monitoreo con condiciones de caudales altos en MA1, MA1.1, MA1.2, MA1.3, y QUIV que puede deberse de igual manera a erosión ocasionada por estos caudales altos (los mas altos en los que se ha realizado monitoreo).

Los sólidos sedimentables estuvieron casi siempre cercanos al límite de cuantificación (0,1 ml/L), el único punto de muestreo que presentó una concentración más alta fue MAP en Alumbre, con una concentración cercana a los 2 ml/L por los motivos anteriormente expuestos. Los valores de temperatura estuvieron generalmente entre los 6,8 y 19 °C.

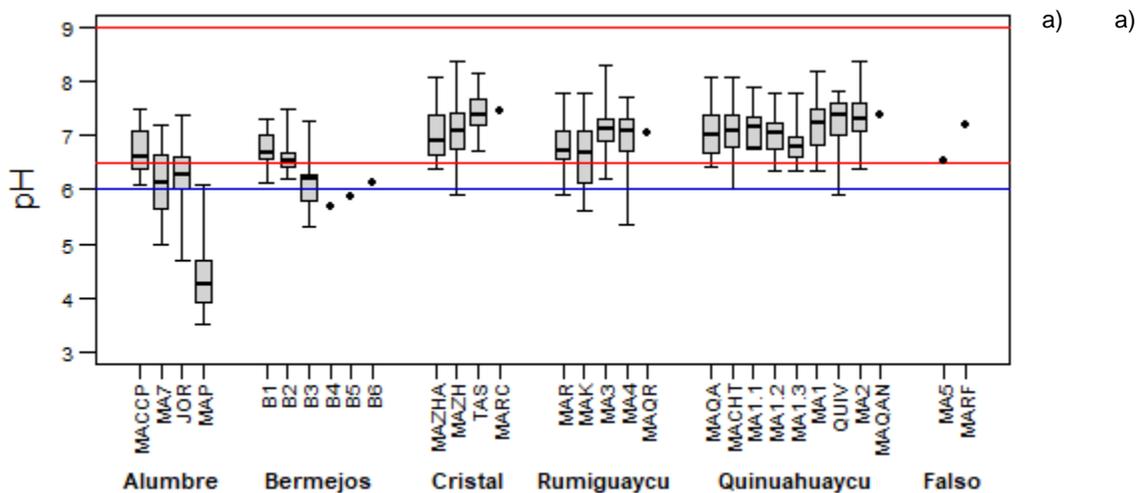
Debido a las bajas concentraciones de sólidos suspendidos y sedimentables no fue necesario una caracterización de la calidad de los sedimentos. Se debe considerar que el ecosistema se caracteriza por

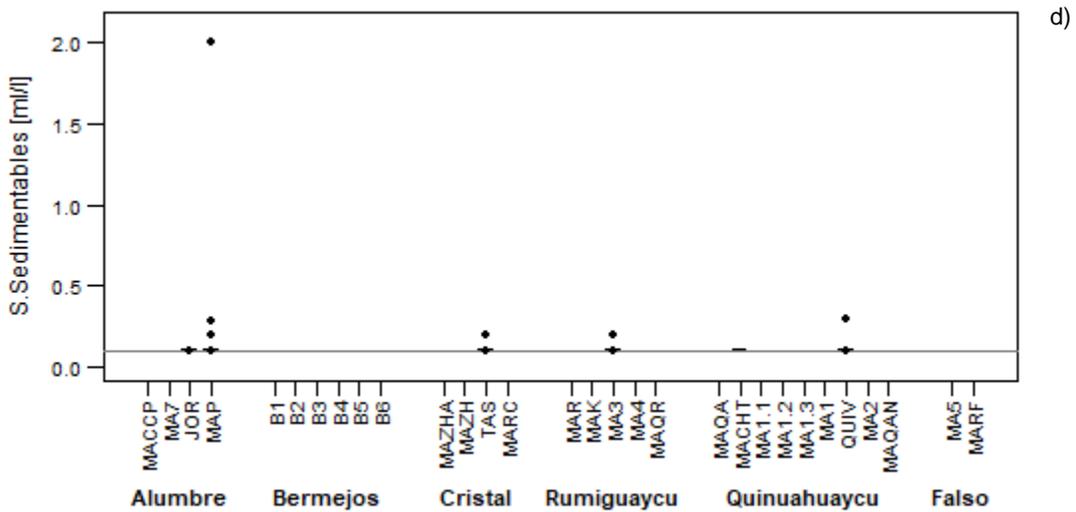
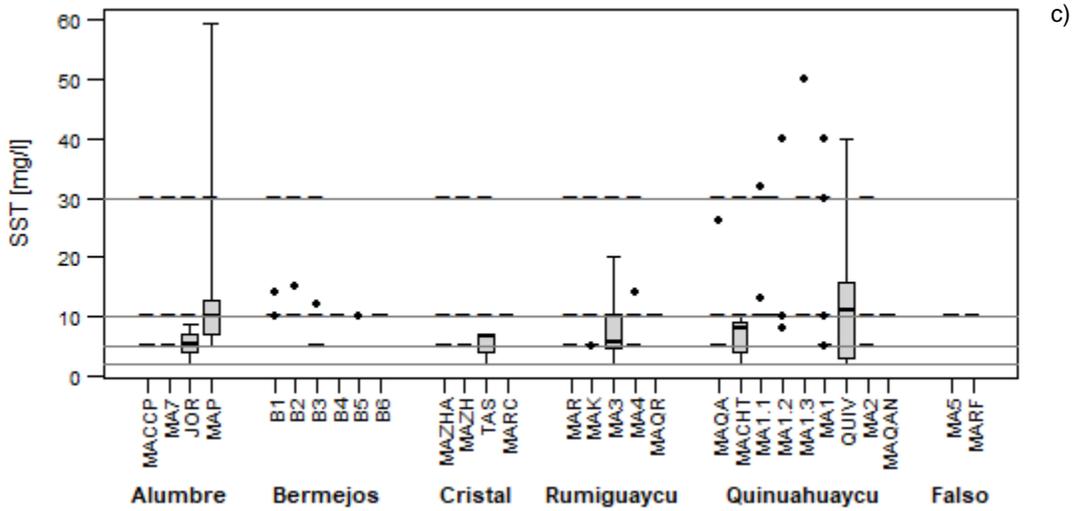
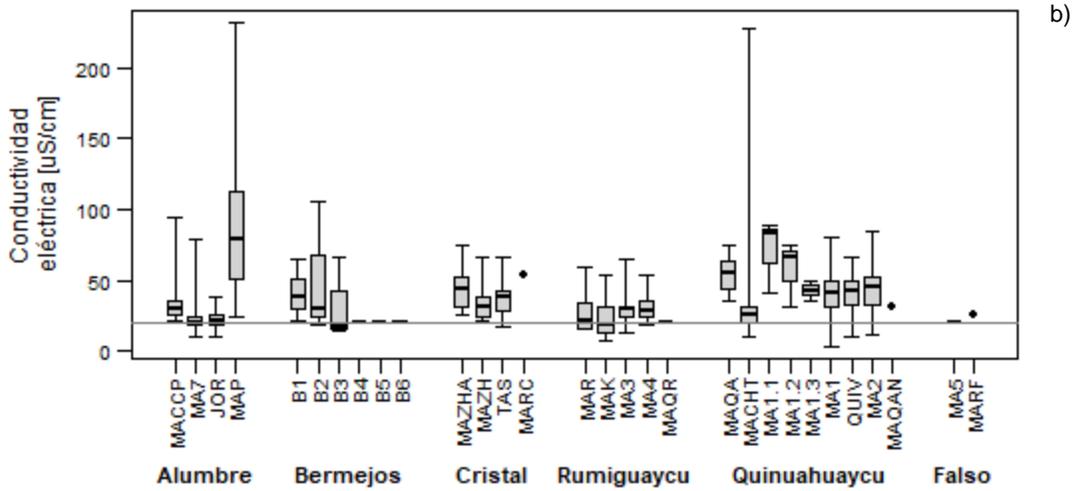
una baja presencia de sedimentos en los ríos debido a una baja erosión por las características de los suelos existentes en la zona.

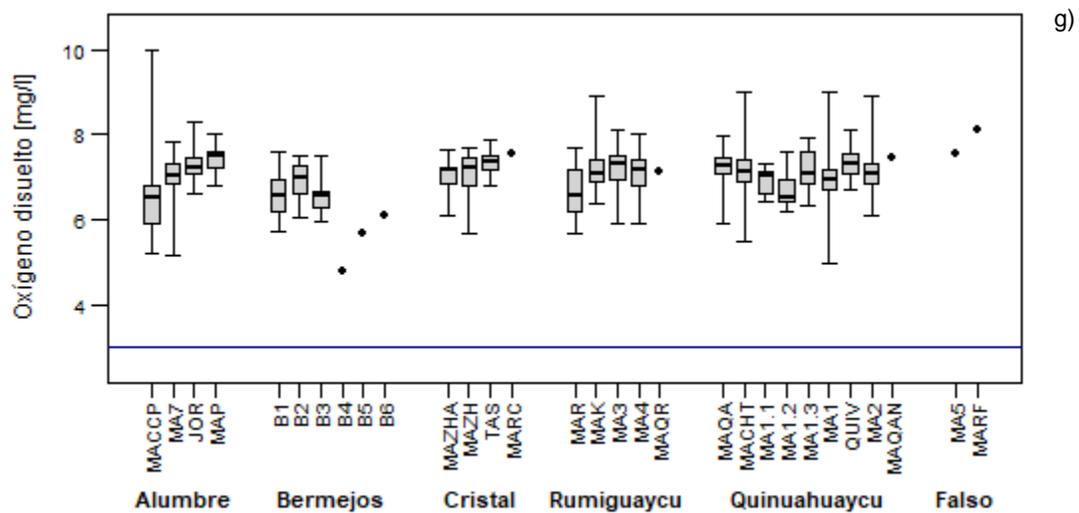
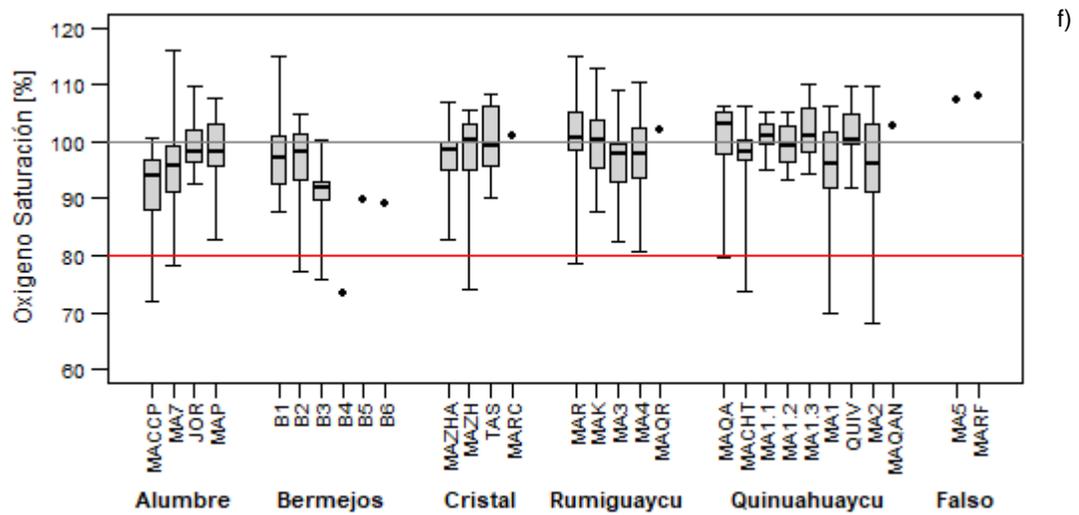
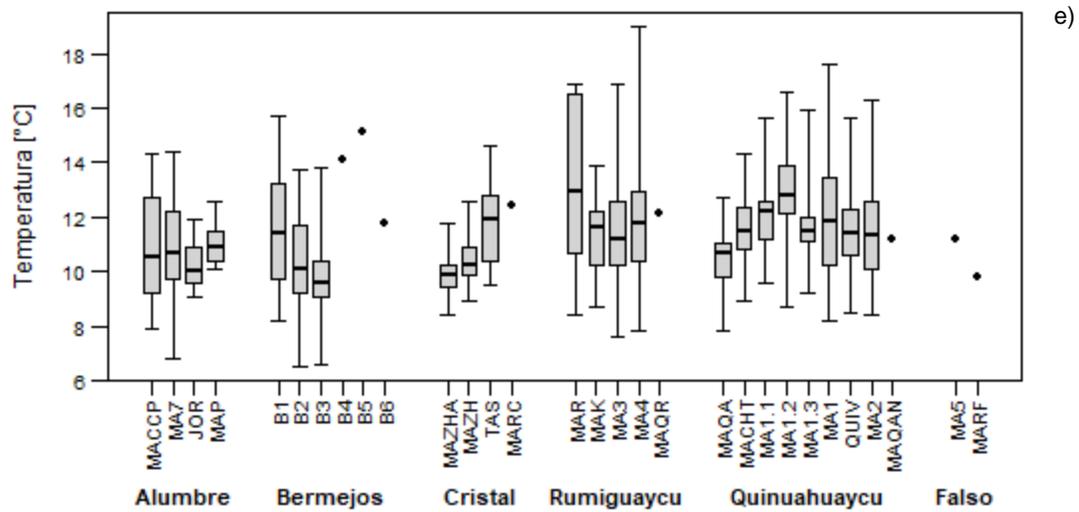
El oxígeno disuelto, por su parte, mostró una tendencia hacia porcentajes cercanos al 100 % con rangos intercuartílicos superpuestos para todos los puntos; con porcentajes mínimos que estuvieron alrededor del 80 %; y, en MAZH, MAR, MA7, MACCP, MA1, MACT, B4 y MA2 las concentraciones mínimas bajaron hasta el 68 % incumpliendo, en estos casos, el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (80 %). Estos valores relativamente bajos en ocasiones de oxígeno disuelto se deben a 3 factores principalmente: (1) el descenso de la presión atmosférica con la altitud lo cual provoca menor oxígeno en la atmósfera, (2) alta salinidad por mineralización de rocas sumado a flujos más profundos en épocas secas, y (3) poca agitación del agua, propia de las épocas secas. Estos factores disminuyen la solubilidad de oxígeno provocando eventos cortos en los cuales se tienen bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua de las quebradas (Jacobsen, 2008; Jacobsen et al., 2003), que ocasionan los mínimos observados en este estudio (Figura 6-171).

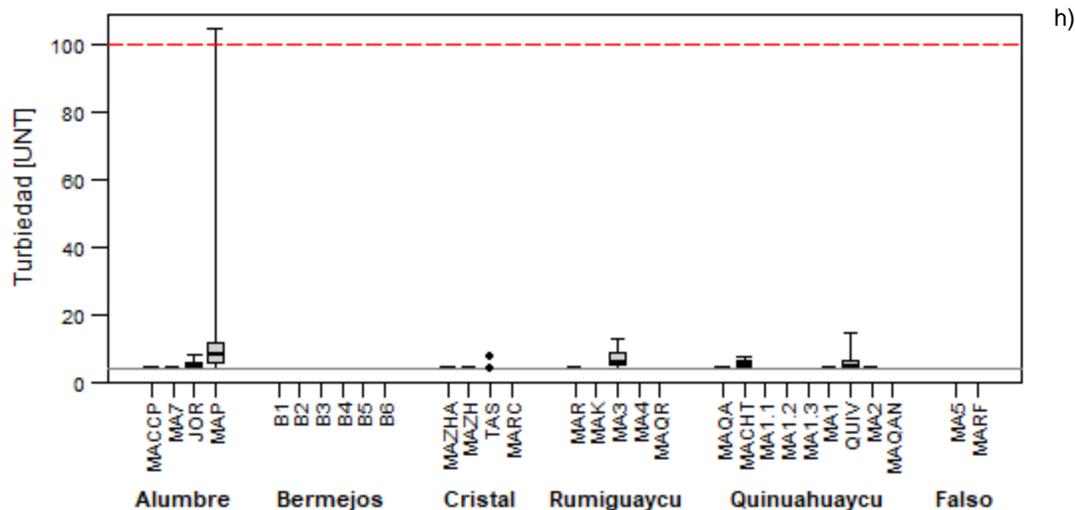
El oxígeno disuelto medido en mg/L, según la Tabla 3 del A.M. 097-A, Anexo 1, para el punto MAR mostró concentraciones dentro de lo considerado adecuado en el CCA (mínimo 3 mg/L) para el caso de agua de riego; todos los demás puntos de muestreo tuvieron también valores superiores a 3 mg/L.

La turbiedad estuvo casi siempre menor a 20 mg/L, a excepción de MAP, que mostró el máximo en 105 NTU; la única concentración que sobrepasó el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (100 NTU), para las Tabla 2 y 3 no aplica CCA para turbiedad. Para el punto MA3 de interés para agua de consumo humano y normado en la Tabla 1, las concentraciones están bajo el CCA.









**Figura 6-171 Diagramas de Caja de Parámetros Físicoquímicos**

Cada gráfico contiene todo el conjunto de puntos (en vertical) agrupados por unidad hidrográfica (en horizontal).

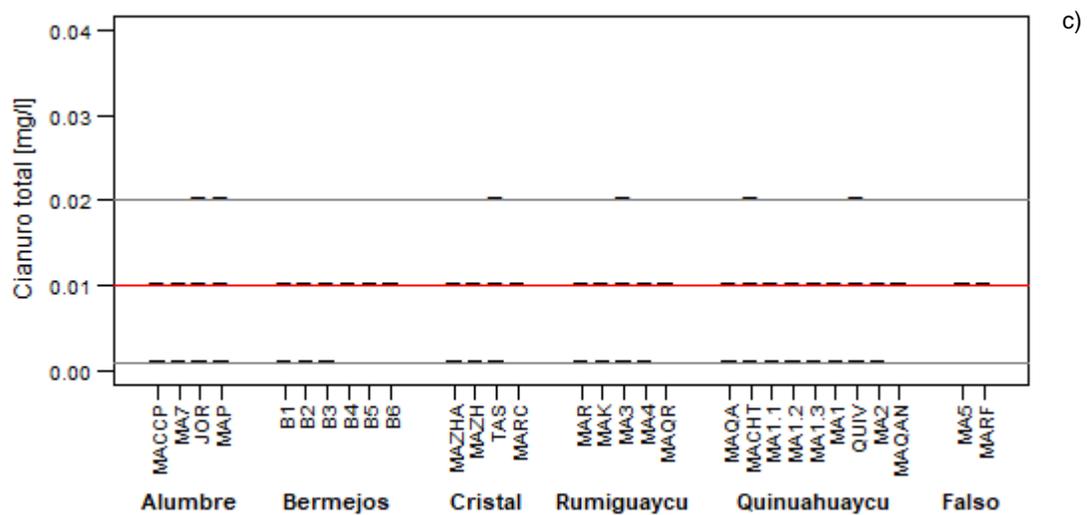
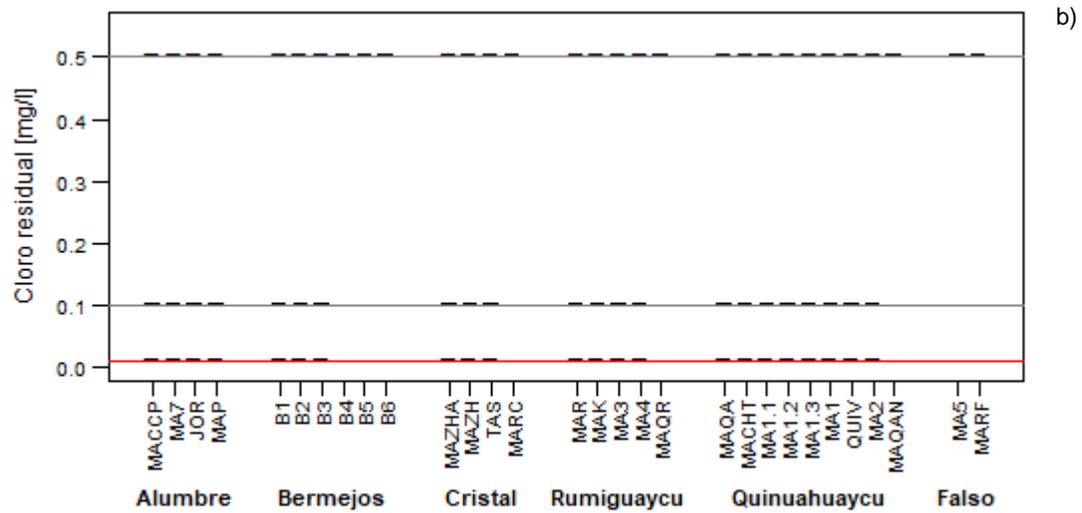
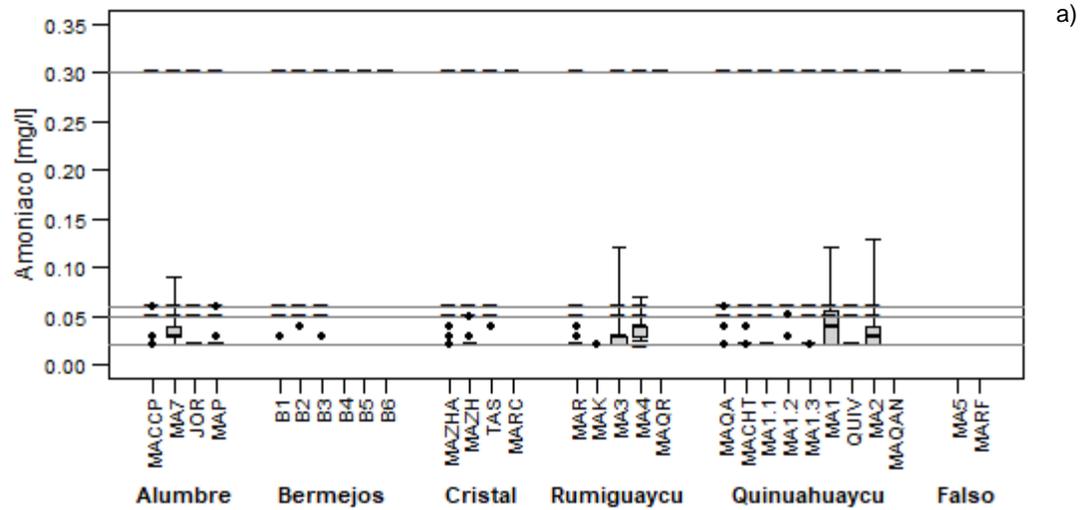
\* Los parámetros de estas figuras son a) pH, b) conductividad eléctrica, c) Sólidos suspendidos totales (SST), d) Sólidos sedimentables, e) Temperatura, f) Oxígeno disuelto en porcentaje (%), g) Oxígeno disuelto en mg/L y h) Turbiedad en NTU. Las líneas horizontales representan, en rojo punteadas, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1; las líneas horizontales se representan, en rojo continuas, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2; las líneas horizontales en azul, según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 3; y, las líneas horizontales en gris representan los límites de cuantificación. Las líneas cortas horizontales sobre los límites de cuantificación muestran que todas las muestras estuvieron por debajo de este y los puntos negros, concentraciones medidas por arriba del límite de cuantificación al momento de la medición.

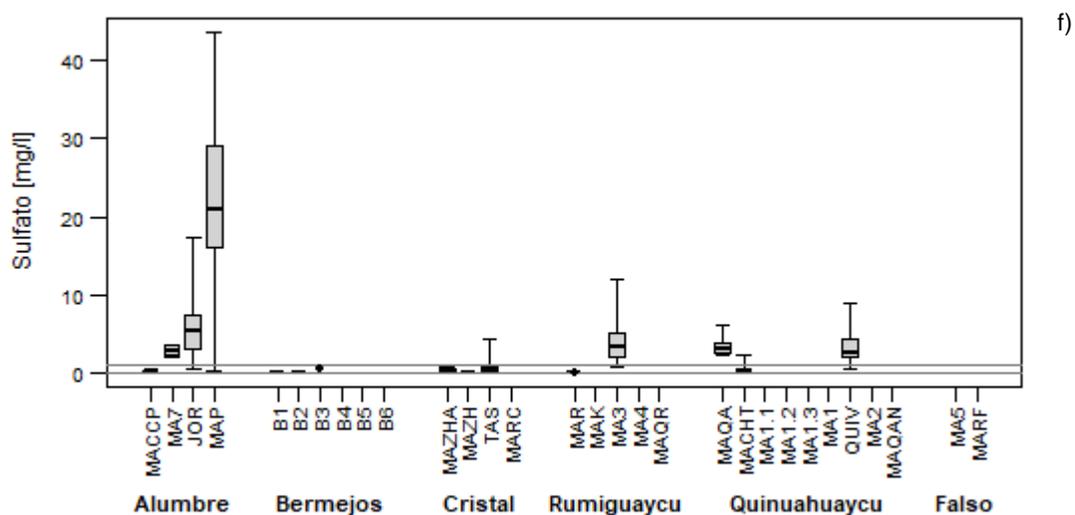
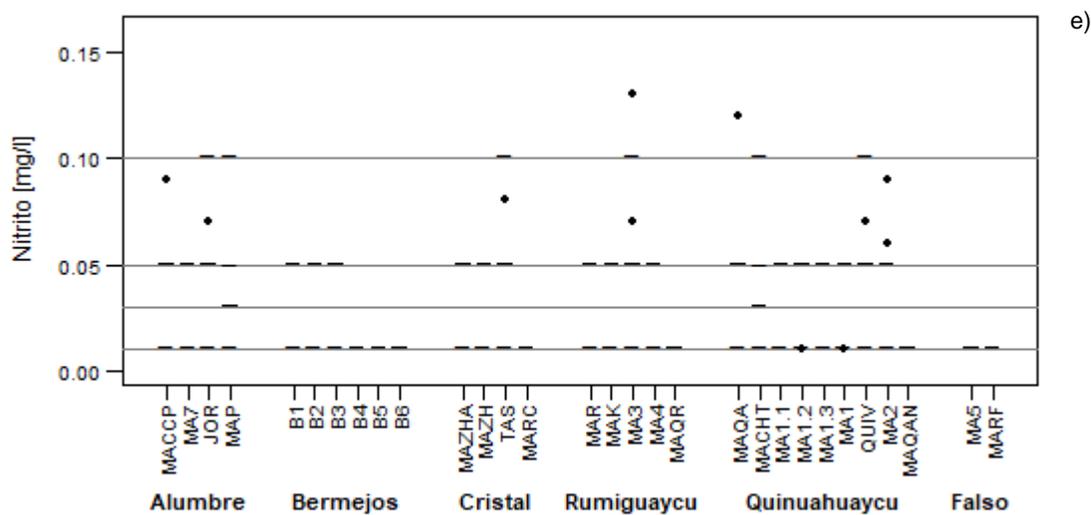
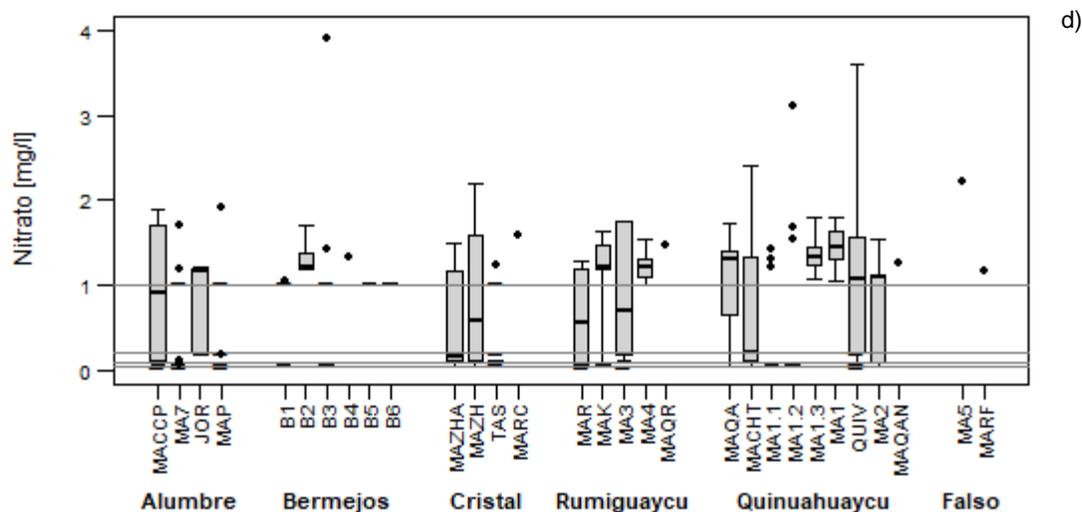
Fuente: INV Minerales, Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB y ALS), 2008-2021  
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

### Aniones y No Metálicos

Todos los parámetros han sido analizados con dos CCA, según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1, 2 y Tabla 3. Aquellos CCA descritos en la Tabla 1 se representarán con una línea roja punteada en las figuras, esta tabla se considera para el punto MA3, donde existe una captación de agua para consumo humano y abrevaderos de animales. Aquellos de la Tabla 2 se representarán con una línea roja continua, CCA para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios. Por último, aquellos parámetros de la Tabla 3 se representarán con una línea azul, este último límite se considerará para los puntos B1, B2, B3, MACCP, JOR, MAP, MAR y MA3, donde existe influencia en canales de riego y abrevaderos de animales en MA3 (ver sección **Puntos de Muestreo**).

Para los parámetros aniones y no metálicos, los resultados de los análisis reflejan que las concentraciones, al igual que los parámetros físicoquímicos, son menores a los CCA





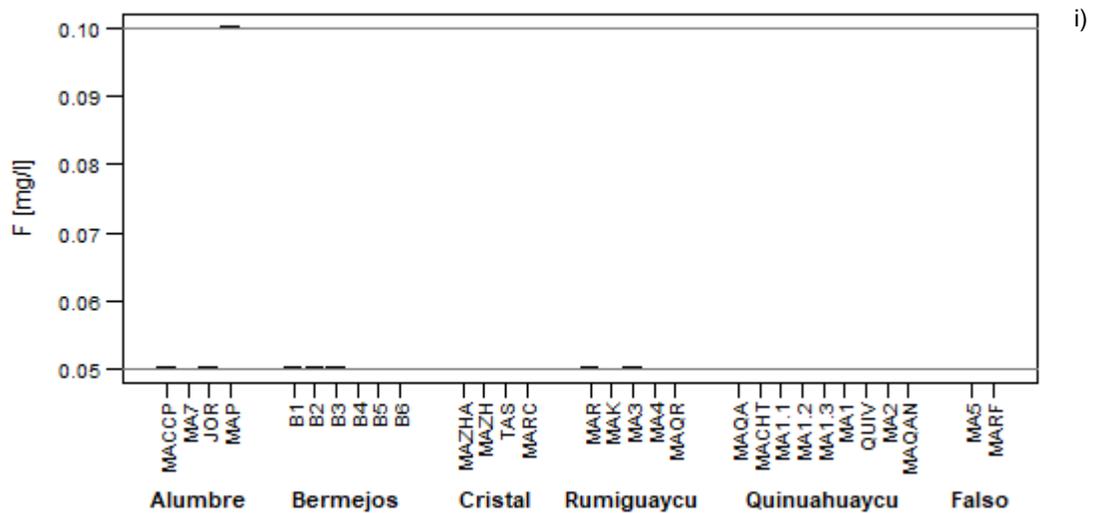
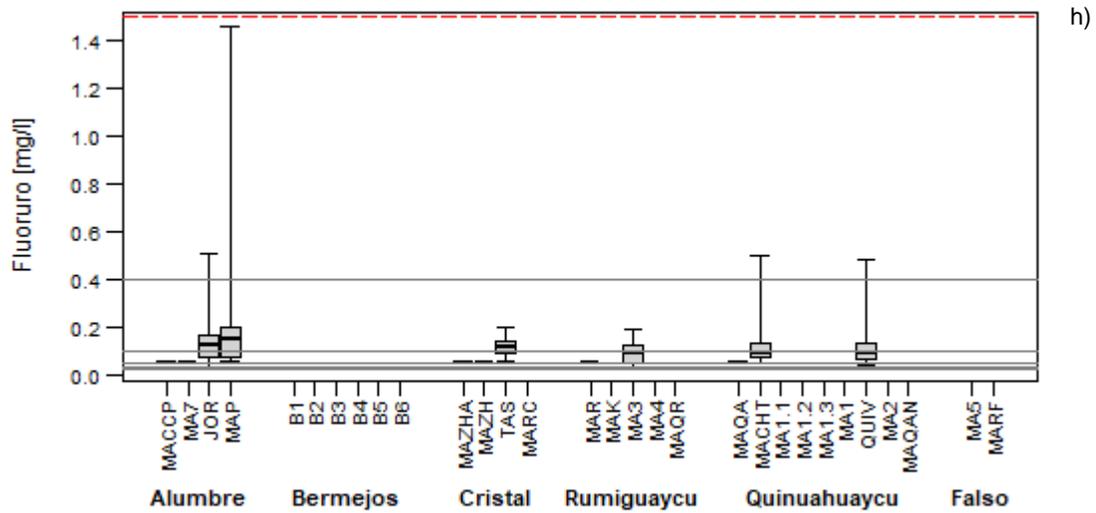
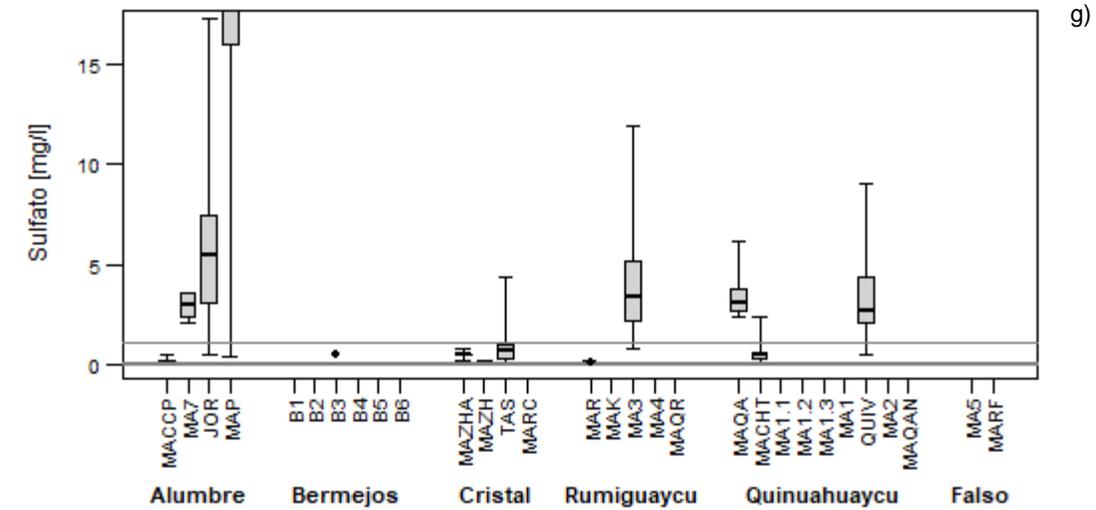


Figura 6-172 Las concentraciones medidas de amoníaco estuvieron entre 0,02 y 0,13 mg/L, o bajo el límite de cuatificación 0,30 mg/L, los cuales, considerando que el máximo valor de pH esta alrededor de 8 y de temperatura 19 °C, estuvieron dentro de los CCA, de conformidad con el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2a.

Las concentraciones observadas de cloro residual estuvieron siempre bajo el límite de cuatificación (0,1 mg/L, 0,01 mg/L y 0,5 mg/L) para todos los puntos y en todos los muestreos realizados, por esto no se pudo comparar con el CCA al A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,01 mg/L).

Las concentraciones observadas de cianuro total estuvieron bajo los límites de cuatificación (0,02, 0,01 y 0,001 mg/L) para todos los puntos y en todos los muestreos realizados. En todos los muestreos en los que se midieron las concentraciones con el límite de cuatificación 0,001 mg/L estas fueron menores a este límite en todos los sitios y por lo tanto estas estuvieron bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,1 mg/L) y Tabla 2 (0,01 mg/L). En las demás ocasiones en las que se midieron las concentraciones estas tuvieron LC mayores al CCA por lo que no se pudo llegar a conclusiones adicionales.

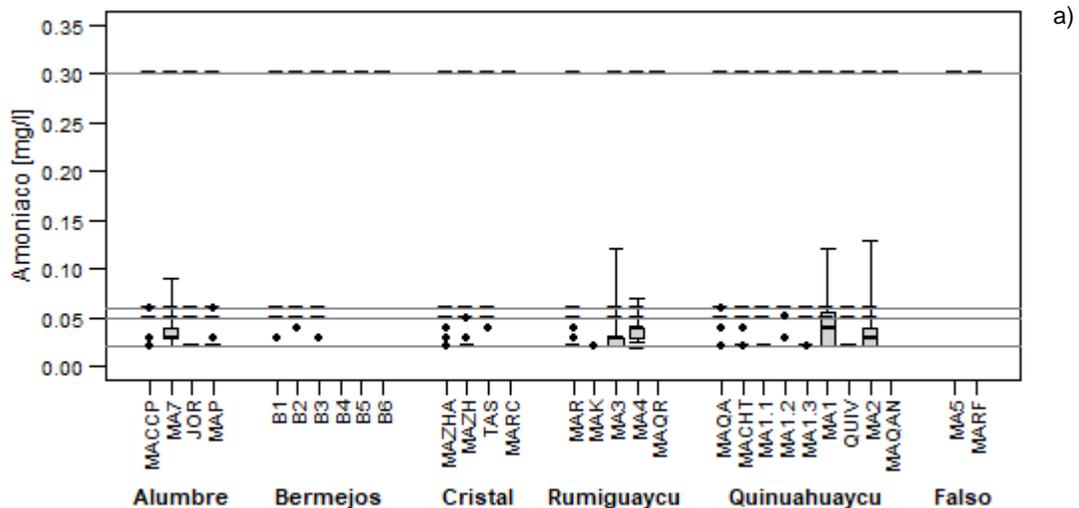
Las concentraciones observadas de nitrato estuvieron variando entre 0,05 y 0,22 mg/L, bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (50 mg/L) y Tabla 2 (13 mg/L).

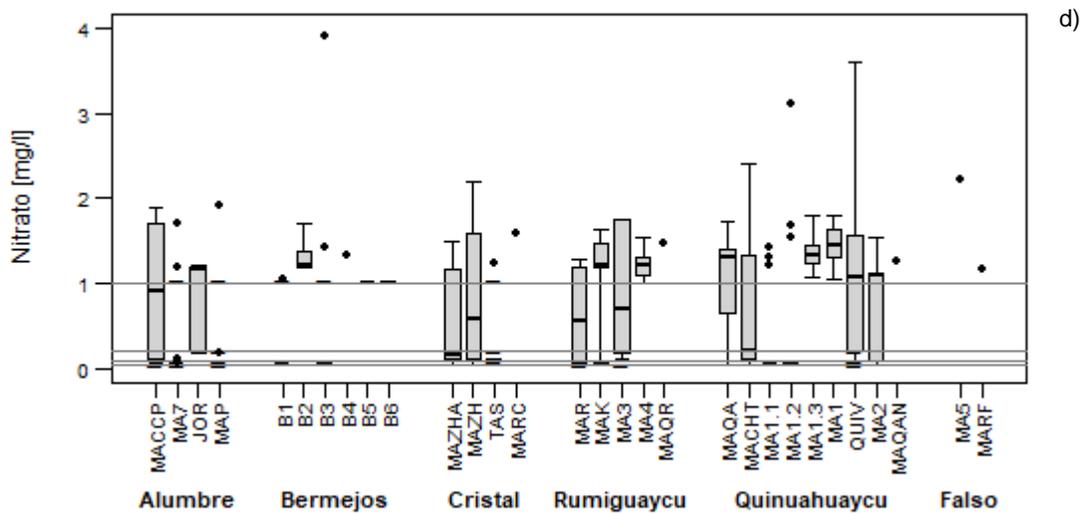
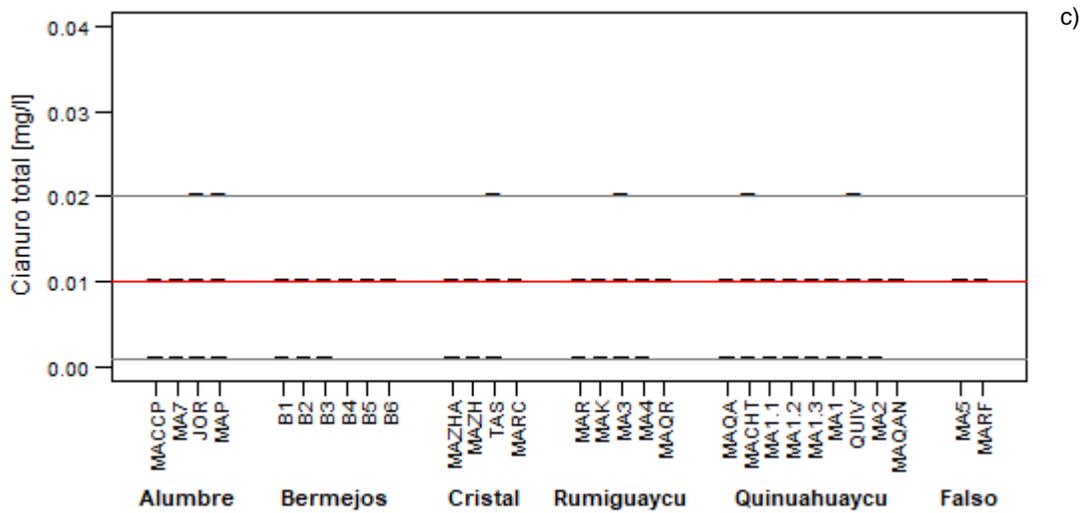
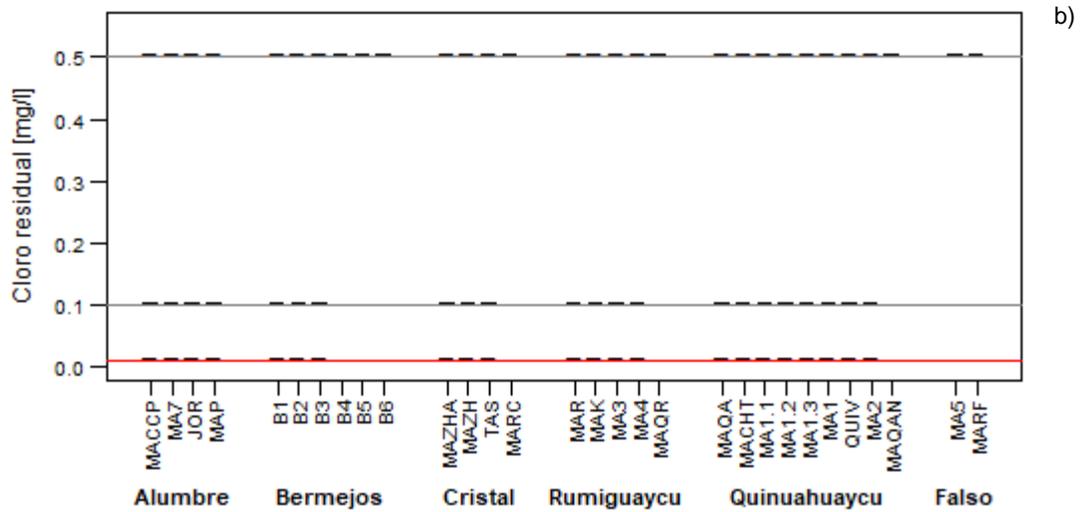
Las concentraciones de nitrito medidas estuvieron entre 0,07 y 0,13 mg/L, concentraciones bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 y Tabla 2 (0,2 mg/L para ambas tablas) y Tabla 3 (0,5 mg/L).

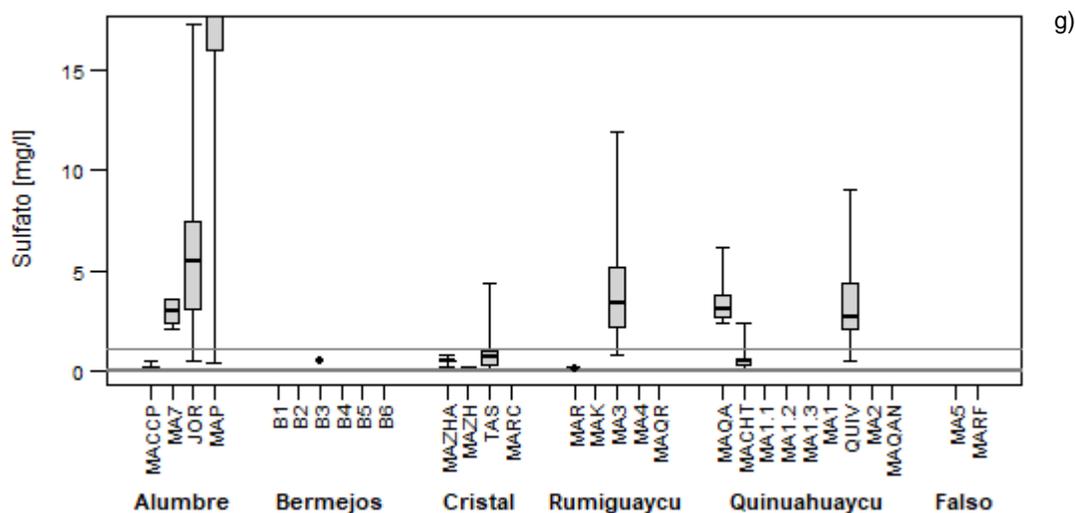
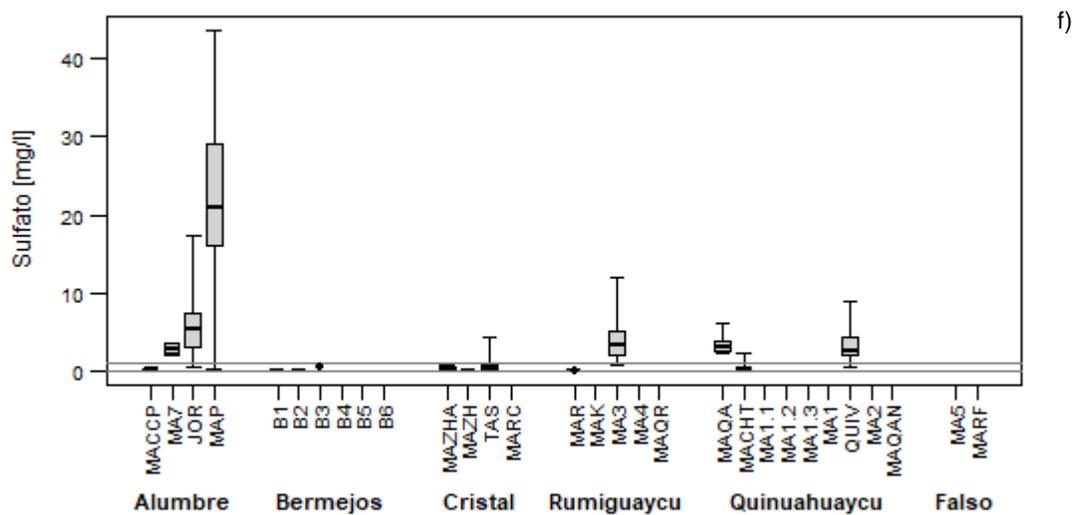
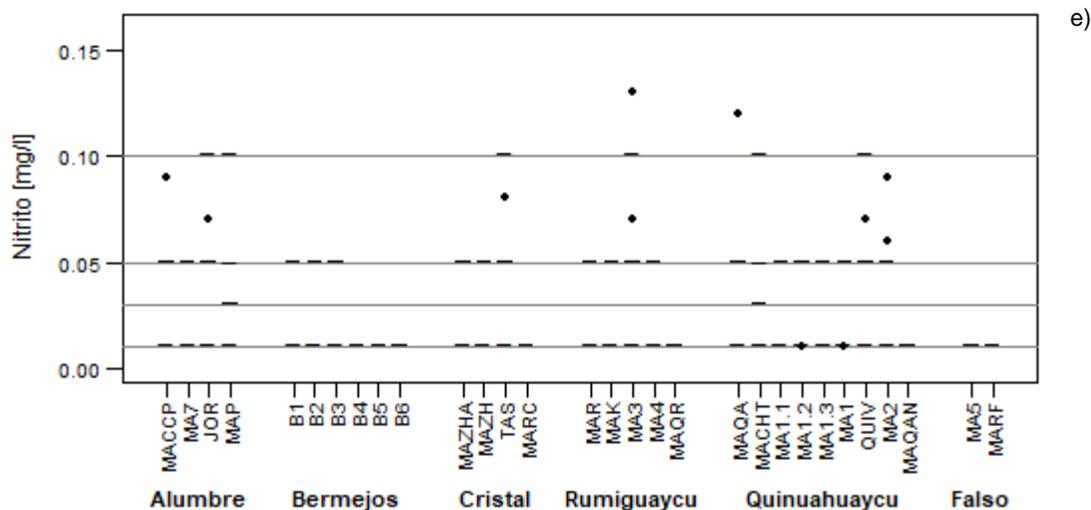
La mayoría de concentraciones observadas de sulfato estuvieron bajo o cercanas al LC entre 0,08 y 1 mg/L e IQR superpuestos, a excepción de MA7, JOR, MA3, MAQA y QUIV; en estos puntos se observaron también los IQR superpuestos con medianas de concentraciones alrededor de los 5 mg/L. Además, en MAP se midieron concentraciones de sulfato aún mayores (IQR entre 16 y 30 mg/L), hasta una concentración máxima de 43,5 mg/L. Para este parámetro existe el CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (500 mg/L) y Tabla 3 (250 mg/L), encontrando estas concentraciones observadas significativamente bajo estos CCA en todos los puntos de muestreo.

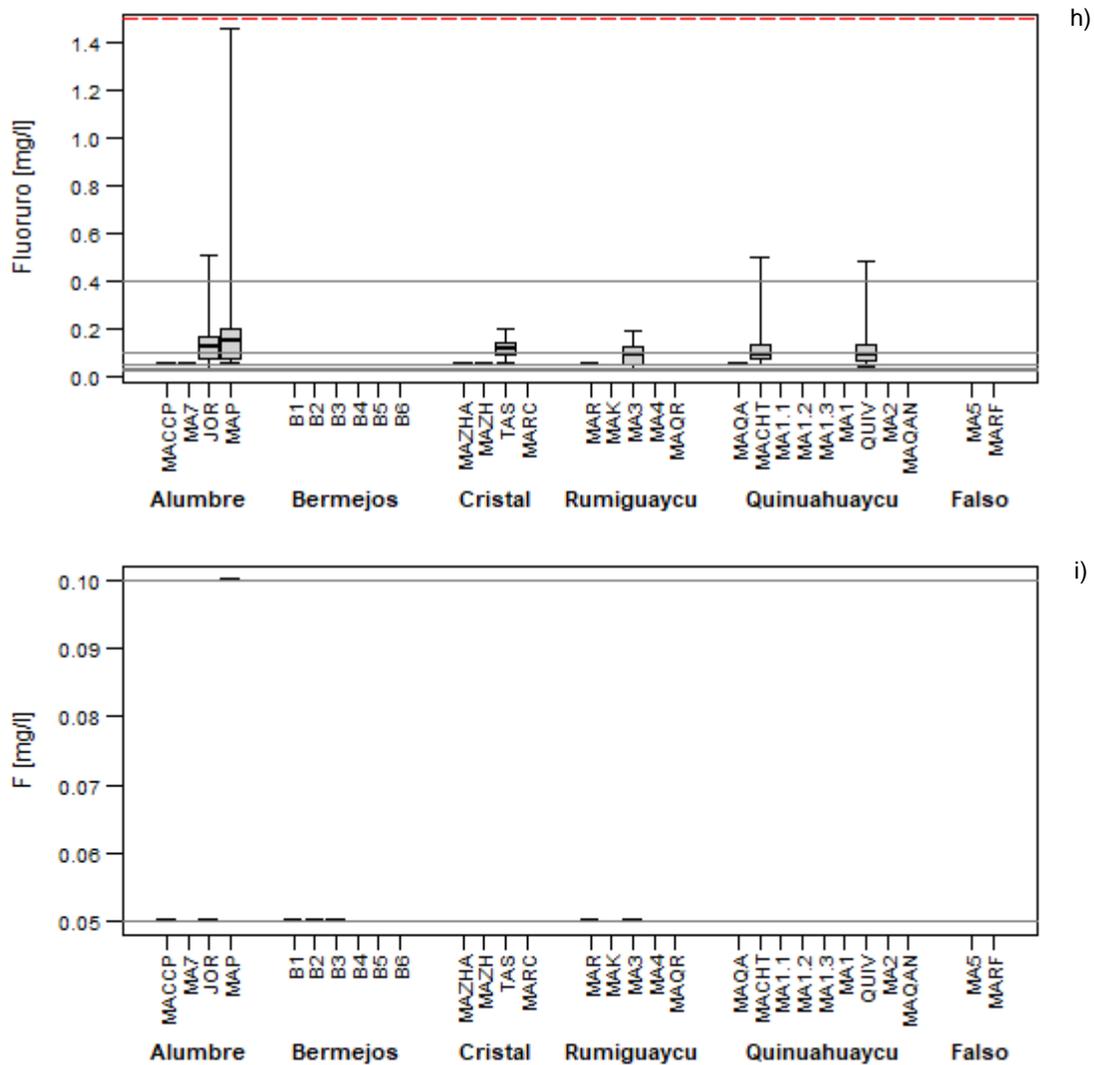
Para el caso del fluoruro, los IQR estuvieron bajo 0,2 mg/L, con máximos que no excedieron 0,6 mg/L; esto, a excepción de MAP donde el máximo llegó hasta los 1,43 mg/L, menor al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (1,5 mg/L).

Las concentraciones medidas de flúor estuvieron siempre bajo los LC (0,1 y 0,5 mg/L), bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 3 (1 mg/L), que es la única tabla para la cual aplica este parámetro.









**Figura 6-172 Diagramas de Caja de Parámetros Aniones y Mo Metálicos**

Cada gráfico contiene todo el conjunto de puntos (en vertical) agrupados por unidad hidrográfica (en horizontal).

\* Los parámetros de estas figuras son a) Amoníaco total, b) Cloro residual, c) Cianuro total, d) Nitrato, e) Nitrito y f) Sulfato (rango de 0-40 mg/L), g) Sulfato (rango de 0-15 mg/L), h) Fluoruro e i) Flúor. Las líneas horizontales representan, en rojo punteadas, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1; las líneas horizontales representan, en rojo continuas, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2; las líneas horizontales en azul, según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 3; y, las líneas horizontales en gris representan los límites de cuantificación. Las líneas cortas horizontales sobre los límites de cuantificación muestran que todas las muestras estuvieron por debajo de este, y los puntos negros representan concentraciones medidas por arriba del límite de cuantificación al momento de la medición. Los elementos repetidos corresponden a ampliaciones del eje vertical con el fin de ampliar y visualizar los puntos de muestreo con concentraciones más bajas de mejor manera. Para los elementos que no se muestra el CCA, este es mucho mayor a las concentraciones graficadas.

Fuente: Fuente: INV Minerales, Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB y ALS), 2008-2021.  
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

### Orgánicos y Microbiológicos

Todos los parámetros han sido analizados con dos CCA según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3. Aquellos CCA descritos en la Tabla 1 se representarán con una línea roja punteada en las figuras, esta tabla se considera para el punto MA3, donde existe una captación de agua

para consumo humano y abrevaderos de animales. Aquellos de la Tabla 2 se representarán con una línea roja continua, CCA para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios. Por último, aquellos parámetros de la Tabla 3 se representarán con una línea azul, este último límite se considerará para los puntos B1, B2, B3, MACCP, JOR, MAP, MAR, MARC y MA3, donde existe influencia en canales de riego y abrevaderos de animales en el punto MA3 (ver sección 6.3.15.1.1).

En esta sección se presentarán los parámetros orgánicos y microbiológicos (Figura 6-173). Las concentraciones de aceites y grasas estuvieron bajo los LC (0,3, 0,2, 0,1, y 1 mg/L), mayor al CCA, por esto no se pudo comparar con el CCA según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,2 mg/L) y Tabla 2 (0,3 mg/L). De conformidad con el A.M. 097-A Anexo 1, Tabla 3, en la que se especifica "Ausencia" de aceites y grasas, esto no se puede definir, ya que se ha medido siempre bajo el LC.

La mayoría de las concentraciones de coliformes fecales estuvieron bajo el CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 3 (1000 NMP/100 ml). Tomando en cuenta esto, el mencionado CCA se debe considerar solo para B1, B2, B3, MACCP, JOR, MAP, MAR, MARC y MA3, donde no se midieron concentraciones mayores a este, a excepción de MACHT, donde se midió una concentración de 110 000 NPM/100 ml, mayor al CCA. En general, en algunos puntos (MACCP, MA7, JOR, MAP, TAS, MAK, MA3, MA4, MA1, MACHT, QUIV, MA1.3 y MA2) sí se midieron concentraciones mayores al LC de coliformes fecales, entre 30 y 500 NMP/100 ml. De estos puntos, MA1, con 2400 NMP/100 ml, y MACHT, como se mencionó con 110 000 NMP/100 ml, tuvieron concentraciones mayores al CCA para agua de riego (A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 3), aunque este solo aplica para MACHT y no para MA1.

Para el caso de la DBO, casi todos los IQR estuvieron entre los 5 y 17 mg/L y, aunque se midieron máximos de concentraciones mayores al CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (<2 mg/L), e incluso algunos máximos de concentraciones mayores al CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (20 mg/L). Los puntos que excedieron este último CCA fueron en los puntos de monitoreo B2 y en todos los puntos de cuenca de Quinahuaycu a excepción de MA2 y MAQAN llegando en esta cuenca hasta un máximo de 34,68 mg/L en QUIV. Esto puede estar asociado a que estas concentraciones (por arriba de los 20 mg/L), correspondieron a un mismo monitoreo (30 y 31 de marzo de 2021) en la cual también se midieron los caudales altos (los más altos en los que se ha realizado un monitoreo de calidad de agua). Altos caudales o épocas muy húmedas son representadas por un flujo lateral rápido de agua en los suelos, lo cual puede lixiviar compuestos orgánicos depositados por pastoreo en la zona y por consiguiente dando concentraciones altas de DBO en los ríos. Durante este muestreo no existió operaciones de la empresa en la zona.

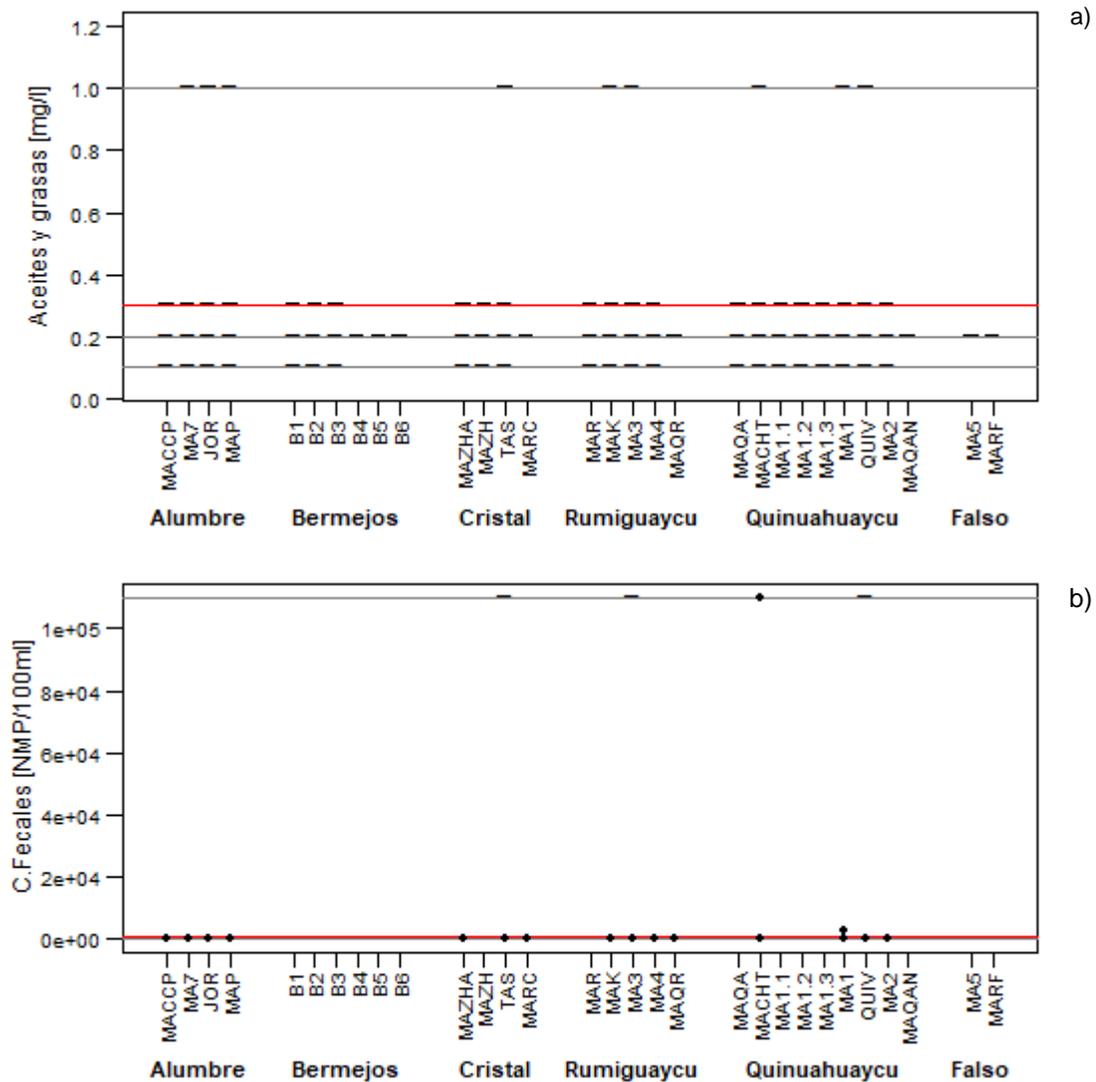
La mayoría de los IQR de las concentraciones de DQO estuvieron entre 6-25 mg/L. A pesar de lo anterior la mayoría de los puntos en Quinahuaycu (excepto MA2 y MAQAN), y los puntos MA3, y B2, donde los máximos de concentraciones fueron significativamente más altas estando entre los 40 y 55,5 mg/L llegando a sobrepasar al CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (40 mg/L). En el punto MA3, donde el CCA, por ser punto importante para agua de consumo humano es 4 mg/L, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1, el rango intercuartílico de las concentraciones de DQO (entre 10 y 15 mg/L) estuvieron significativamente más altas que el CCA, con un máximo de 43,2 mg/L. Sobrepasando la mayoría del tiempo el CCA antes mencionado.

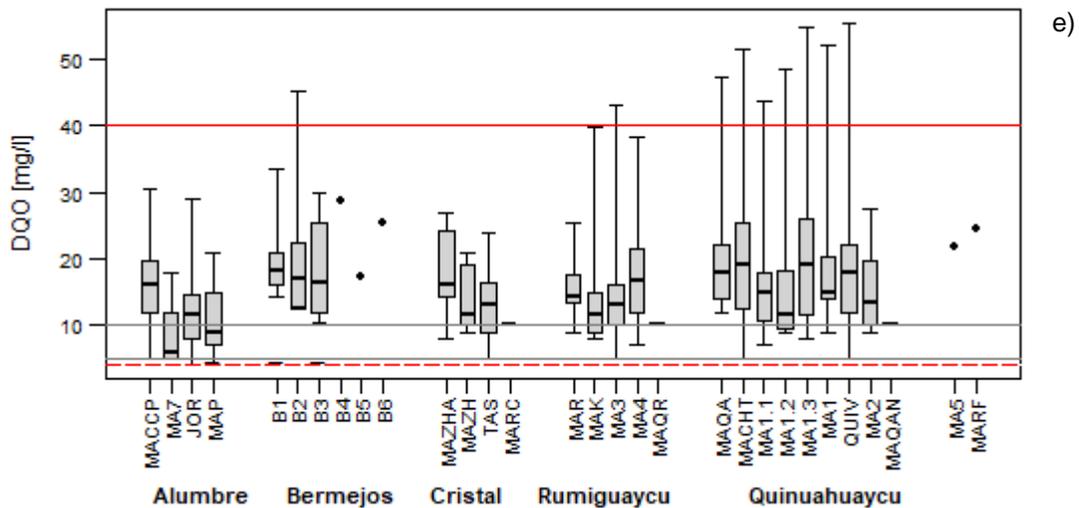
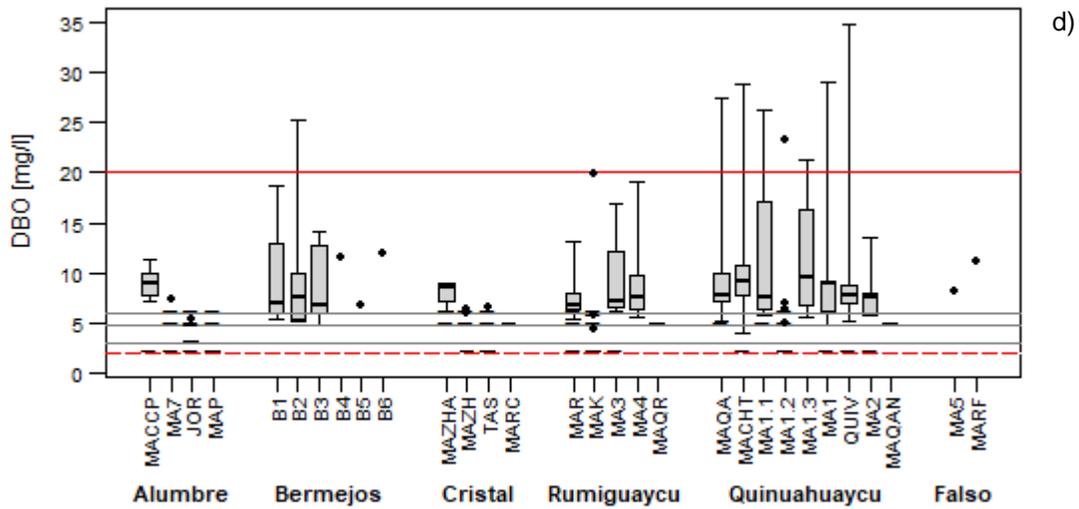
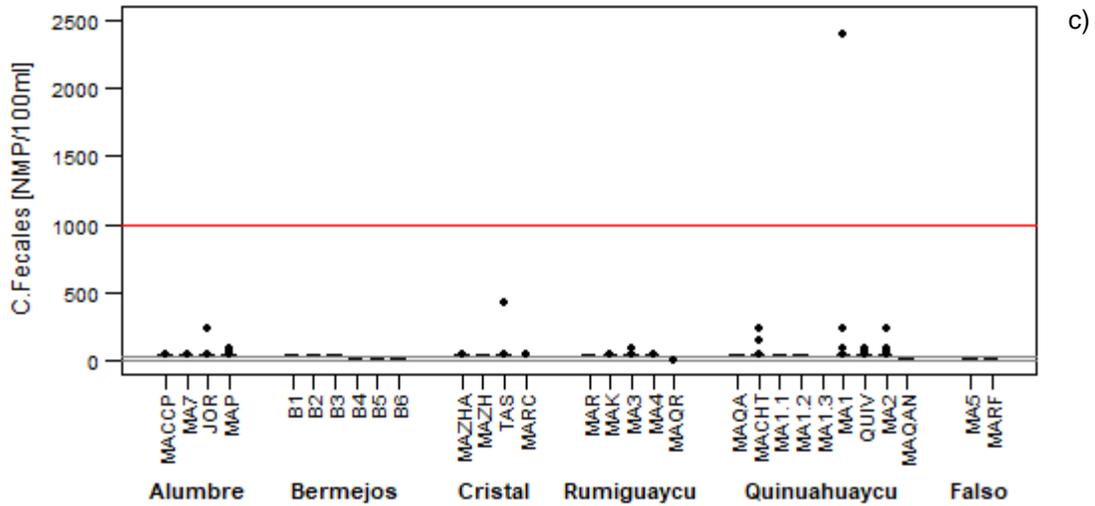
Las concentraciones de fenoles monohídricos en todos los análisis estuvieron bajo los LC (0,001 y 0,008 mg/L). A pesar de lo anterior, la mayoría de puntos (17 de 22 puntos) tuvieron concentraciones menores al LC (0,001 mg/L) y, por lo tanto, menores al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,001 mg/L), aunque algunos puntos no pudieron ser evaluados por tener LC mayor al CCA.

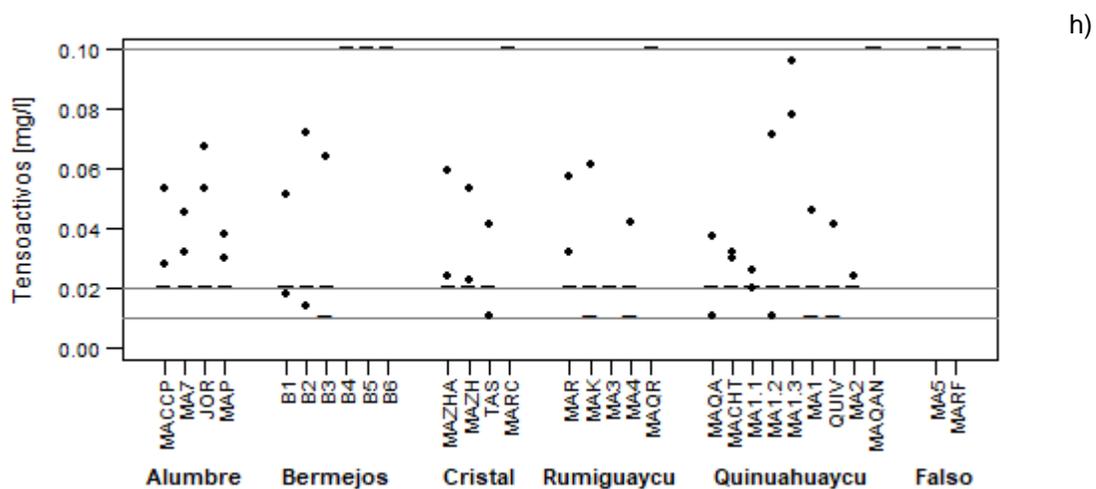
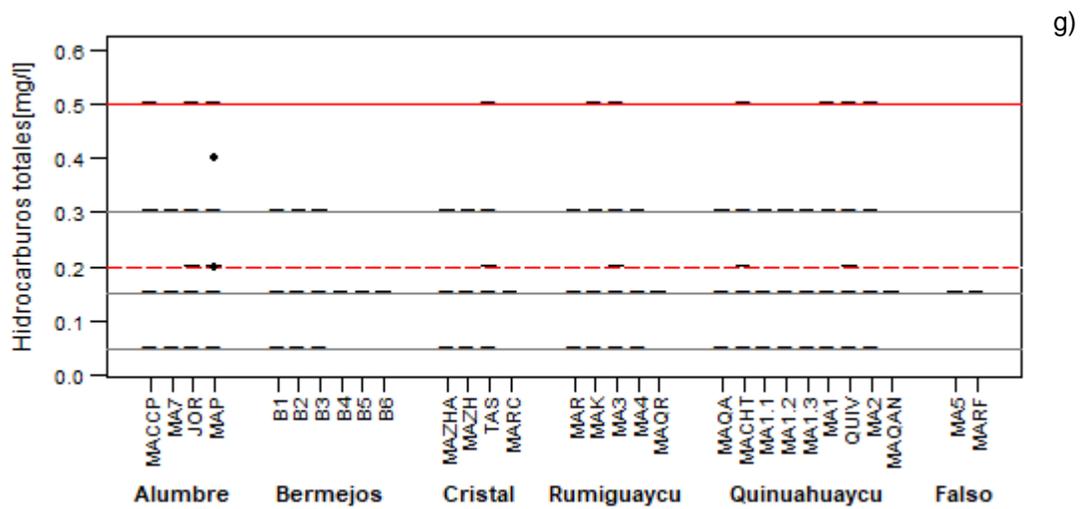
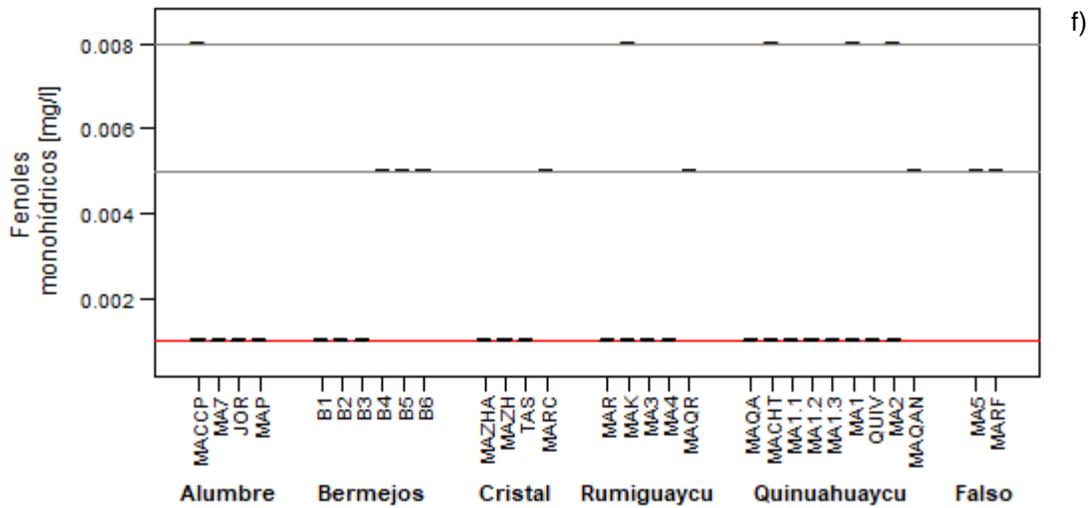
Las concentraciones de hidrocarburos totales también fueron medidas en su mayoría bajo los LC (0,2, 0,3, 0,15, 0,05 y 0,5 mg/L); las concentraciones en todos los puntos siempre fueron menores al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,5 mg/L). En este parámetro, para el punto que tuvo interés, por ser cercano a una captación de agua de consumo humano (MA3) correspondiente al reglamento según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,2 mg/L), las concentraciones en su mayoría estuvieron bajo los LC 0,2, 0,3 y 0,5 mg/L.

De esta manera cuando las concentraciones fueron medidas con métodos que tengan un LC bajo los 0,2 mg/L estas fueron menores al CCA cumpliendo con los criterios establecidos en el reglamento mencionado. En los casos en que los resultados del laboratorio se expresaron en menor a los LC 0,3 y 0,5 mg/L no se pudieron evaluar ya que estos LC son mayores al CCA.

Las concentraciones de tensoactivos siempre estuvieron entre los 0,01 mg/L y 0,1 mg/L (LC), concentraciones bajo el CCA del A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,5 mg/L).







### Figura 6-173 Diagramas de Caja de Parámetros Orgánicos y Microbiológicos

Cada gráfico contiene todo el conjunto de puntos (en vertical) agrupados por unidad hidrográfica (en horizontal).

\* Los parámetros de estas figuras son: a) Aceites y grasas, b) Coliformes fecales (0-1e+5 NMP/100 ml), c) Coliformes fecales (0-2500 NMP/100 ml), d) DBO, e) DQO, f) Fenoles monohídricos, g) Hidrocarburos totales y h) Tensioactivos. Las líneas horizontales representan, en rojo punteadas, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1; las líneas horizontales representan, en rojo continuas, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2; las líneas horizontales en azul, según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 3; y, las líneas horizontales en gris representan los límites de cuantificación. Las líneas cortas horizontales sobre los límites de cuantificación muestran que todas las muestras estuvieron por debajo de este, y los puntos negros, concentraciones medidas por encima del límite de cuantificación al momento de la medición. Los elementos repetidos corresponden a ampliaciones del eje vertical con el fin de ampliar y visualizar los puntos de muestreo con concentraciones más bajas de mejor manera. Para los elementos que no se muestra el CCA este es mucho mayor a las concentraciones graficadas.

Fuente: INV Minerales, Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB y ALS), 2008-2021

Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

#### Cationes Totales

Todos los parámetros han sido analizados con dos CCA según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3. Aquellos CCA descritos en la Tabla 1 se representarán con una línea roja punteada en las figuras, esta tabla se considera para el punto MA3, donde existe una captación de agua para consumo humano y abrevaderos de animales. Aquellos de la Tabla 2 se representarán con una línea roja continua, CCA para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios. Por último, aquellos parámetros de la Tabla 3 se representarán con una línea azul, este último límite se considerará para los puntos B1, B2, B3, MACCP, JOR, MAP, MAR y MA3, donde existe influencia en canales de riego y abrevaderos de animales en el punto MA3 (ver sección 6.3.15.1.1).

En esta sección se analizaron los parámetros cationes totales (Figura 6-174). Algunos de los parámetros de esta sección se encontraron fuera de los criterios de calidad de agua (Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Se y Zn) condición que se puede deber a que el agua se ha movido a través de suelos ácidos (Wouter Buytaert et al., 2006), formados mediante procesos que incluyen sulfidación de la roca en mineralización (ver sección Parámetros físicos). Esta agua ácida además de movilizar elementos que se encuentran depositados en los suelos volcánicos de páramo como metales pesados, también es capaz de movilizar elementos de la capa superficial alterada de la roca, lixiviando así desde los suelos y roca hacia las quebradas (Bourg, ACM and Loch, 1995; Correa et al., 2019).

Las concentraciones medidas para plata estuvieron en su mayoría bajo los límites de cuantificación (LC) y, aunque algunas concentraciones fueron medidas con concentraciones más altas que el LC, los resultados estuvieron bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,01 mg/L) o con el límite de cuantificación de 0,01 mg/L. Las concentraciones máximas medidas de Ag que fueron mayores a los límites de cuantificación en el análisis que haya correspondido a ese muestreo fueron de 0,0019 y 0,0034 mg/L en MA1 y MA7 respectivamente bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,01 mg/L).

En el caso del aluminio, los IQR de la mayoría de los parámetros estuvieron superpuestos con concentraciones entre 0,02 y 0,4 mg/L aproximadamente, mostrando que la mayoría de los puntos de muestreo del estudio tienen la misma dinámica y son homogéneos, llegando los IQRs y los límites máximos hasta concentraciones mayores (0,8-1,2 mg/L), al CCA (0,1 mg/L). En la cuenca de Alumbre el IQR en el punto MAP fue significativamente mayor, entre 0,5 y 1 mg/L, y la máxima concentración en este último punto fue de 2,6 mg/L, siendo este el único punto que se diferencia de manera significativa de los demás. Es importante decir que las concentraciones medidas de aluminio fueron primordialmente mayores a los CCA (0,1 mg/L), de conformidad con el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2. Hay que tomar en cuenta que a un pH menor a 6,5 (22 % de las muestras de todos los puntos) el CCA es 0,005 mg/L (según la anotación 1 de la Tabla 2) y no 0,1 mg/L. Considerando este nuevo CCA, todas las muestras con este pH (menor a 6,5), exceden el CCA con concentraciones entre 0,07 y 6,1 mg/L. De acuerdo con la Tabla 3, todas las concentraciones de aluminio estuvieron bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (5 mg/L).

En relación al arsénico, las concentraciones en todas las cuencas estuvieron en el rango de 0,0005 y 0,004 mg/L, por debajo del CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,1 mg/L) y Tabla 2 (0,05 mg/L), a excepción de MAP en Alumbre, donde las concentraciones máximas incluso llegaron a ser mayores al CCA mencionado, hasta un máximo de 0,07 mg/L.

Las concentraciones de boro medidas, siempre estuvieron bajo los límites de cuantificación; las únicas concentraciones medidas sobre estos límites estuvieron en 0,04 mg/L en MACCP, 0,03 mg/L en MA7, MAZHA y MAP, 0,02 mg/L en MAZH y TAS, bajo el CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,75 mg/L).

Las concentraciones medidas de bario variaron generalmente entre 0,0065 y 0,057 mg/L; solamente en Quinuahuaycu las concentraciones fueron más estables, variando entre 0,01 y 0,035 mg/L, todos estos menores al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (1 mg/L).

Las concentraciones de berilio estuvieron bajo los LC o con concentraciones medidas cercanas a estos (entre 0,0001 y 0,0005 mg/L), la única concentración medida por encima del rango mencionado fue de 0,0024 mg/L en MA1.3; todos estos valores bajo el CCA, según el 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,1 mg/L).

Las concentraciones de cadmio estuvieron generalmente bajo los LC (0,0005 mg/L), a excepción de JOR, MAP, MAK, MA3, MACHT, QUIV y MA2. De estos puntos, en MAP y MACHT se midieron concentraciones mayores, sobrepasando incluso los IQR en estos puntos el CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,001 mg/L). En estos puntos, las concentraciones máximas llegaron a 0,008 mg/L en MAP y 0,004 mg/L, en MAK, significativamente mayores al CCA. A pesar de lo anterior, las concentraciones no sobrepasaron en ningún punto los CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,02 mg/L) y Tabla 3 (0,05 mg/L).

Las concentraciones de cobalto estuvieron bajo los límites de cuantificación o concentraciones cercanas a estos (menores en su mayoría a 0,004 mg/L); solamente en el caso de MAP en Alumbre y en MA1.3, las concentraciones llegaron hasta 0,006 y 0,0015 mg/L, todas estas menores a los CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,2 mg/L) y Tabla 3 (0,01 mg/L). En algunos muestreos se midieron las concentraciones de Co con un LC (0,2mg/L) mayor al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 3 (0,01 mg/L) por este motivo no se pudo comparar con el CCA, sin embargo, se puede asegurar que se cumplió con los CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,2 mg/L).

Similar al cobalto, las concentraciones medidas de cromo estuvieron bajo los límites de cuantificación o cercanas a estas concentraciones, a excepción de los puntos MA7, JOR, MAP, MAZH, MAZHA, TAS, MAK, MA4, MA1 y QUIV, donde las concentraciones llegaron a valores entre 0,002 y 0,003 mg/L; el máximo fue de 0,0085 mg/L en MAQA; todos los valores bajo los CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,05 mg/L), Tabla 2 (0,032 mg/L) y Tabla 3 (0,1 mg/L).

Las concentraciones medidas de cobre mostraron los IQR más heterogéneos entre puntos, notándose dos grupos significativamente similares. El primero (MA7, JOR, MAP, B1, B2, B3, TAS, MACHT, MA1.1, MA1.2, MA1.3 y QUIV), con los IQR bajo los 0,005 mg/L, CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2; y, el segundo grupo (MACCP, MAZHA, MAZH, MAR, MAQA, MA2, MA1, MA3, MA4, y MAK), con los IQR entre 0,005 y 0,025 mg/L, significativamente mayores al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,005 mg/L) y menores a los CCA de la Tabla 1 (2 mg/L) y Tabla 3 (0,2 mg/L). A pesar de lo anterior, todos los puntos de muestreo presentaron concentraciones máximas mayores al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,005 mg/L), siendo estas concentraciones alrededor de 0,05 mg/L, para el primer grupo, y alrededor de 0,08 mg/L, para el segundo grupo.

En el análisis de las concentraciones de hierro, se halló tres grupos significativamente similares. El primer grupo (MA4, MA3, TAS, MAZH, MAZHA y MACCP), con los IQR bajo 0,3 mg/L, que es el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2; sin embargo, de este grupo, en los puntos MA4 y MA3 las concentraciones máximas ya excedieron el CCA con valores alrededor de 0,5 mg/L. En el segundo grupo (MA2, MAQAN, B1, B2, B3, B4, B5, B6, MAR, MAQA, MA1.1, MA1.2, MA1.3, QUIV, MACHT, MA5, MARF, MARC, MA1, MAK, JOR y MA7) con los IQR entre 0,3 y 0,8 mg/L, las concentraciones máximas alrededor de 2 mg/L,

con una concentración máxima de 5,2 mg/L en QUIV; y, el tercer grupo, un punto (MAP) con los IQR entre 0,3 y 2,1 mg/L para MAP, una sola concentración máxima medida de 6,1 mg/L. Los dos últimos grupos tuvieron concentraciones mayores al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,3 mg/L). Las concentraciones en B1, B2, B3, MACCP, JOR, MAP, MAR MARC y MA3 (agua para riego agrícola) no sobrepasaron el CCA según la Tabla 3 (5 mg/L). Para el punto de interés para agua de consumo humano MA3, las concentraciones no excedieron el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (1 mg/L).

Las concentraciones medidas de mercurio estuvieron bajo los LC generalmente (<0,0002 mg/L) y todos los puntos bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,0006 mg/L), Tabla 2 (0,0002 mg/L) y Tabla 3 (0,001 mg/L). En algunos casos se midieron las concentraciones bajo el LC (0,0005 mg/L) en los cuales no se sobrepasó el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,0006 mg/L) y Tabla 3 (0,001 mg/L), sin embargo, con este límite de cuantificación, no se pudo no se pudo comparar con el CCA, según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,0002 mg/L) que es menor al LC antes mencionado.

Las concentraciones medidas de litio también estuvieron en rangos cercanos a los LC (0,0005-0,010 mg/L), todos los puntos con concentraciones similares. El CCA en este parámetro se aplica solo para los puntos B1, B2, B3, MACCP, JOR, MAP, MAR y MA3 (agua para riego agrícola), según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 3 (2,5 mg/L) donde las concentraciones estuvieron bajo 0,0015 mg/L, por lo tanto, bajo el CCA.

Las concentraciones medidas de manganeso estuvieron entre 0,005 y 0,09 mg/L en la mayoría de puntos de muestreo. Esto, a excepción de MA1, QUIV, MAP y JOR, donde las concentraciones máximas llegaron a 0,13, 0,19, 0,69 y 0,22 mg/L respectivamente. Estos últimos valores excedieron el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,1 mg/L). Además, las concentraciones de manganeso en MAP superaron a aquellas del resto de puntos, incluidos los últimamente mencionados con concentraciones máximas medidas de hasta 0,69 mg/L.

Las concentraciones medidas de molibdeno, la mayoría del tiempo estuvieron bajo los límites de cuantificación o cercanos a estos, llegando solamente en MAP y TAS hasta 0,0021 mg/L y en ocasiones se encontraron con concentraciones menores al LC (0,008 mg/L); sin embargo, todos bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 3 (0,01 mg/L).

Con el níquel paso algo similar, las concentraciones estuvieron variando cerca de los LC entre 0,0001 y 0,005 mg/L y todos bajo los CCA en el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,025 mg/L) y Tabla 3 (0,2 mg/L).

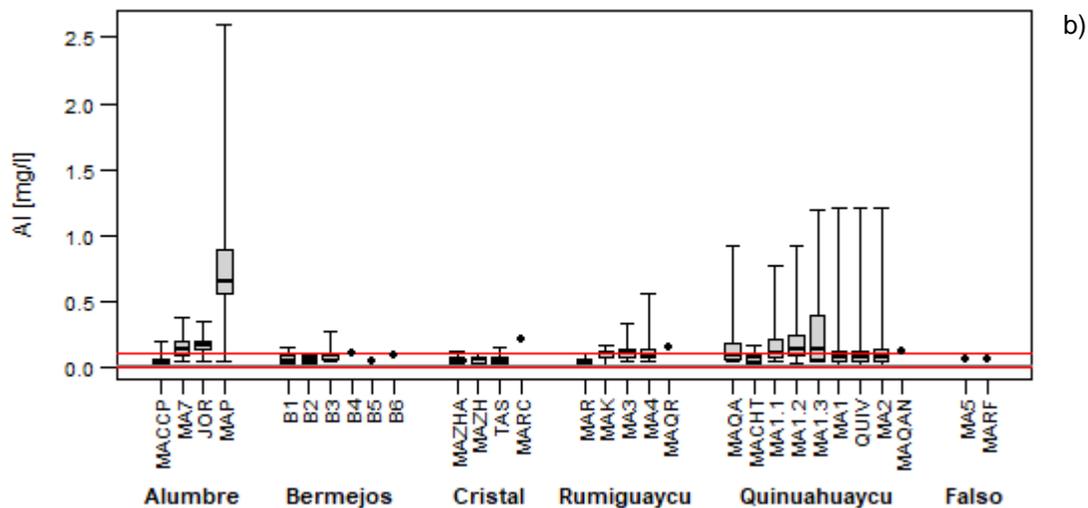
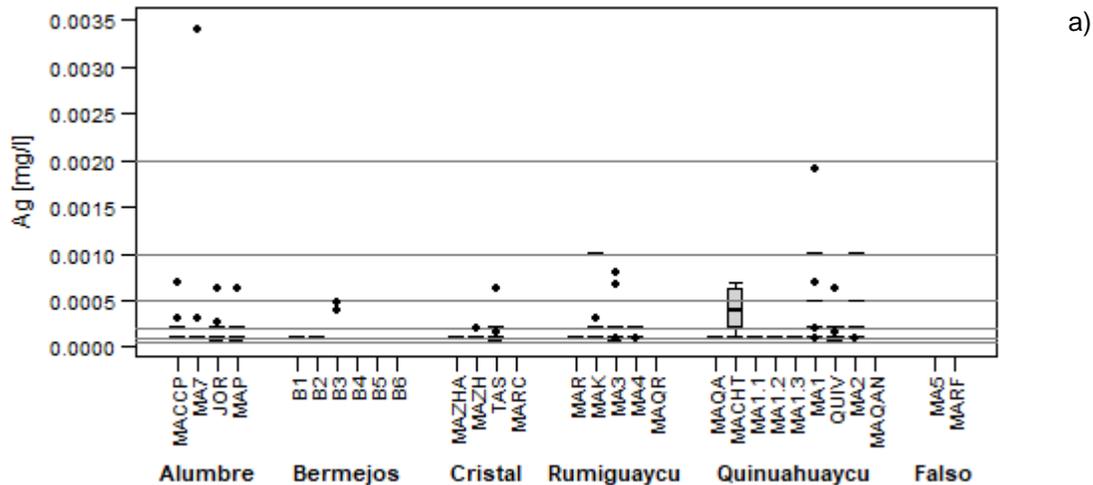
Las concentraciones de plomo estuvieron, en su mayoría, sobrepasando el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,001 mg/L), a excepción de MAZHA, MAZH, MAR, MA1.1, MA1.2, B1, B3, B4, B5, B6, MAQAN, MA5, MARF y MAQA. En el resto de puntos (MACCP, B2, MA1.3, MA7, JOR, MAP, TAS, MAK, MA3, MA4, MA1, MACHT, QUIV y MA2) los IQR y concentraciones máximas sobrepasaron el CCA llegando a concentraciones máximas entre 0,0011 mg/L en TAS y 0,013 mg/L en MAP. Todas las concentraciones de plomo estuvieron bajo el CCA según la Tabla 3 (5 mg/l). Para el punto MA3, punto de interés para agua de consumo humano, las concentraciones estuvieron bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,01 mg/L).

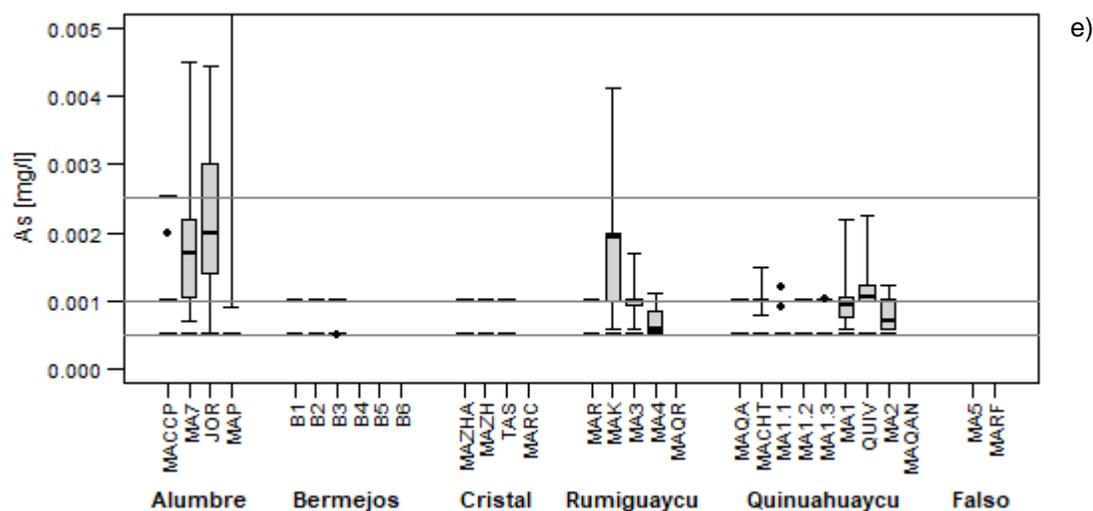
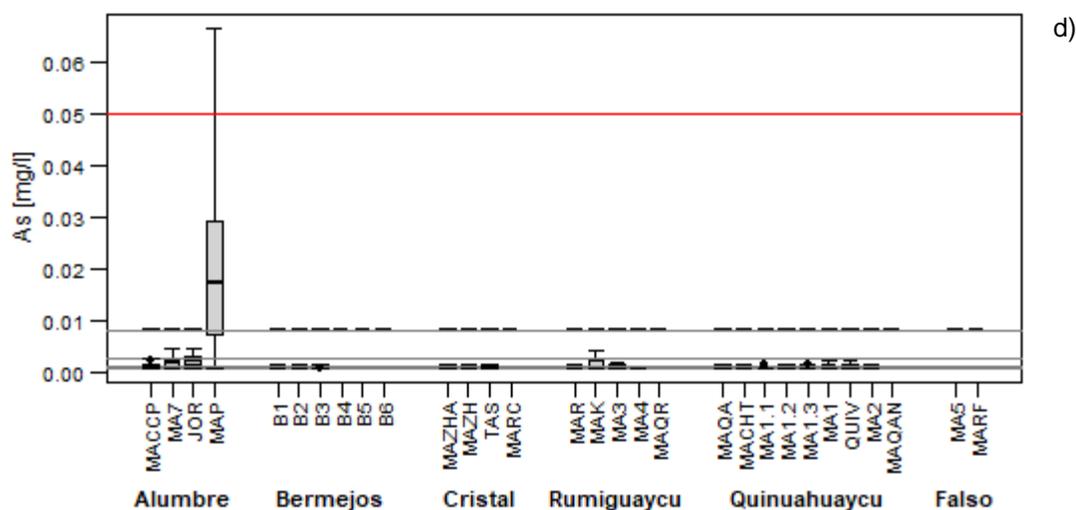
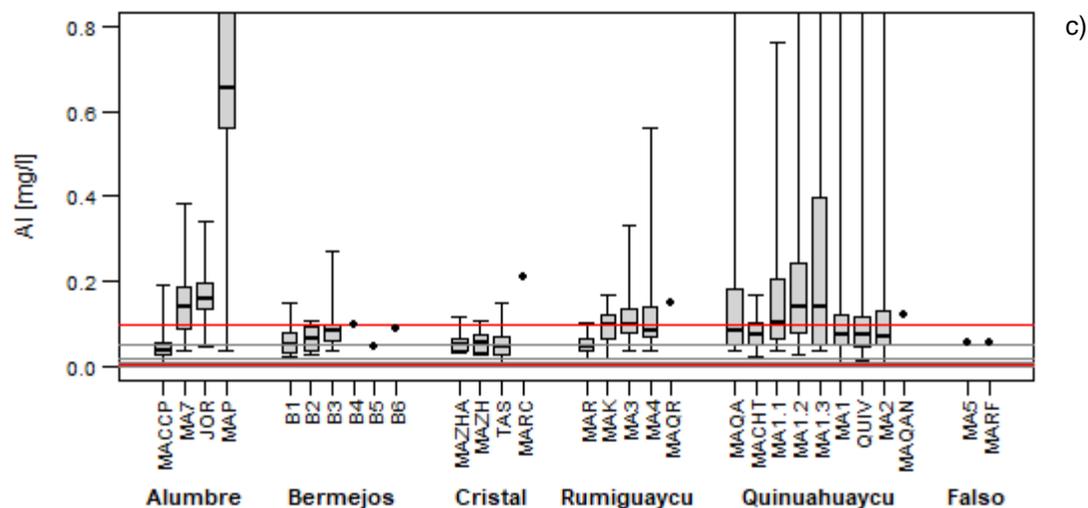
Las concentraciones medidas de selenio estuvieron en su mayoría bajo los LC, y las únicas concentraciones medidas más altas que estos límites al momento del análisis fueron de 0,001 mg/L, concentración igual al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,001 mg/L) en JOR y MA7. Además, se midieron valores de 0,002 mg/L en MAQA y 0,007 mg/L en MA1.2 mayores al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,001 mg/L). Todas las concentraciones fueron más bajas que el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 (0,01 mg/L).

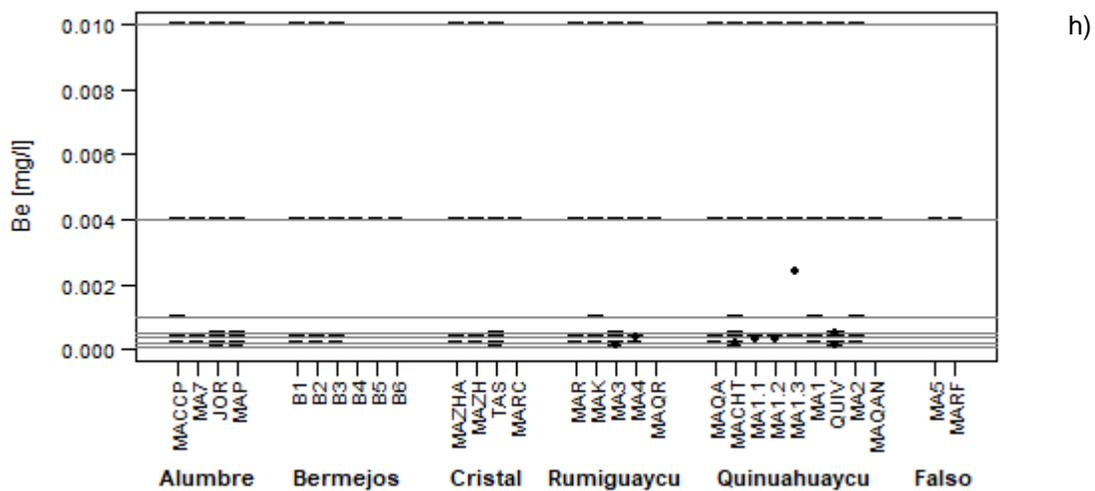
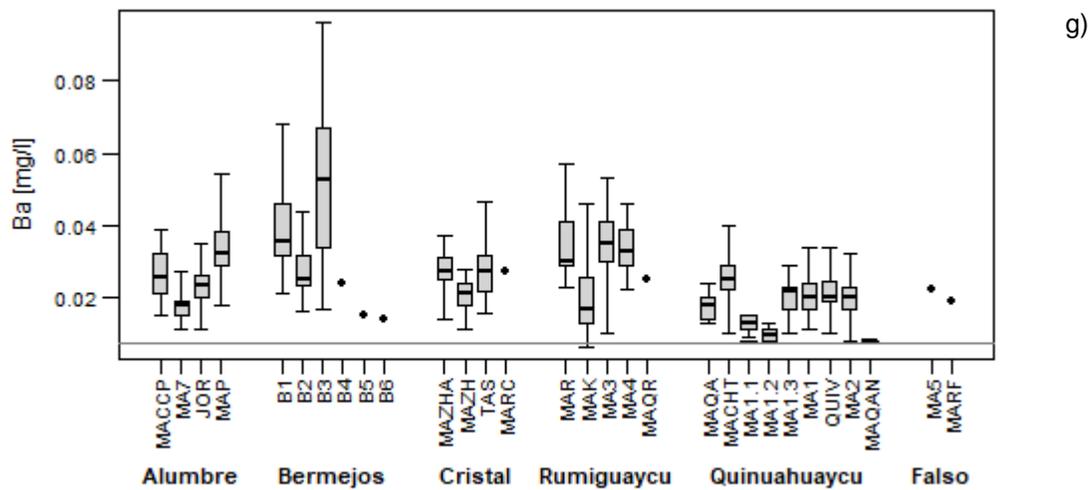
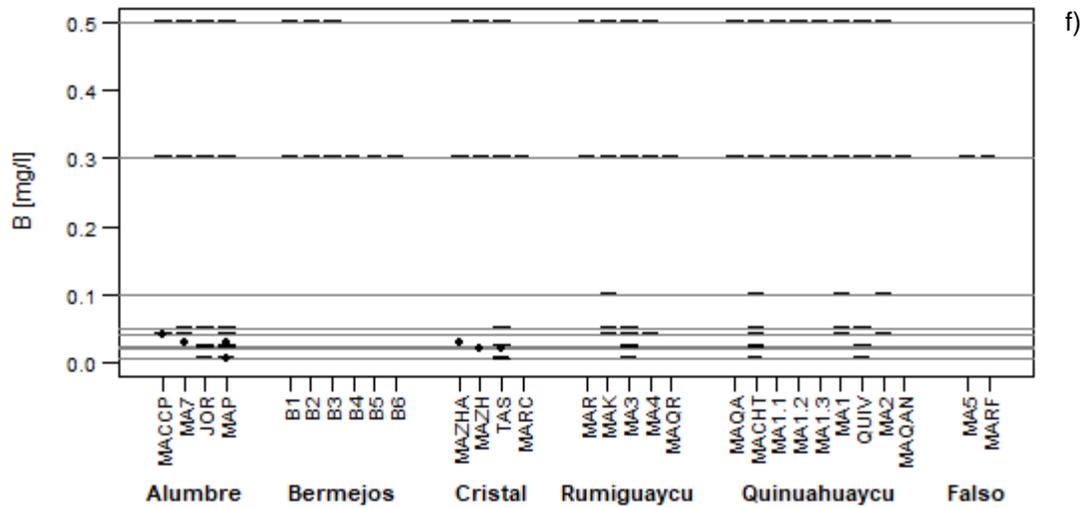
Las concentraciones medidas de estaño fueron la mayoría del tiempo menores a los LC (0,0025, 0,001, 0,0005, 1 y 0,00005 mg/L). A pesar de lo anterior, en algunos puntos sí se midieron concentraciones por encima de los LC mencionados; sin embargo, siempre bajo 0,0135 mg/L, bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (2 mg/L). Es importante mencionar que el estaño no tiene CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 1 y Tabla 3.

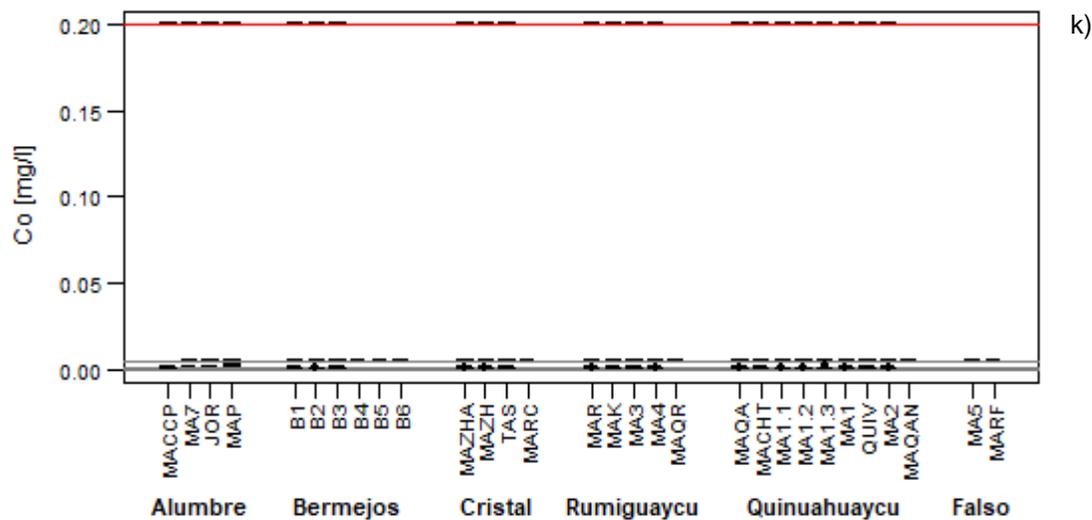
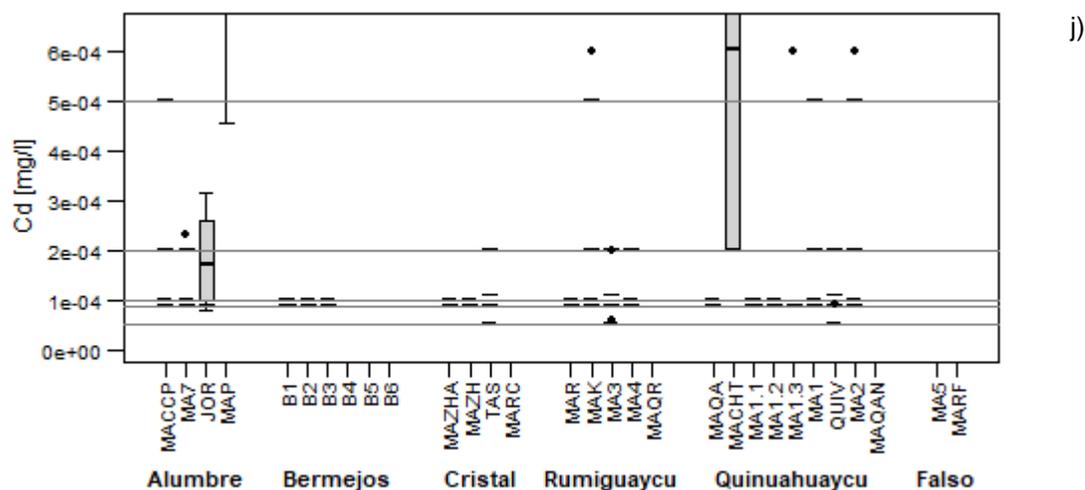
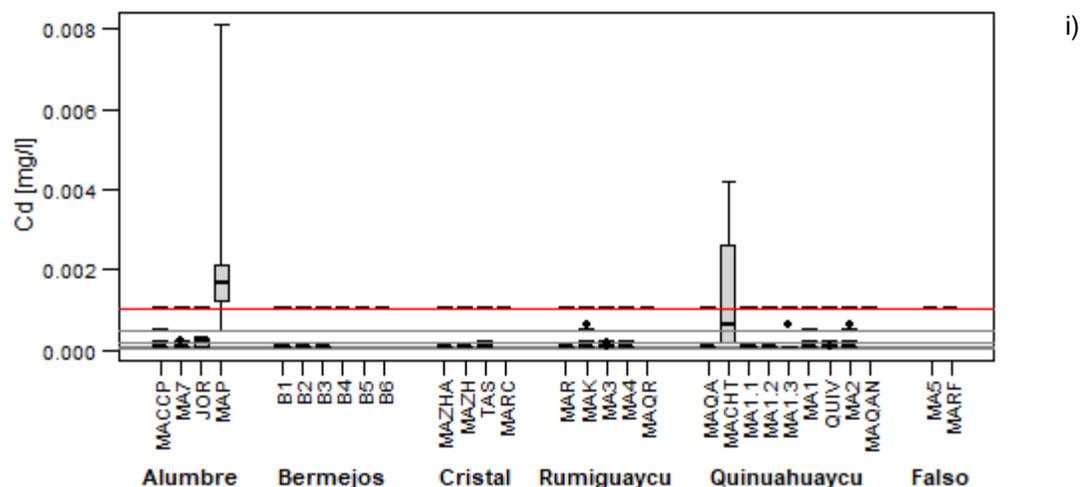
Las concentraciones de vanadio también estuvieron cerca de los LC, hasta 0,0075 mg/L, con un pico de concentración en MAP hasta 0,0189 mg/L; todas las concentraciones siempre menores al CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 3 (0,1 mg/L).

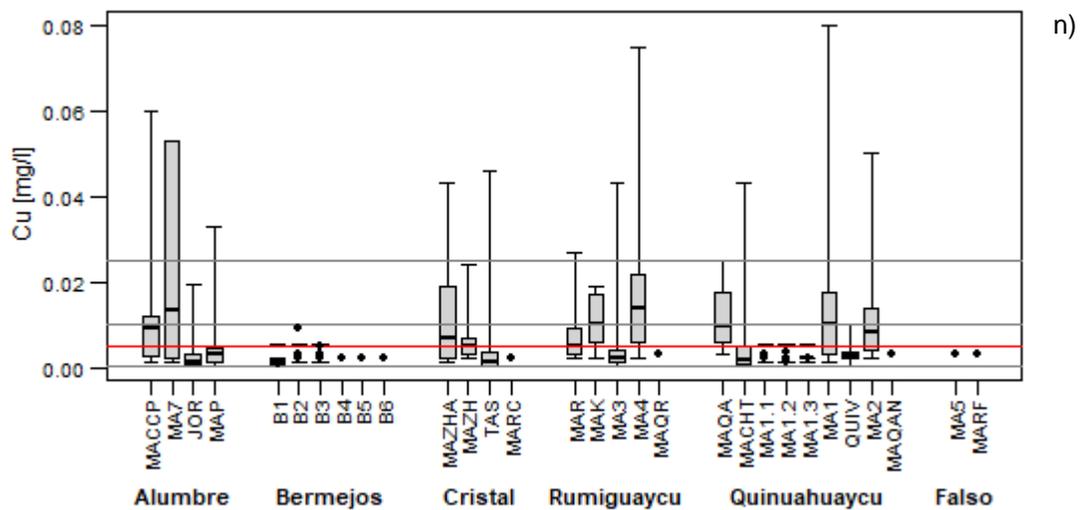
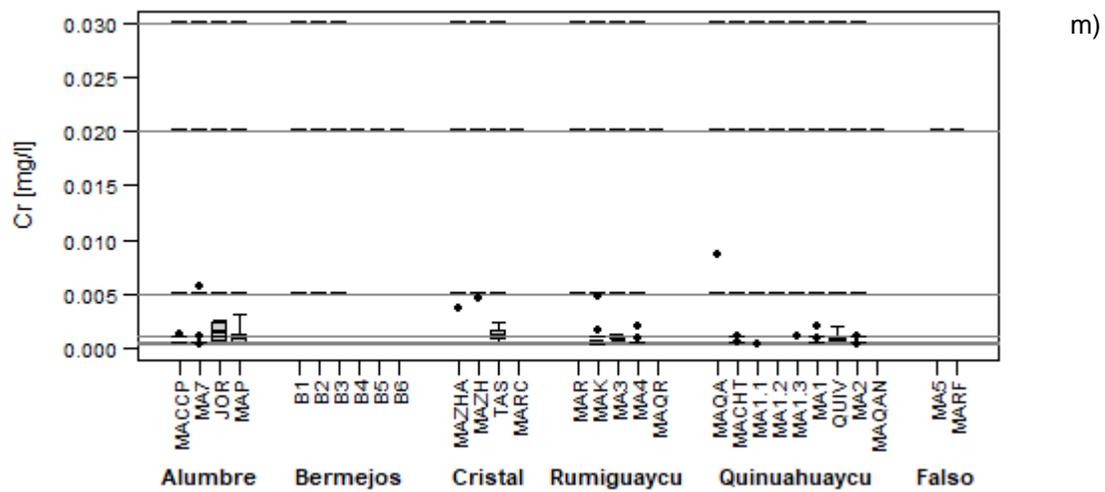
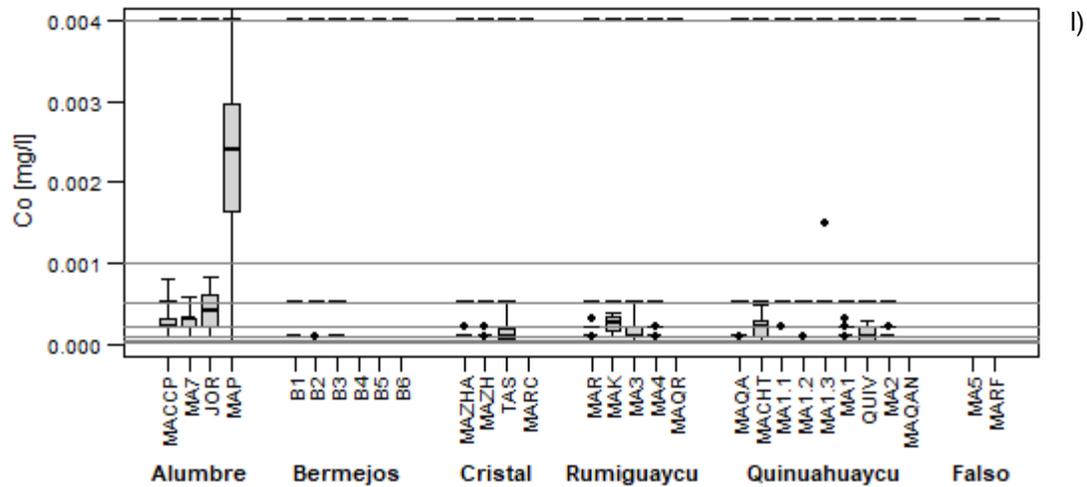
Las concentraciones de zinc medidas fueron similares en todas las cuencas, con los IQR entre 0,0001 y 0,043 mg/L, a excepción de MAP en Alumbre, con concentraciones que variaron entre 0,001 y 1,5 mg/L, entre la concentración mínima y máxima. En la mayoría de puntos de muestreo se sobrepasaron los CCA para zinc según A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,03 mg/L), a excepción de las concentraciones medidas en B4, B5, B6, MARC, MA5, MARF, midiéndose valores bajo el LC (0,01 mg/L). No se sobrepasó en ningún caso el CCA según la Tabla 3 (2 mg/L).

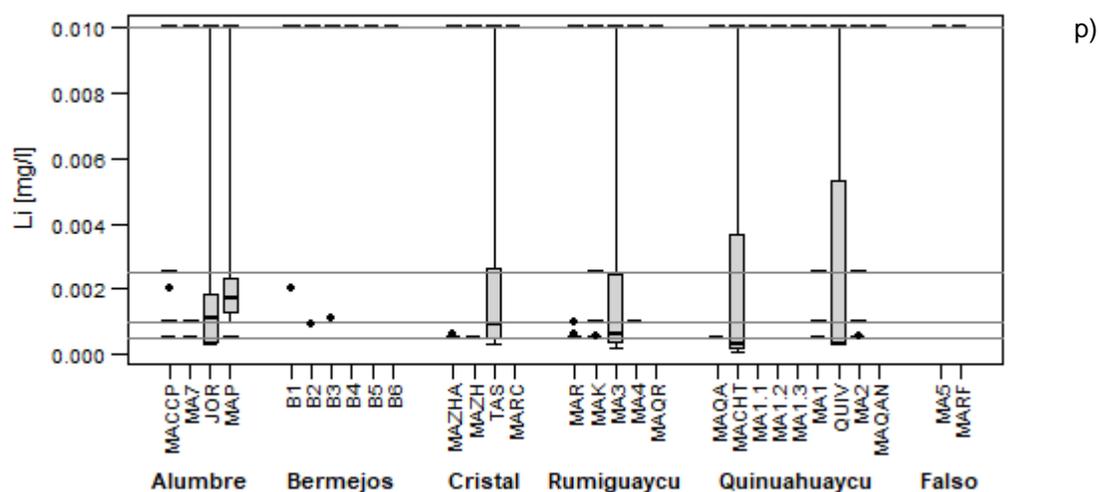
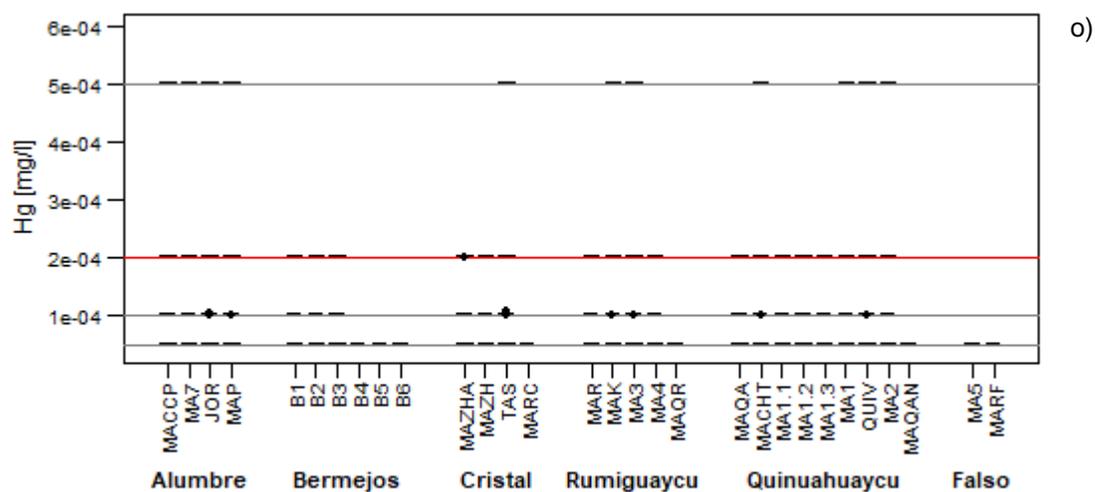
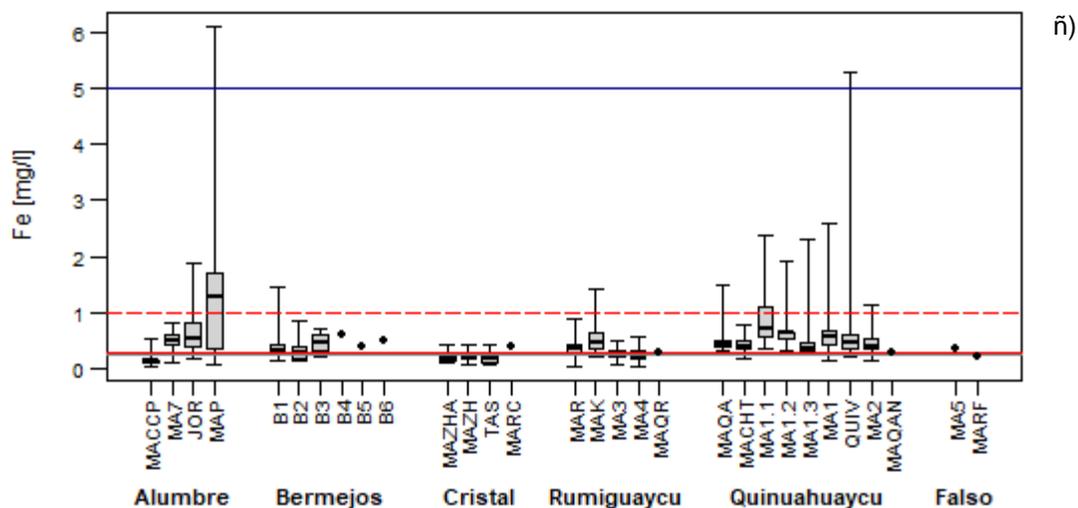


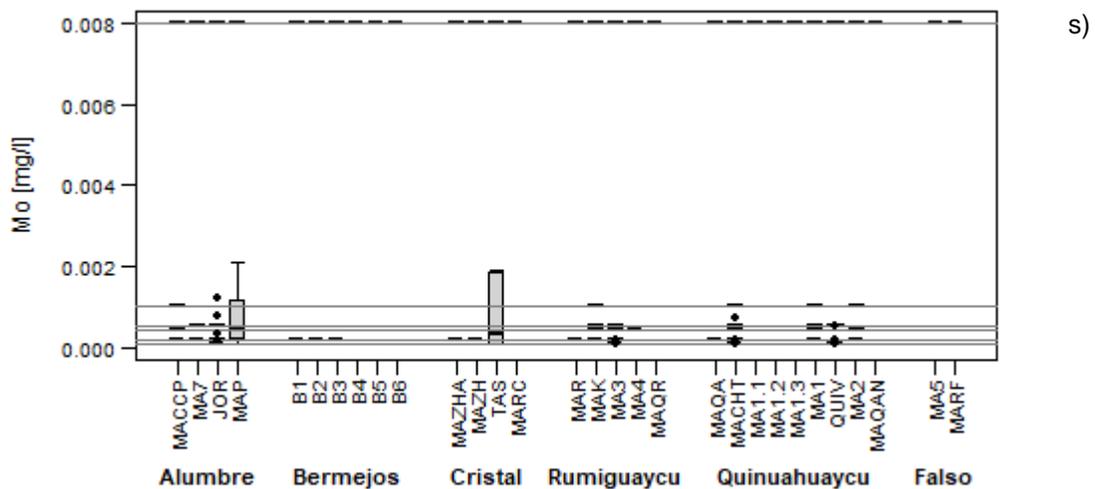
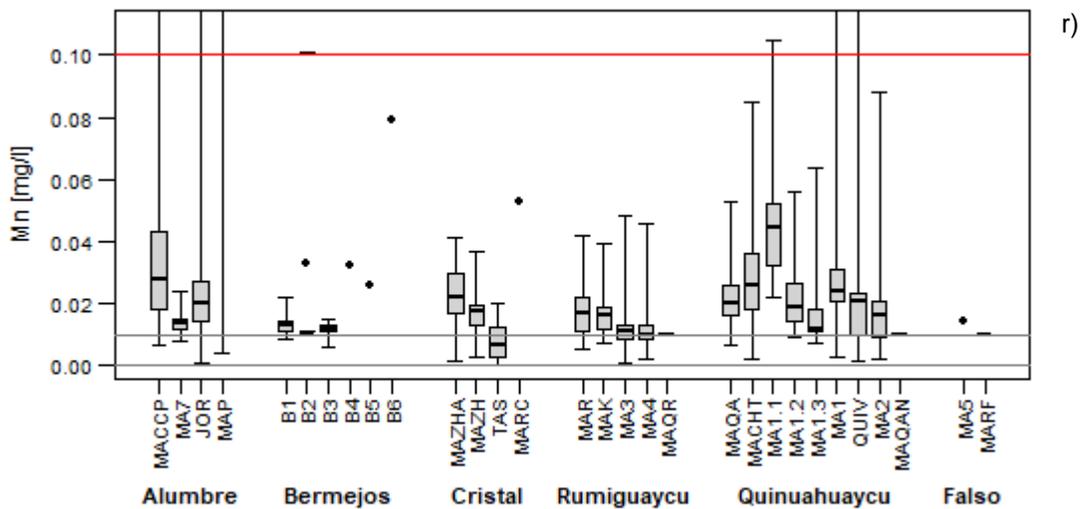
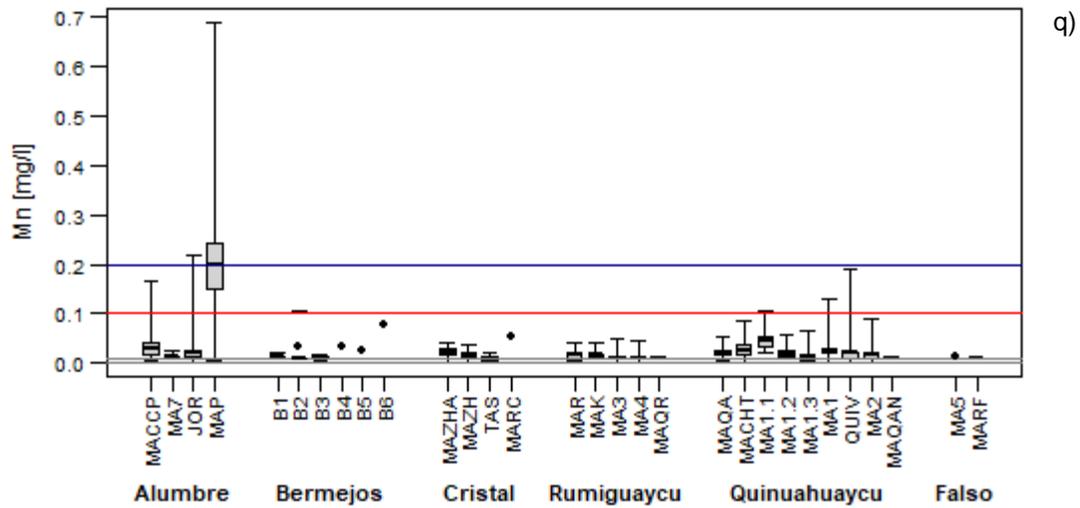


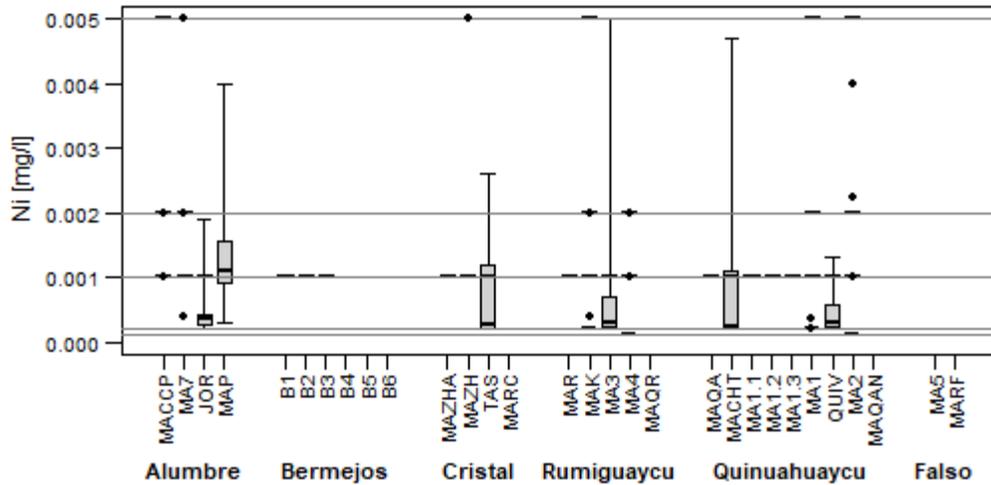




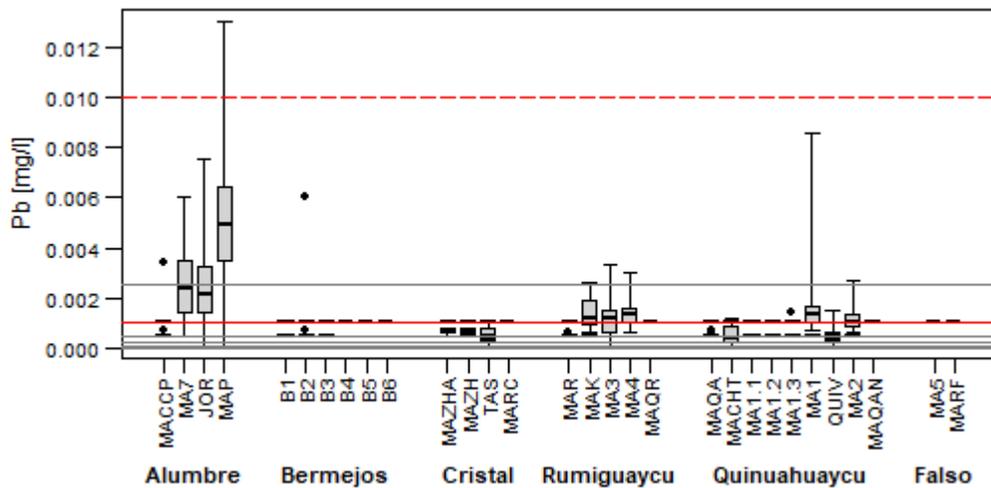




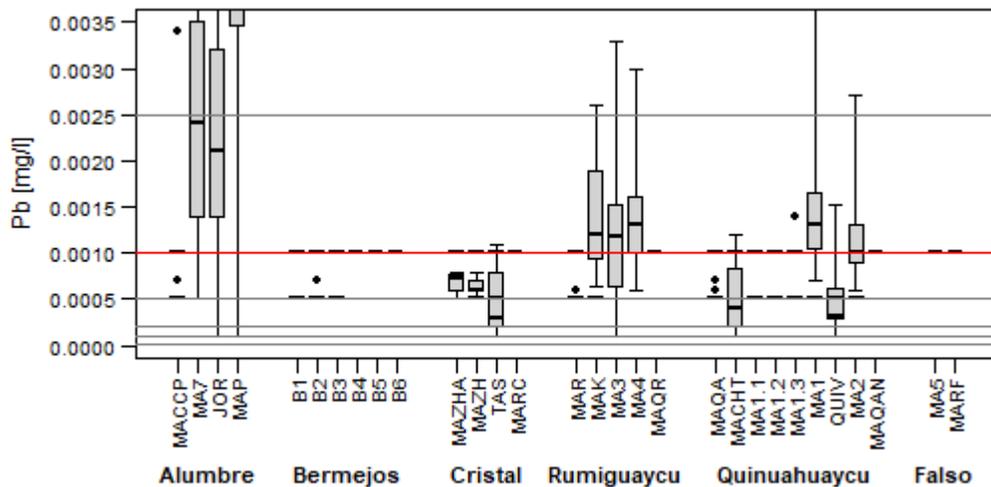




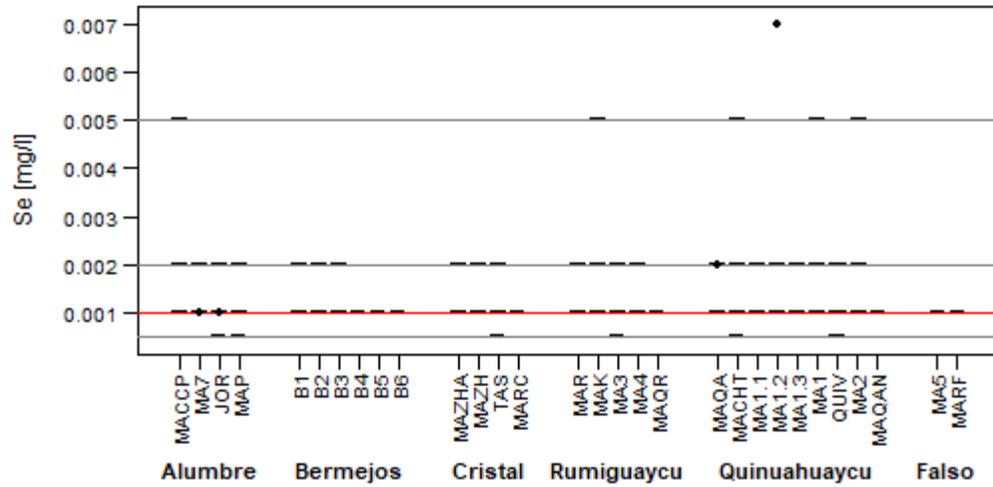
t)



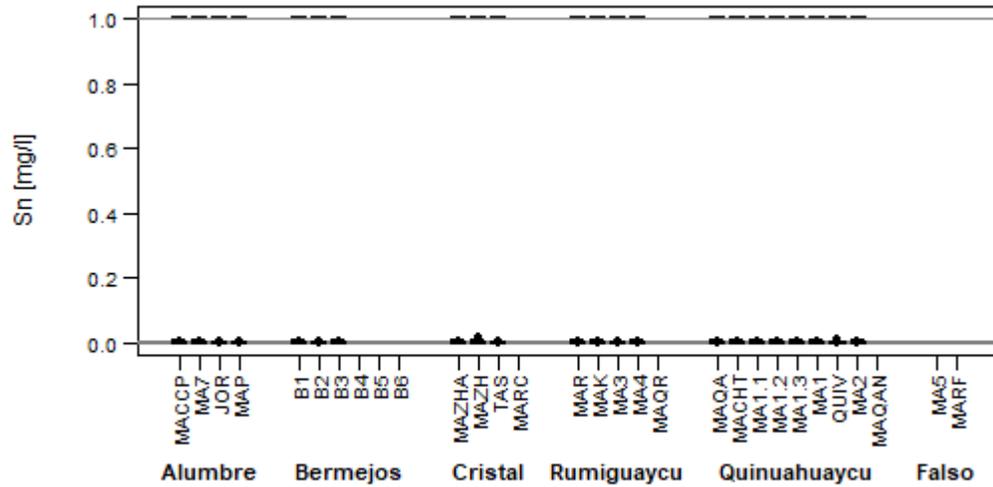
u)



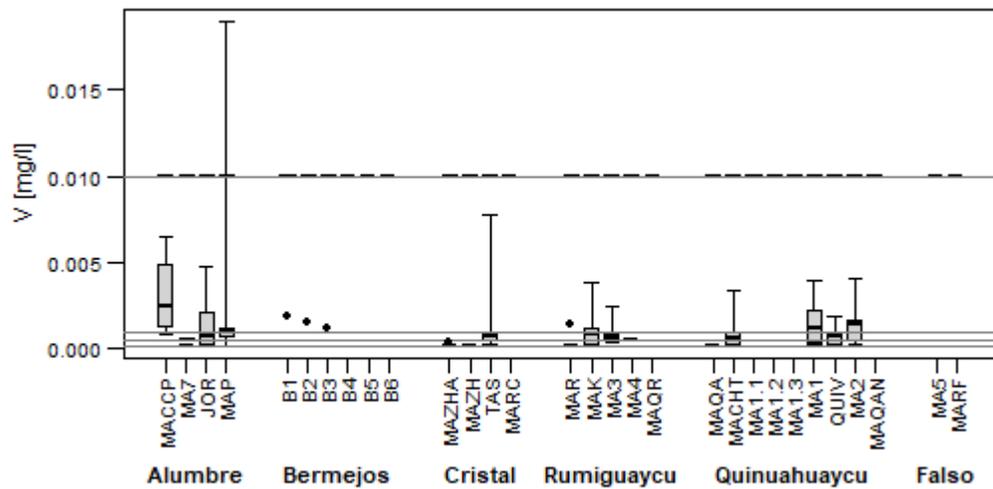
v)



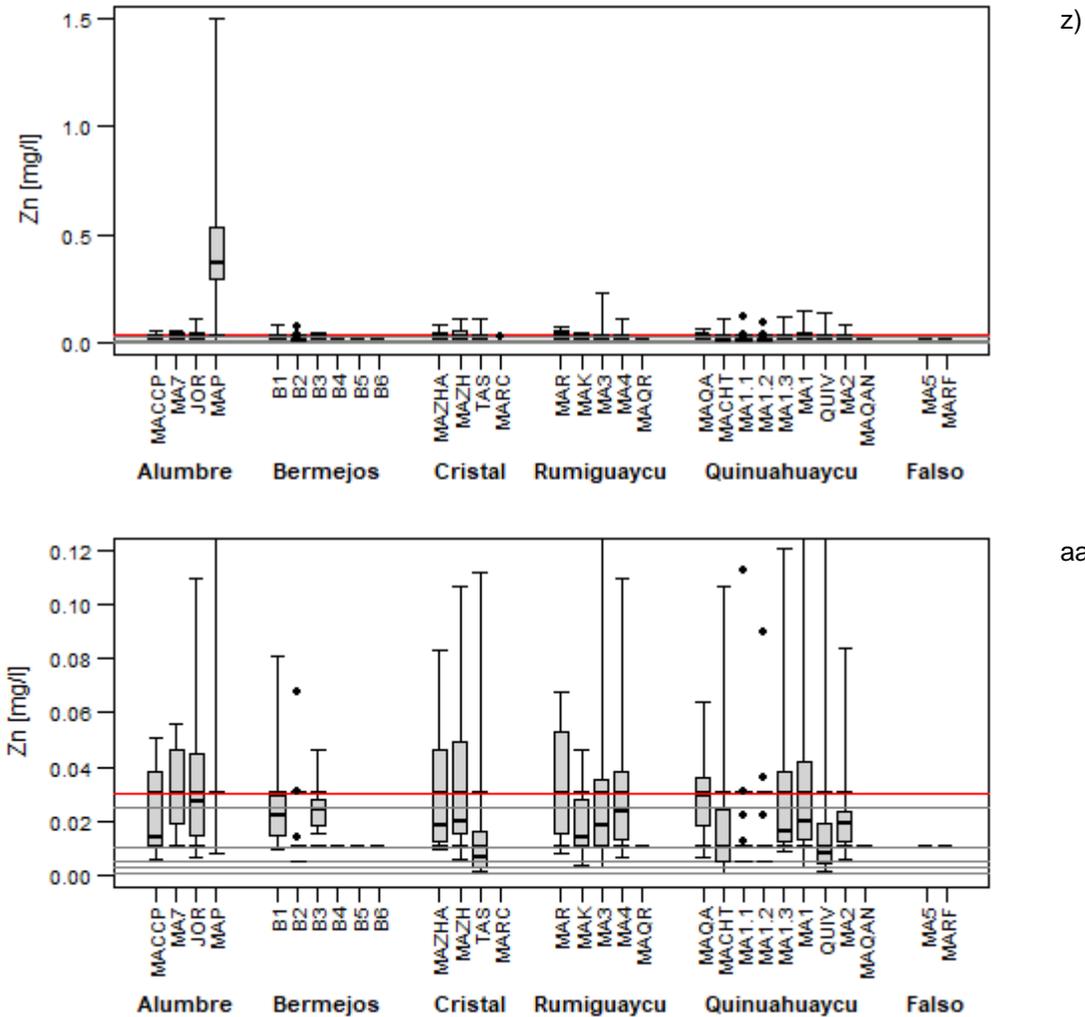
w)



x)



y)



**Figura 6-174 Diagramas de Caja de Parámetros Cationes**

Cada gráfico contiene todo el conjunto de puntos (en vertical) agrupados por cuenca (en horizontal).

\* Los parámetros de estas figuras son a) Ag-plata, b) Al-aluminio (0-2,5 mg/L), c) Al-aluminio (0-0,8 mg/L), d) As-arsénico (0-0,06 mg/L), e) As-arsénico (0-0,06 mg/L), f) B-boro, g) Ba-barrio, h) Be-berilio, i) Cd-cadmio (0-0,008 mg/L), j) Cd-cadmio (0-6 e-4 mg/L), k) Co – Cobalto (0-0,02 mg/l), l) Co – Cobalto (0-0,004 mg/l), m) Cr-Cromo, n) Cu – Cobre, ñ) Fe – Hierro, o) Hg – Mercurio, p) Li-litio, q) Mn-manganeso (0-0,7 mg/L), r) Mn-manganeso (0-0,10 mg/L), s) Mo-molibdeno, t) Ni-níquel, u) Pb-plomo (0-0,012 mg/L), v) Pb-plomo (0-0,0035 mg/L), w) Se-selenio, x) Sn-estaño, y) V-vanadio, z) Zn-zinc (0-1,5 mg/L) y aa) Zn-zinc (0-0,012 mg/L). Las líneas horizontales representan, en rojo punteadas, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 1; las líneas horizontales representan, en rojo continuas, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (en el aluminio existen dos líneas rojas debido a que se consideran dos límites 0,1 mg/L para muestras con pH mayor a 6,5 y 0,005 mg/L para muestras con pH menor a 6,5). Las líneas horizontales en azul, según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 3; y, las líneas horizontales en gris representan los límites de cuantificación. Las líneas cortas horizontales sobre los límites de cuantificación indican que todas las muestras estuvieron por debajo de este, y los puntos negros, concentraciones medidas por encima del límite de cuantificación al momento de la medición. Los elementos repetidos corresponden a ampliaciones del eje vertical con el fin de ampliar y visualizar los puntos de muestreo con concentraciones más bajas de mejor manera. Para los elementos que no se muestra el CCA este es mucho mayor a las concentraciones graficadas.

Fuente: INV Minerales, Reportes de laboratorio (Gruentec, ANAVANLAB y ALS), 2008-2021

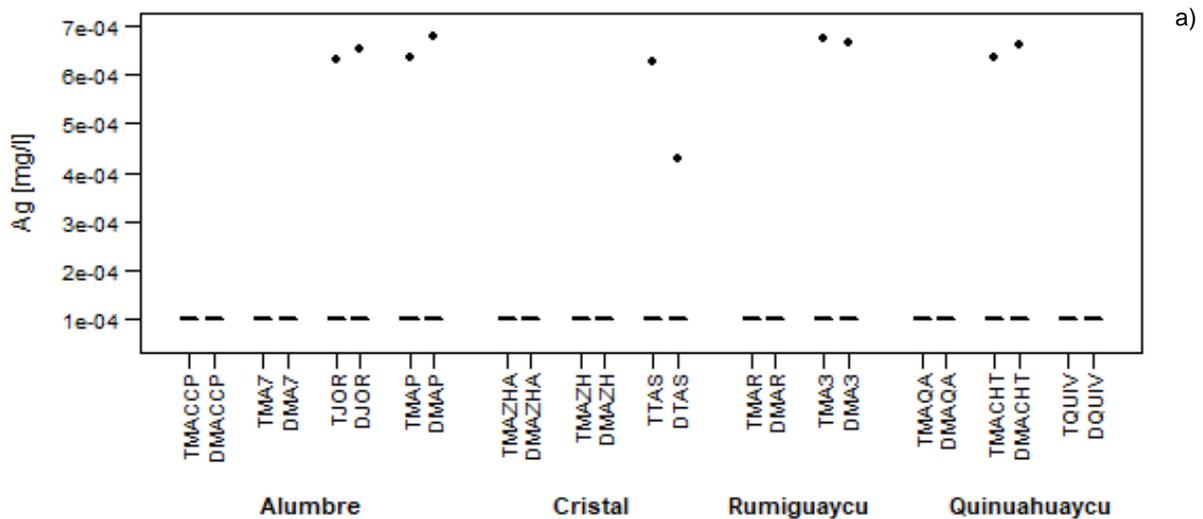
Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, marzo 2022

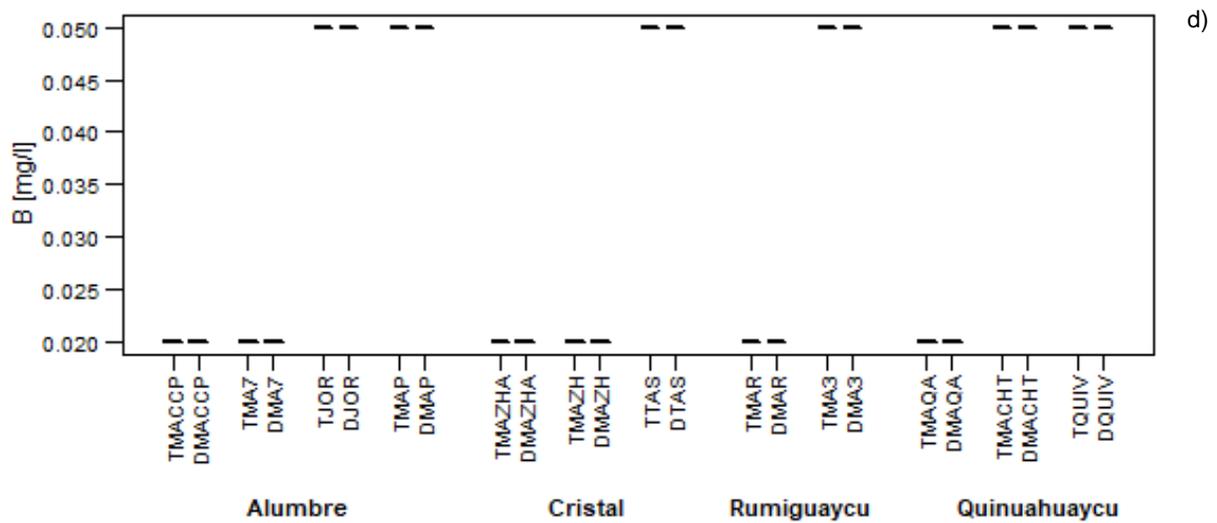
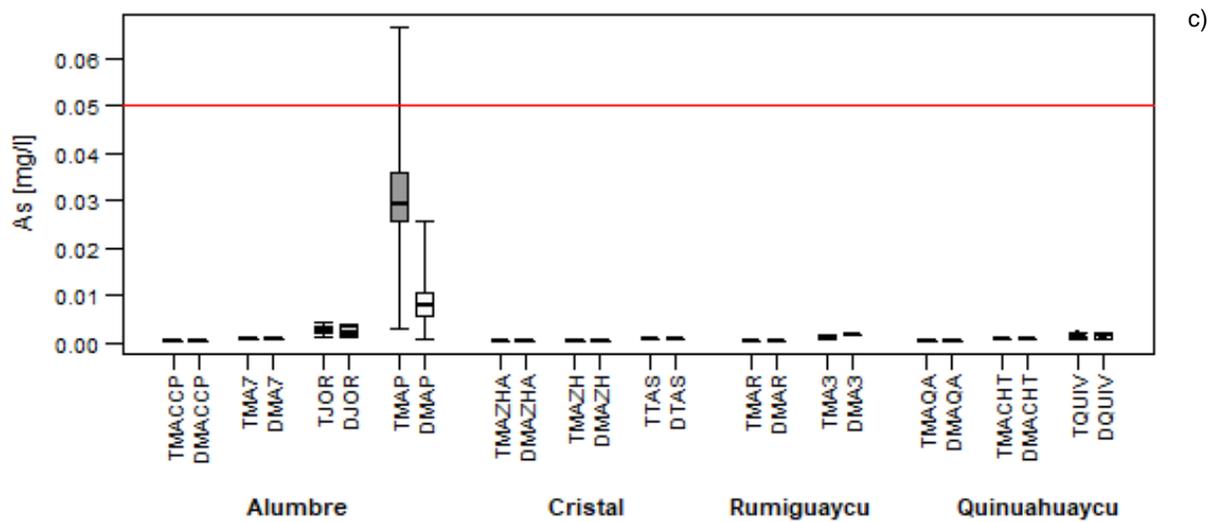
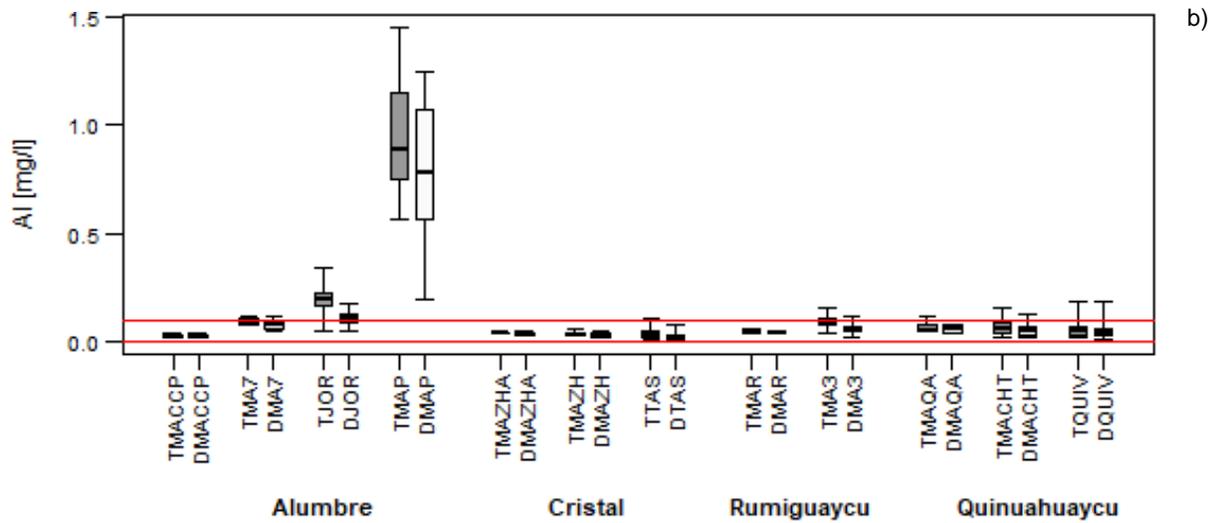
Una caracterización más detallada de las frecuencias de ocurrencia y las condiciones de caudal en la que se presentan las concentraciones de los cationes que están por encima del CCA se encuentran en el anexo I. Estudios Complementarios, I.5 “Estudio detallado de las concentraciones de metales pesados en los caudales de las microcuencas de influencia directa del proyecto Loma Larga”. En el mencionado estudio,

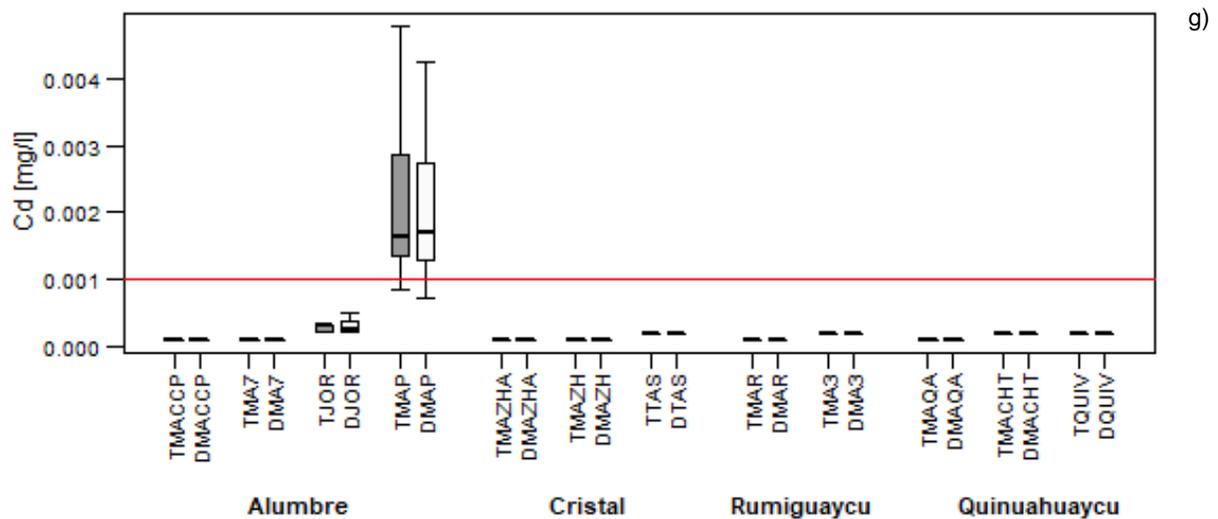
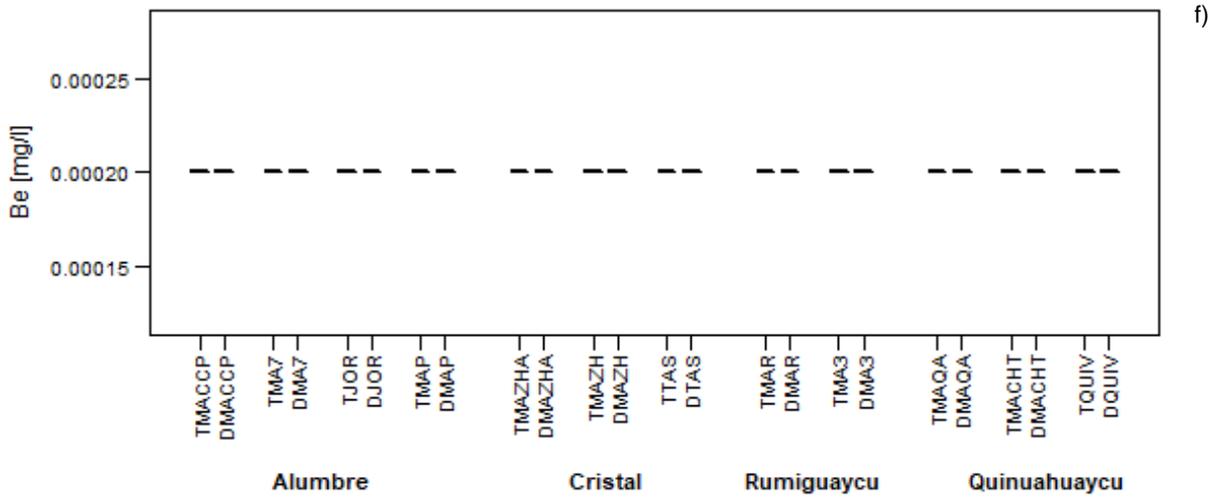
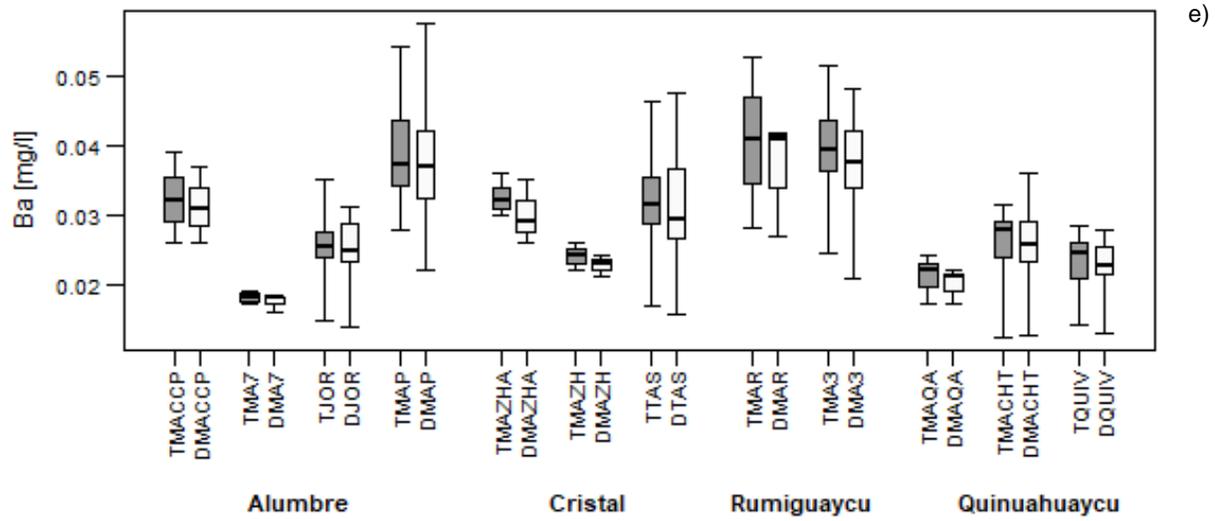
realizado en el 2019, se analizó la información de los monitoreos realizados por la empresa (que se incluyen en esta línea base) y la Universidad de Cuenca (información no incluida en la línea base). Cabe mencionar que los resultados del estudio del anexo son similares a los presentados en este estudio, por lo que las concentraciones por encima del CCA para algunos cationes ya fueron identificadas durante los muestreos de seguimiento del PMA de exploración y han sido analizados por la empresa en detalle.

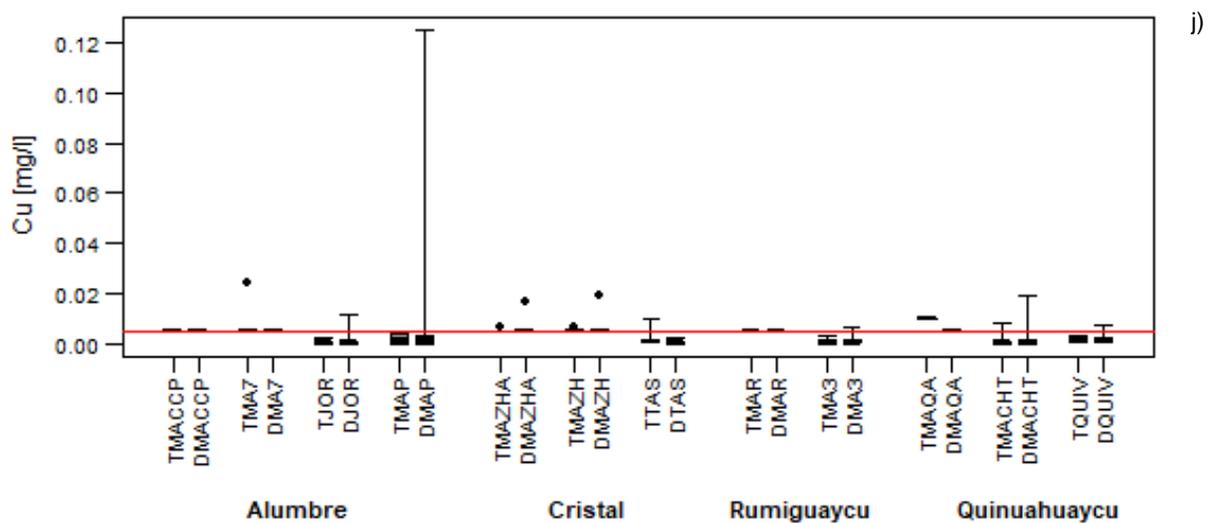
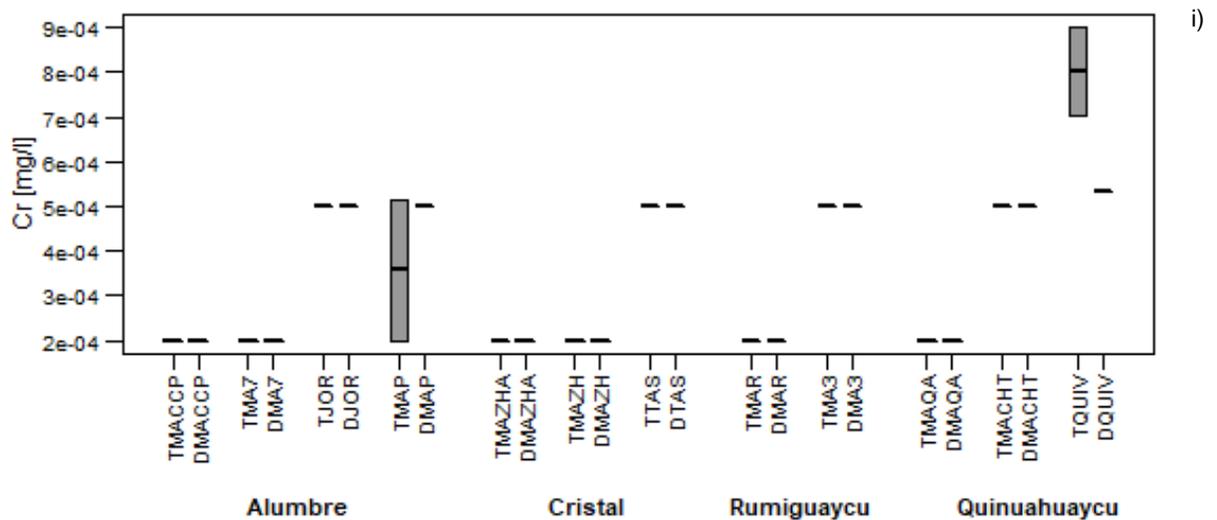
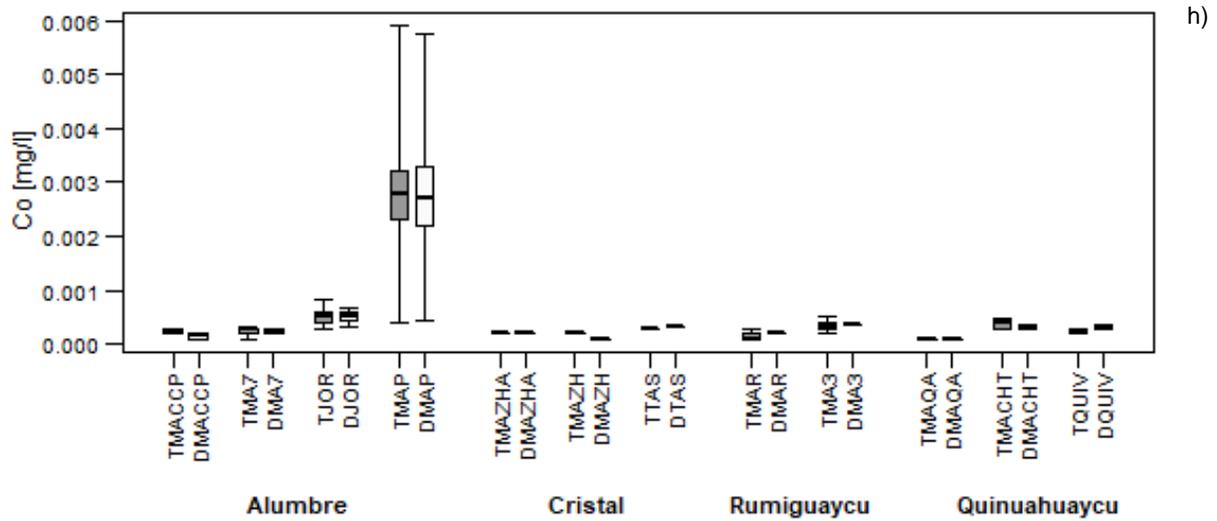
### Cationes Disueltos

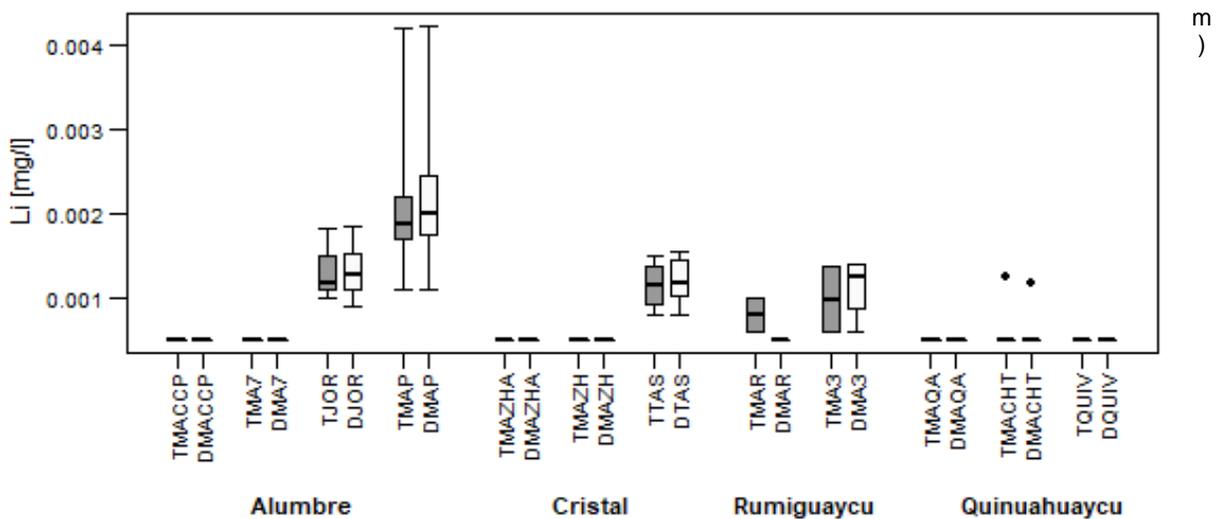
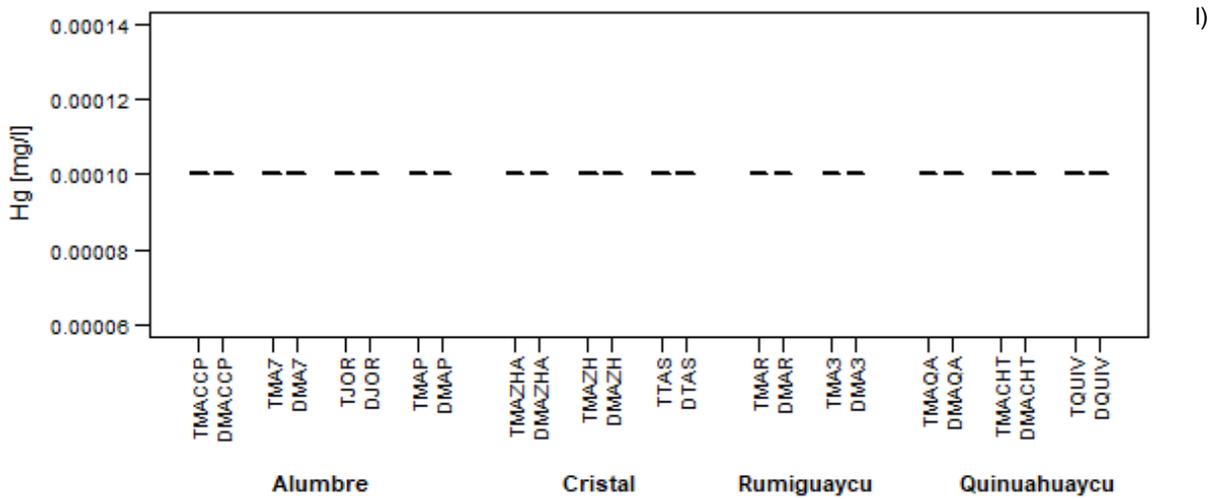
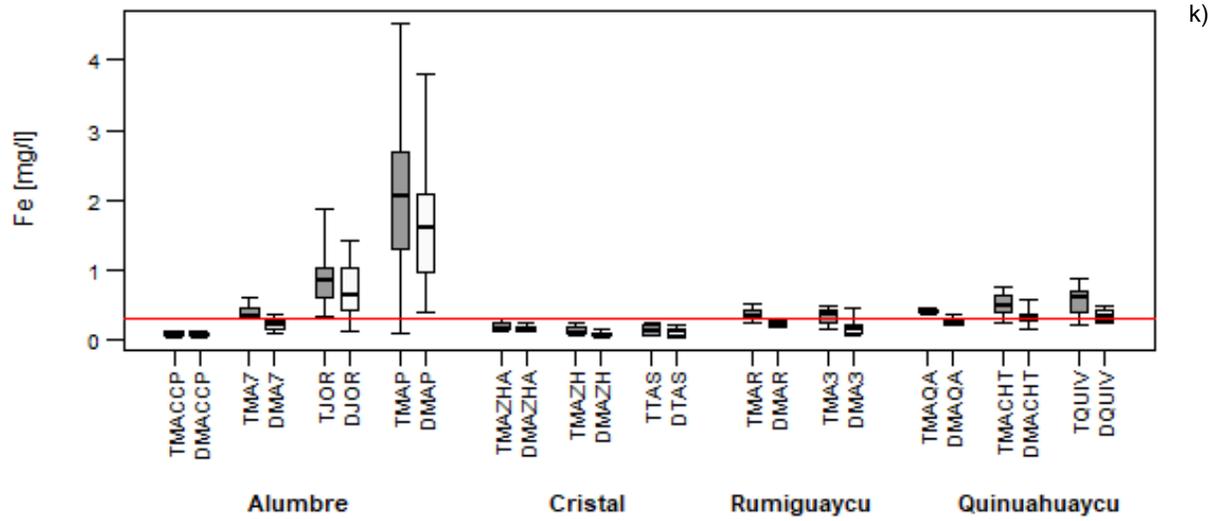
Luego de comparar las concentraciones de cationes disueltos y totales (Figura 6-175) se pudo determinar que no presentaron diferencias significativas (todas estas figuras fueron realizadas durante el período y en los muestreos en los que se realizaron análisis, tanto de metales disueltos como totales) y, por lo tanto, las concentraciones de disueltos y totales se pueden tomar como iguales. Esto se determina, ya que los rangos intercuartílicos (IQR) estuvieron superpuestos entre totales y disueltos, por lo que se puede tomar como válida para esta sección la descripción presentada en la sección anterior por tener mayor número de muestras tomadas (0 Cationes Totales). Esto se debe a que los ríos de la zona de intervención del PLL tienen muy poca presencia de sólidos suspendidos totales (Figura 6-171) y material flotante. Esto último hace que los cationes totales sean todos los cationes disueltos que existen en el agua de los ríos de la zona, lo cual concuerda con las mediciones de sólidos en suspensión producto de este estudio. Adicionalmente esto muestra que no es necesario una caracterización de la calidad de los sedimentos debido a su baja presencia. El único elemento a tener en consideración es el arsénico, en el cual sí se halló diferencias significativas entre cationes disueltos y totales en MAP, siendo los cationes disueltos menores y variando entre 0,0005 y 0,025 mg/L, a diferencia de los totales, que variaron entre 0,002 y 0,066 mg/L. Estas concentraciones para arsénico disuelto estuvieron bajo el CCA según el A.M. 097-A, Anexo 1, Tabla 2 (0,05 mg/L). Esto está relacionado también a que en este punto los sólidos en suspensión totales fueron mayores a todos los demás puntos, llegando a 60 mg/L, a diferencia de los demás puntos en los cuales las concentraciones variaron entre 5 y 20 mg/L con un máximo de 35 mg/L en QUIV. MAP, como se explicó antes, está en otro ecosistema (bosque montano), presenta pendientes mayores y tiene rocas expuestas producto de un deslizamiento aguas arriba.

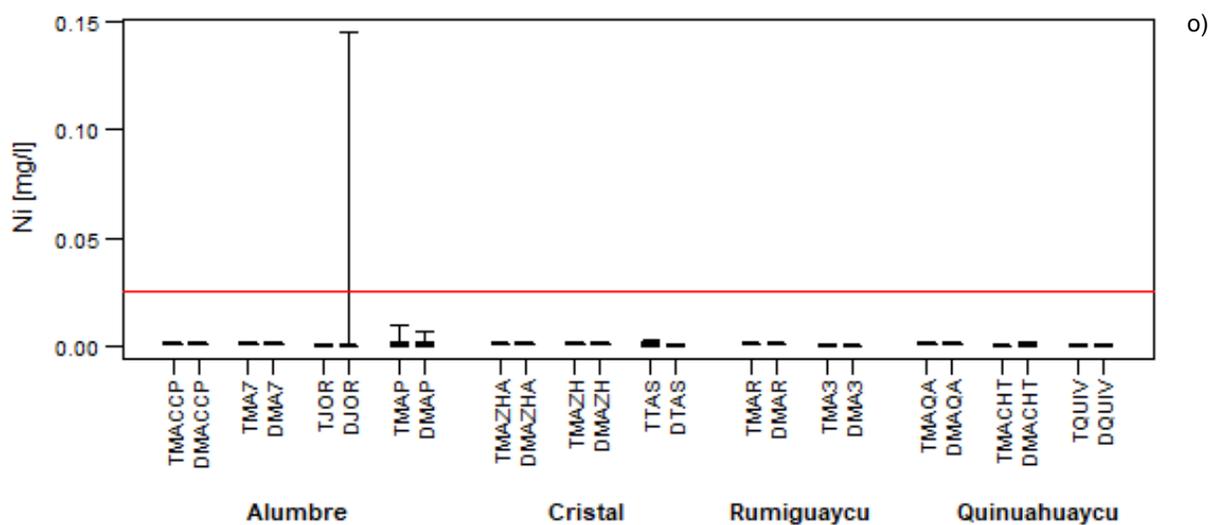
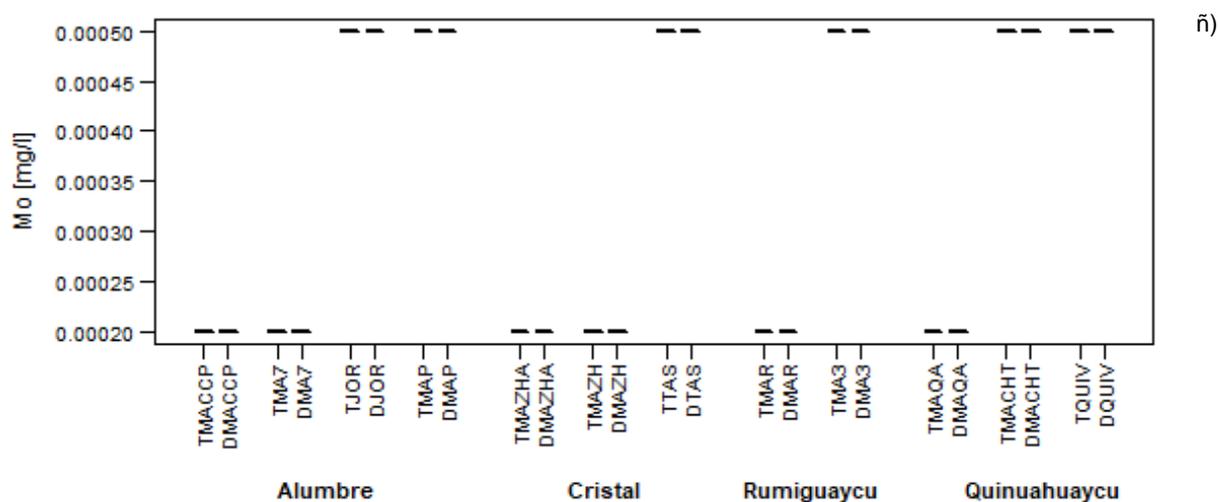
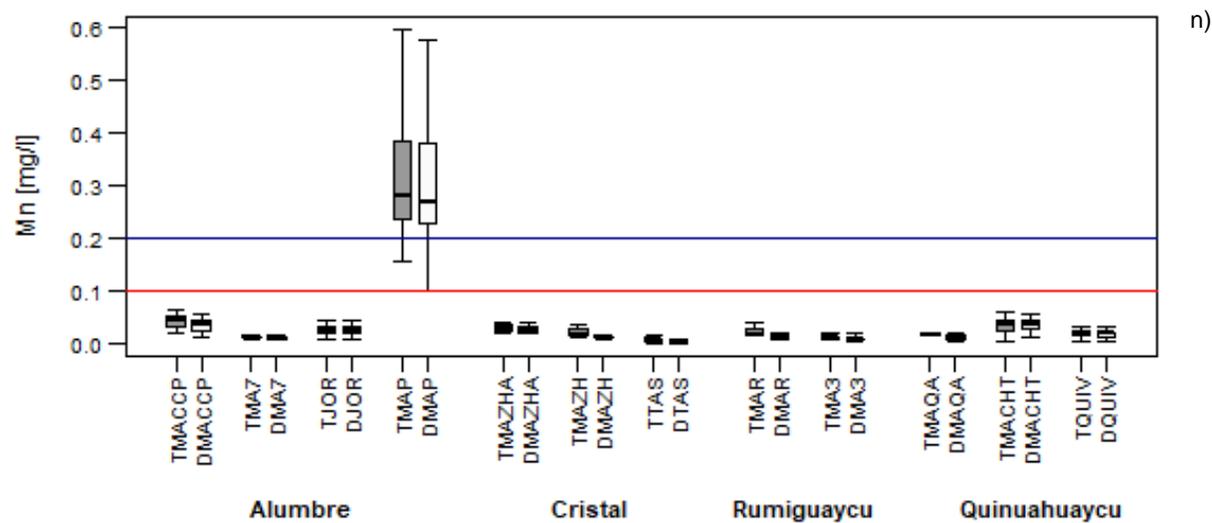


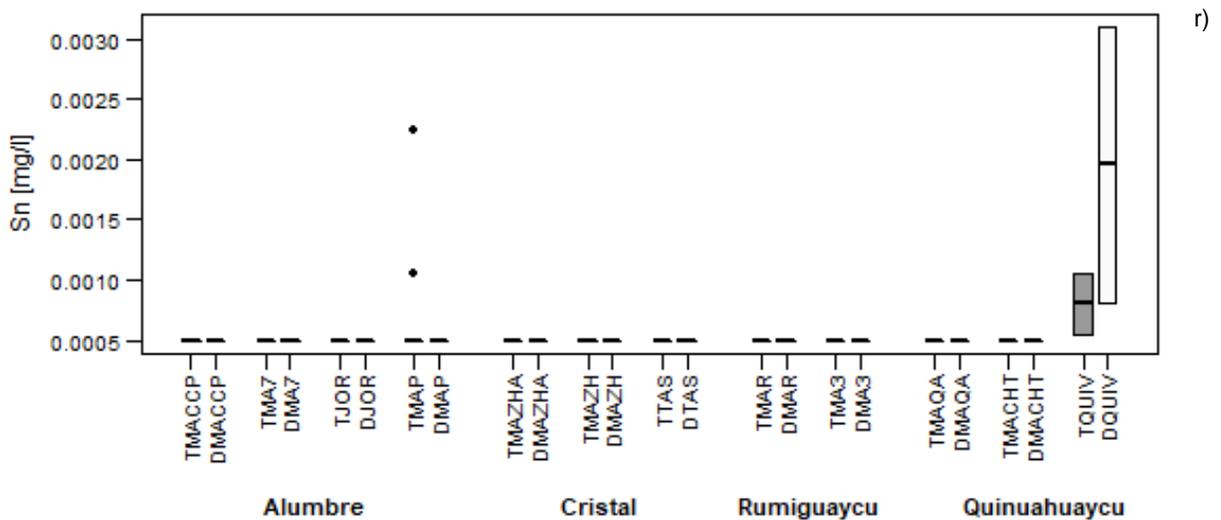
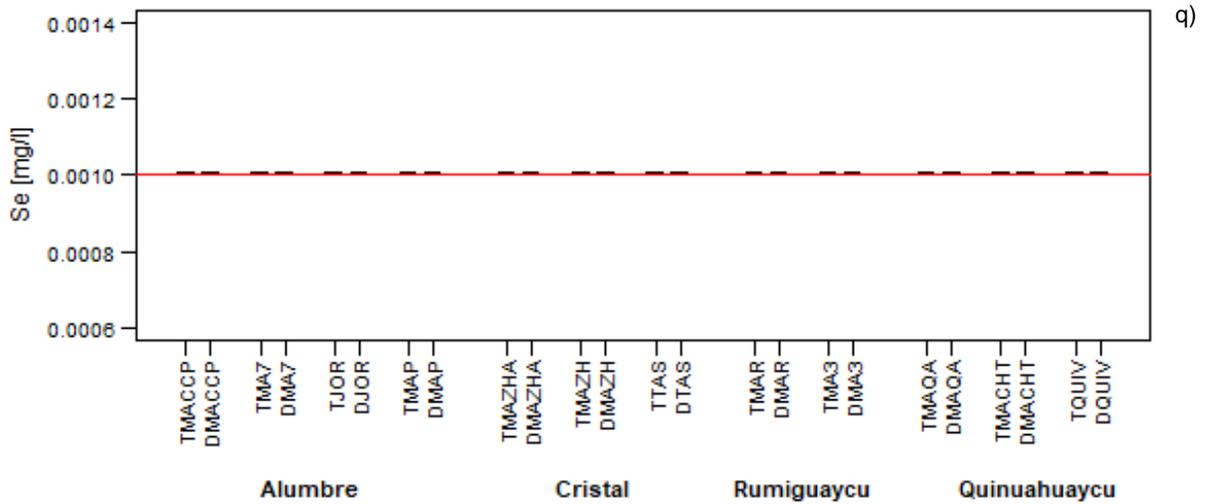
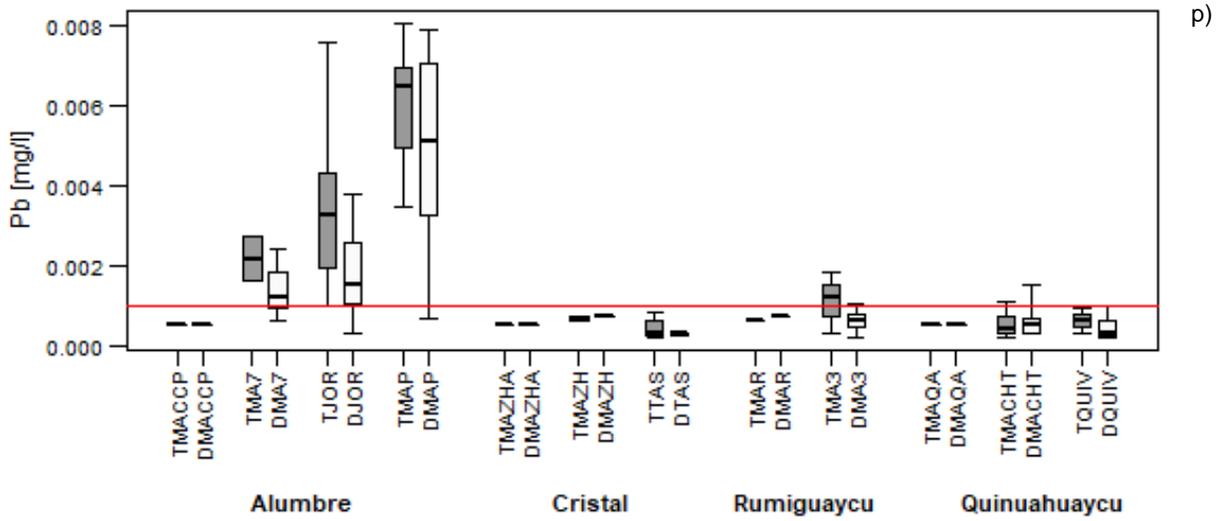


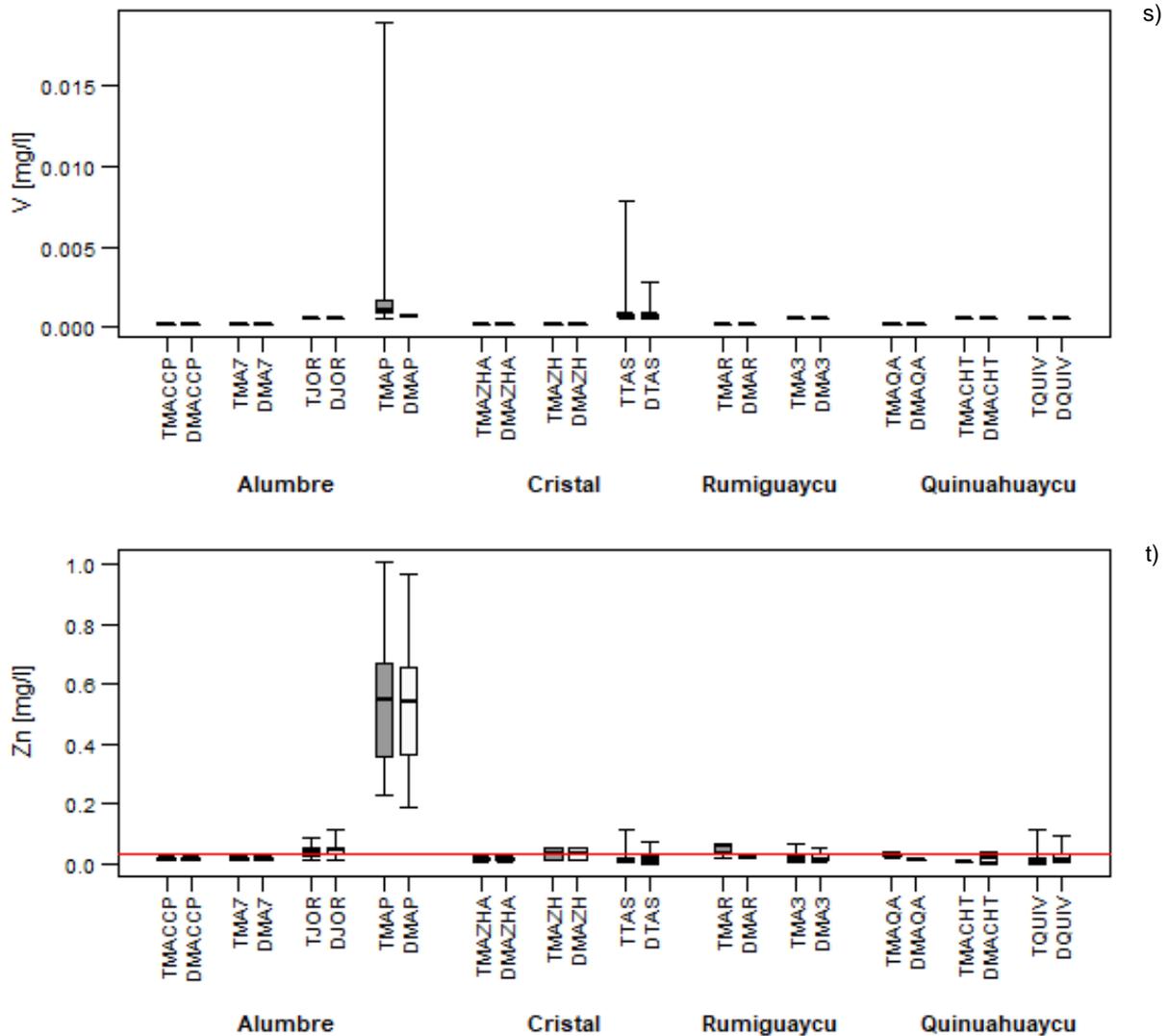












**Figura 6-175 Diagramas de Caja de Parámetros Cationes**

Cada gráfico contiene todo el conjunto de puntos (en vertical) agrupados por cuenca (en horizontal).

\* Los parámetros de estas figuras son a) Ag-plata, b) Al-aluminio, c) As-arsénico, d) B-boro, e) Ba-barío, f) Be-berilio, g) Cd-cadmio, h) Co-cobalto, i) Cr-cromo, j) Cu-cobre, k) Fe-hierro, l) Hg-mercurio, m) Li-litio, n) Mn-manganeso, ñ) Mo-molibdeno, o) Ni-níquel, p) Pb-plomo, q) Se-selenio, r) Sn-estaño, s) V-vanadio y t) Zn-zinc. Las líneas horizontales representan, en rojo, los límites según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, Tabla 2. Las líneas horizontales en azul, según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 3. Las líneas horizontales en gris representan los límites de cuantificación. Las líneas cortas horizontales sobre los límites de cuantificación muestran que todas las muestras estuvieron por debajo de este, y los puntos negros, concentraciones medidas por encima del límite de cuantificación al momento de la medición. Para los elementos que no se muestra el CCA, este es mucho mayor a las concentraciones graficadas. La letra T antes del código de la muestra significa cationes totales, mientras que la letra D antes del código, disueltos.

Fuente: Fuente: Gruentec, Reportes de laboratorio, 2008-2020

Elaboración: Juan Pesántez, Verónica Guamán, julio 2020

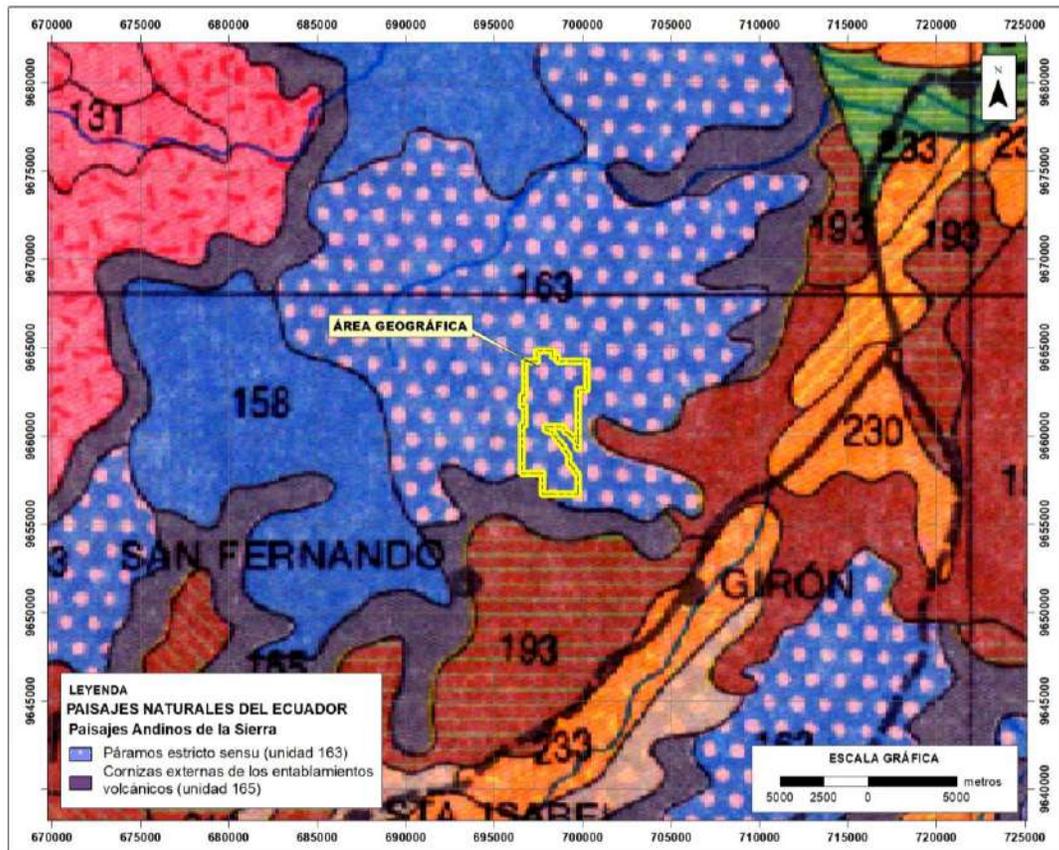
## Conclusiones

Luego del análisis de cada uno de los puntos identificados como importantes para analizar, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- > En la zona de estudio se han realizado monitoreos en un período de 13 años (Tabla 6-108); por lo que se cumple con lo especificado en las recomendaciones del Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador en base a la “Guía para elaboración de estudios de impacto ambiental (EIA) sector minero”.
- > Luego del análisis de las curvas de no excedencia de caudales asociadas a las condiciones a las que se tomaron las muestras, se confirma que, además de cumplir con el tiempo sugerido del monitoreo, se ha cumplido con la toma de muestras en todas las condiciones de caudal en todos los puntos y en análisis mensuales el año 2021.
- > El análisis espacial indica que la mayoría de los puntos muestran condiciones similares para todos los parámetros. Esto, a excepción de MAP y JOR, en la unidad hidrográfica de Alumbre, donde el pH fue significativamente menor; además, los sulfatos, la conductividad eléctrica y la mayoría de los cationes fueron mayores, a excepción de: Se, Sn, Hg, Be, B y Ag en los cationes donde no hubo diferencias significativas con el resto de puntos; estos parámetros estaban en o por debajo del límite de detección.
- > Se pudo encontrar, mediante el análisis, que varios parámetros presentaron concentraciones observadas fuera de los rangos normados en los CCA según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1. Los parámetros: pH, oxígeno disuelto, turbiedad, coliformes fecales, DBO, DQO, hidrocarburos totales de petróleo, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Se y Zn presentan concentraciones fuera de los límites de los CCA de las Tablas 1, 2, 2a y 3 del A.M. 097-A, Anexo 1. Mientras tanto, los parámetros: materia flotante, amoníaco, cianuro total, cloro residual, nitratos, nitritos, sulfatos, fluoruro, flúor, fenoles monohídricos, aceites y grasas, tensoactivos, Ag, B, Ba, Be, Co, Cr, Hg, Li, Mo, Ni, Se, Sn y V estuvieron dentro de los límites de CCA en todos los puntos de muestreo.
- > Al analizar cationes disueltos y totales, se pudo observar que para cada punto y cada parámetro las concentraciones fueron similares en todos los casos. Esto es debido a la relativamente baja presencia de sedimentos en suspensión en todos los puntos (ver Análisis de Datos Parámetros Físicos y Figura 6-171). La baja presencia de sedimentos se atribuye a la baja erosión de suelos en la zona de estudio. Solamente el arsénico presentó concentraciones menores de cationes disueltos con respecto a aquellas de cationes totales en el punto MAP. Concentraciones mayores de arsénico en el punto MAP son debido a que, aunque la presencia de sedimentos es baja en todos los puntos, en el punto MAP en particular es más alta que en los demás.
- > Las concentraciones observadas de la cuenca de Zhuruca y dentro de la cuenca Cristal mostraron un comportamiento similar a aquellas encontradas en las otras cuencas estudiadas. Es por lo anterior y en vista de que esta no será alterada por las actividades del PLL, que podrían servir como testigo para futuras comparaciones con las otras cuencas dentro de posteriores programas de monitoreo que se incluyen dentro del Plan de Manejo Ambiental.

#### **6.1.1.14 Paisaje**

Conceptualmente, se define al paisaje como “una parte del espacio sobre la superficie terrestre, que comprende un estudio de las relaciones de los ecosistemas presentes y constituye una entidad reconocible”.



**Figura 6-176 Categorización del Paisaje del PLL**

Fuente: (Winckell, Zebrowski, & Sourdat, 1977)

Elaboración: Entrix, abril 2022 (ver Anexo B. Cartografía; mapa 6.1-17 Paisajes).

Conforme a la información presentada en la Figura 6-176, el PLL se localiza en dos tipos de paisaje, Páramos estricto sensu (Unidad 163) y Comizas externas de los entablamientos volcánicos (Unidad 165).

### **Páramos Estricto Sensu (Unidad 163)**

Tienen una repartición idéntica a la de los modelados glaciares, en la cima de las dos cordilleras andinas, rodeándolos hacia abajo con una franja discontinua (como al geste de Guarnote), u ocupando los ensillamientos a altitud más baja entre dos zonas glaciares (entre Sigsig y Saraguro, por ejemplo).

Su extensión se relaciona directamente con la superficie de las zonas glaciares. En numerosos lugares, estas últimas descienden en efecto hasta el borde de los relieves interandinos, siguiendo los parámetros locales de alimentación de los glaciares que les modelaron.

Reagrupa todos los páramos que se extienden desde el sur de Cuenca hasta el Perú, los cuales se encuentran desprovistos de cobertura piroclástica, los modelos guardaron sus características originales heredadas de diferenciaciones en la litología, la estructura o la tectónica: diques o picos volcánicos en relieve al sur y al sureste de Cuenca, valoración por erosión diferencial de los bancos de cuarzitas más duras formando alineamientos en la superficie de los páramos occidentales. Sobre todas esas zonas existen alteraciones desarrolladas sobre rocas del sustrato. La mayoría son de tipo ferralítico humífero.

Pero, mientras los verdaderos suelos ferralíticos amarillo/rojo se sitúan en los niveles menos elevados, los niveles superiores más o menos troncados presentan suelos rejuvenecidos e incluso poco evolucionados.

### **Comizas Externas de los Entablamientos Volcánicos (Unidad 165)**

Es el paisaje más elevado del medio interandino que ocupa un estrato homogéneo de altitud que inicia cerca de 2800-3000 m para elevarse hasta las tierras frías altas hacia 3200-3400 m. Muestra el mismo descenso hacia el sur que las zonas frías: entre 3000 y 3400 al geste del Chimborazo, 2800-3200 hacia Cañar o Cuenca.

Su modelado es también relativamente constante. Es un verdadero abrupto bastante imponente, con perfil rectilíneo y pendiente pronunciada superior al 70-100 %, cuyo desnivel relativo avicina los 400 m y constituye un elemento resaltante de los paisajes alrededor de las cuencas de Cuenca, Santa Isabel y Nabón-Saraguro. Formas similares también están presentes sobre la terminación occidental de las altas tierras andinas, entre Simiatug y la garganta del valle de Huigra, o entre Cañar y el valle del río Jubones, en donde un abrupto continuo corona los relieves disectados de la vertiente andina occidental.

#### **6.1.1.14.1 Metodología**

La evaluación del paisaje no solo comprende la interacción de los elementos naturales, sino su relación con los elementos antrópicos. El paisaje es un elemento dinámico, permanece en continua evolución y transformación, aunque esta no sea perceptible. Su característica dinámica depende de procesos naturales del medio biótico y abiótico y procesos antrópicos, considerando al hombre como un componente elemental de la naturaleza. A pesar de esta influencia, las dinámicas a largo plazo tienden a restaurar el equilibrio causado por cambios bruscos y llevar el conjunto a fases más estables (C. Troll, 1971).

El propósito de este análisis es lograr una recopilación de todos los componentes físicos, biológicos y culturales en el área geográfica. Estos componentes incluyen: geología, geomorfología, suelos, hidrología, vegetación, fauna y arqueología.

La metodología utilizada es la de Canter (*Environmental Impact Assessment*, 1996, Capítulo 13, Predicción y estudios de impactos visuales), que se basa en información colectada en campo, a la cual se le da una valoración de 3 = alta, 2 = media, 1 = baja o 0 = ninguna.

#### **6.1.1.14.2 Categorías**

##### **Estado Natural**

Esta es una medida que evalúa la cercanía de cada componente al estado natural sin cambios antropogénicos. Cualitativamente, una calificación Alta implica que no existen cambios antrópicos significativos; Media, que hay evidencia de algunos cambios significativos; y, Baja que el componente ha sido visiblemente alterado.

##### **Escasez**

Esta es una medida que evalúa la rareza de un componente estético dentro del contexto del ambiente donde ocurra. Alta significa que el componente estético no es común en la región. Media significa que el componente estético está presente y no es raro. Baja significa que el componente estético es común.

##### **Estética**

Es una medida que evalúa la apreciación y las consideraciones sobre la calidad sensorial del componente (sentidos), especialmente la capacidad de agrado hacia el observador. Es importante decir que la cuantificación de esta variable es subjetiva, ya que dependerá del criterio y conocimiento que tenga el observador sobre el área analizada. Un valor Alto significa que el valor visual es considerado muy atractivo. Medio, significa que el valor visual es considerado atractivo. Bajo, significa que el valor visual no tiene una significancia especial para el observador.

## Importancia para la Conservación

Es una medida que evalúa la importancia para la conservación de la zona, incluyendo su relevancia turística, histórica, arqueológica, ecológica o de interés arquitectónico. Una calificación cuantitativa Alta significa que es un área muy importante para la conservación (como parques nacionales, reservas, bosques protectores). Media, significa que es un área importante para la conservación (como pantanos y bosques maduros). Baja, significa que son áreas intervenidas.

### 6.1.1.14.3 Análisis

Un resumen de la valoración de las características del paisaje se presenta en la siguiente Tabla 6-116, que muestra un valor promedio de la valoración considerada por cada especialista (Anexo C. Respaldos Línea Base; C.1 Componente Físico; C.1.14 Matriz Valoración de Paisaje Natural).

**Tabla 6-116 Valoración del Paisaje Natural**

Factores	Componentes					Resumen de Componentes
	Geología y Geomorfología	Hidrología	Flora	Fauna	Arqueología	
Estado natural	2,00	3,00	3,00	3,00	0	2,20
Escasez	2,00	3,00	3,00	3,00	0	2,20
Estética	3,00	3,00	3,00	3,00	0	2,40
Importancia para la conservación	3,00	3,00	3,00	3,00	1	2,60
General	2,50	3,00	3,00	3,00	0,25	2,35

Elaboración: Entrix, junio 2020

### Estado Natural

La geomorfología del área en estudio se caracteriza por presentar seis tipos de paisajes bien definidos: coladas de lavas antiguas, flujos dacíticos, hondonadas pantanosas de origen glaciar-periglacial, fondo de valle glaciar, lagunas glaciares, humedales y/o almohadillas. Los paisajes presentan leve intervención antrópica, ya que se localizan en la en el sistema de cimas altas y frías de la cordillera occidental, por lo tanto, el uso del suelo para fines agropecuarios es muy limitado, y dichos usos se concentran en los sectores más bajos del área estudiada. Por lo tanto, se da una valoración de 2, Media.

El estado natural de los recursos hídricos presentes en el área geográfica no ha sufrido mayores modificaciones, además de considerar que las áreas de páramo, al estar ubicadas en zonas altas con elevada humedad, se convierten en los lugares propicios para el nacimiento de cuerpos hídricos, motivo por el cual se puede considerar que la alteración de la calidad del recurso hídrico en estas zonas es mínimo; esto se corrobora en los resultados de los muestreos efectuados en agua subterránea y agua superficial, donde se verifica que la calidad ambiental es buena, por lo que se da una valoración de 3, Alto.

En cuanto a los aspectos biológicos del área, se muestra como característica de páramos del austro ecuatoriano. A pesar de que el paisaje es homogéneo, las condiciones climáticas limitan el uso del suelo para diferentes actividades antropogénicas haciendo que la intervención sea limitada y muy baja. Por lo tanto, se da una valoración de 3, Alto.

En cuanto al componente arqueología, en la zona se evalúa como 0, ya que no se registran bienes arqueológicos.

## **Escasez**

Estas geoformas o características superficiales son comunes en el sistema de cimas altas y frías de la cordillera occidental del país, por tal motivo, no es un componente raro; sin embargo, no deja de ser un atractivo por su condición natural, por lo que se le da una valoración de 2, Media.

Los ecosistemas de páramo constituyen los reservorios de agua dulce más grandes que existen, en cuanto a las unidades hidrológicas existentes, se evidencia un sistema hídrico extenso y complejo conformado por riachuelos, lagunas, pequeñas quebradas, humedales y/o almohadillas y vertientes. Por lo antes mencionado, se otorga una valoración de 3, Alto.

Las flora y fauna del páramo poseen adaptaciones muy peculiares para soportar las bajas temperaturas nocturnas, la radiación solar alta durante todo el día, la baja capacidad de nutrientes en el suelo y la disponibilidad de alimento, haciendo que exista una gran tendencia a endemismo de especies, por lo cual se da una valoración de 3, Alto.

La valoración arqueológica es 0, ya que, al no haber registro alguno de bienes arqueológicos, no puede evaluarse su componente estético.

## **Estética**

En cierta medida, los paisajes, por las grandes extensiones que ocupan, presentan un aceptable contraste entre ellos, por lo que resulta interesante su apreciación; esto da una valoración de 3, Alto.

La red hídrica es visible en toda la zona y estéticamente complementa el paisaje característico del páramo, otorgando un valor muy especial para el observador; por lo tanto, se asigna un valor de 3, Alto.

Los páramos del austro ecuatoriano son muy apreciados por sus paisajes de montaña, la formación de lagunas, bosques de *Polylepis*, áreas abiertas o arbustivas atraen diferentes especies de aves y mamíferos, haciendo que el paisaje sea único en comparación con otros ecosistemas, por lo que se le otorga una valoración de 3, Alto.

En términos arqueológicos, la valoración sensorial de bienes patrimoniales es 0.

## **Importancia para la Conservación**

En vista de que el área del Proyecto presenta un valor alto para la conservación, debido a la alta presencia de humedales y/o almohadillas, tiene una calificación de conservación 3, Alto.

Los ecosistemas de páramo son fundamentales para la regulación hidrológica a nivel mundial, además de constituir la principal fuente de agua potable para las poblaciones, por lo que se da una valoración de 3, Alto.

El endemismo de especies de flora y fauna es alto, la especialización de los organismos ha pasado por diferentes periodos de adaptación haciéndolos tan especiales y únicos en cuanto a ecosistemas biológicos se refiere. En base a lo mencionado, se ha dado una valoración de 3, Alto.

Al no registrar bienes patrimoniales durante el reconocimiento arqueológico realizado, no se puede proponer un periodo de conservación. Sin embargo, es importante considerar que, si a futuro se registran bienes arqueológicos, estos deberán ser recuperados y dispuestos para su análisis y conservación; su valoración es baja, 1.

### **6.1.2 Línea Base Física Subterránea**

#### **6.1.2.1 *Hidrogeología***

Las características hidrogeológicas regionales subterráneas se analizaron sobre la base de la litología y grado de permeabilidad estimada, debido a porosidad intergranular y/o fracturamiento que presentan las formaciones geológicas aflorantes en el sector; estos factores determinan la posibilidad de contener

acuíferos de variadas características. Para la elaboración del Mapa Hidrogeológico Regional del Proyecto, se empleó como referencia el Mapa Hidrogeológico del Ecuador, SENAGUA, 2015.

El análisis hidrogeológico local (del sitio), se realizó sobre la base de los diferentes estudios y monitoreos que lleva acabo INVMINEC, en especial el Estudio Hidrogeológico Particular efectuado por ITASCA Denver, en el 2017 en el cual se detallan los métodos, investigaciones de campo y laboratorio que se efectuaron para la determinación de las características hidrogeológicas del sitio y elaborar un modelo matemático del comportamiento del sistema hidrogeológico en la actualidad, su evolución del tiempo, especialmente durante el desarrollo del proyecto minero.

#### **6.1.2.1.1 Metodología**

Para la elaboración del Mapa Hidrogeológico Regional del Proyecto, se empleó la metodología propuesta por la UNESCO (1995), Mapa Hidrogeológico del Ecuador de la SENAGUA, escala 1:250 000, (2014) y la base topográfica del área a escala 1: 50 000. Para aplicar la metodología, se realiza una conceptualización general del comportamiento hidrogeológico de las unidades de roca y sedimentos, las cuales consideran los siguientes tipos:

**Acuíferos:** Unidad de roca o sedimento capaz de almacenar y transmitir agua, entendida como el sistema que involucra las zonas de recarga, tránsito y descarga, así como sus interacciones con otras unidades similares, aguas superficiales y marinas.

**Acuitardos:** Formación geológica que, conteniendo apreciables cantidades de agua, la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas; sin embargo, bajo condiciones especiales, permiten una recarga vertical de otros acuíferos que pueden llegar a ser muy importantes en ciertos casos.

**Acuicludos:** Formación geológica que, conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y, por lo tanto, no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos de arcillas de cualquier origen.

**Acuifugos:** Aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir. Por ejemplo, un macizo granítico que no esté fisurado o unas rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación se considera impermeable.

Los acuíferos, de acuerdo con su condición hidráulica, se clasifican en:

**Acuífero libre:** Se denominan también no confinados o freáticos y son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y, por lo tanto, a presión atmosférica (Custodio, E. y Llamas, M. R., 1983. Hidrología subterránea [segunda edición]. Ediciones Omega, S. A.).

**Acuífero confinado:** Llamados también cautivos, confinados o a presión, y son aquellos en los que el agua está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica (Custodio, E. y Llamas, M. R., 1983. Hidrología subterránea [segunda edición]. Ediciones Omega, S. A.).

**Acuífero semiconfinado:** Son aquellos en los que la unidad que los encierra no es totalmente impermeable, sino un acuitardo, es decir, un material que permite la lenta filtración vertical de agua (Custodio, E. y Llamas, M. R., 1983. Hidrología subterránea [segunda edición]. Ediciones Omega, S. A.).

A partir de la información disponible y basados en la relación directa existente entre la litología, la permeabilidad estimada y el comportamiento hidrogeológico de una unidad, a continuación, se realiza la caracterización hidrogeológica de las rocas presentes en el área geográfica.

El propósito del análisis hidrogeológico fue proveer una descripción de las unidades litológicas que existen en la zona de estudio y determinar las características básicas de los acuíferos potenciales que podría

haber en la zona. En la descripción se presentan datos sobre parámetros que facilitan la clasificación de las unidades litológicas de acuerdo con su capacidad y utilidad.

El análisis hidrogeológico del sector del PLL se realizó sobre la base de los diferentes estudios y monitoreos que lleva a cabo INVMINEC, en especial, el Estudio Hidrogeológico Particular, efectuado por ITASCA Denver, en el 2017.

**Tabla 6-117 Rangos de Permeabilidad**

Rango (m/s)	$8.10 \times 10^{-12}$	$3.47 \times 10^{-9}$	$5.6 \times 10^{-7}$	$5.79 \times 10^{-5}$	$4.63 \times 10^{-3}$	$3.47 \times 1$
Clasificación	Impermeable	Poco Permeable	Algo Permeables	Permeable	Muy Permeable	
Clasificación de la formación	Acuicludo	Acuitardo	Acuífero Pobre	Acuífero regular a pobre	Acuífero excelente	
Ejemplo de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito	Limo arenoso Limo Arcilla limosa	Arena fina Arena limosa Caliza fracturada	Arena limpia Grava y arena Arena fina	Grava limpia	

Fuente: Custodio, E. y Llamas, M. R., 1983. Hidrología subterránea [segunda edición. Ediciones Omega, S. A.

### 6.1.2.1.2 Hidrogeología Regional

Las características hidrogeológicas regionales se analizaron sobre la base de la litología y grado de permeabilidad debido a porosidad intergranular y/o fracturamiento que presentan las formaciones geológicas aflorantes en el sector; estos factores determinan la posibilidad de contener acuíferos de variadas características. El Mapa Hidrogeológico (Anexo B. Cartografía, Mapa 6.1-16) muestra la hidrogeología del área geográfica; así, en las siguientes tablas, se resumen las características hidrogeológicas de las unidades aflorantes:

**Tabla 6-118 Unidades Litológicas por Permeabilidad Intergranular**

Unidad Litológica	Permeabilidad	Tipos de Acuíferos	Vulnerabilidad Estimada
Depósitos glaciares	Media	Superficiales, locales, muy discontinuos, de bajo rendimiento. Niveles piezométricos < 5 m.	Media
Formación Turi	Media-Alta: M-A	Locales, de bajo rendimiento. Niveles piezométricos < >10 m.	Baja

Elaboración: Entrix, junio 2020

**Tabla 6-119 Unidades Litológicas por Permeabilidad por Fracturamiento**

Unidad Litológica	Permeabilidad Estimada	Tipos de Acuíferos	Vulnerabilidad Estimada
Formación Quimsacocha	Baja: (B)	De muy bajo rendimiento, en zonas fracturadas	Baja

Elaboración: Entrix, junio 2020

### Unidades Litológicas Permeables por Porosidad Intergranular

#### Unidades Litológicas de Permeabilidad Media a Alta (M-A)

Corresponde a la formación Turi, compuesta principalmente de conglomerados andesíticos gruesos, pobremente litificados, con intercalaciones de arenisca tobácea y limolita tobácea, que permiten asignarle cualitativamente una permeabilidad media a alta, donde se puede localizar acuíferos discontinuos y de

bajo rendimiento. Los niveles piezométricos son mayores a 10 m de profundidad, y su recarga proviene de la infiltración local y regional.

#### Unidades Litológicas de Permeabilidad Media

Corresponde a los depósitos glaciares, de potencia entre 2 y 20 m (Golder, 2008), son masivos compuestos por bloque y gravas arcillosas y gravas limosas, de baja media a permeabilidad, con baja posibilidad de contener acuíferos, cuyos niveles piezométricos son mayores a los 5 m de profundidad. Dentro de esta unidad también se ha considerado a las cenizas y tobas finas de la formación Quimsacocha, que son de escasa extensión y espesor en un sector donde las curvas piezométricas manifiestan un leve distanciamiento. En esta unidad hidrogeológica es frecuente encontrar vertientes de caudales bajos e incluso de tipo intermitente, que por lo general aportan al caudal de base de los drenajes superficiales del sector. Se lo puede conceptualizar como un acuitardo.

El sector del área geográfica, por lo general, está cubierto por potentes suelos orgánicos, que en conjunto forman una zona vadosa, ya que casi todo el año permanecen sobresaturados, lo que se ha considerado para el sector como un sistema acuífero superficial denominado Páramo, cuyas características hidrogeológicas se detallan en la sección de la hidrogeología particular del área geográfica.

#### Unidades Litológicas Permeables por Fracturamiento

##### *Unidades Litológicas de Permeabilidad Baja (B)*

Corresponde la formación Quimsacocha, compuesta principalmente de flujos de lavas andesíticas, brechas volcánicas, brechas hidrotermales, pórfidos dacíticos y, en menor proporción, tobas y lapilli, que permiten asignarle una permeabilidad baja ( $4,0 \times 10^{-7}$  m/s, valor promedio de K determinado con ensayos Lugeon), donde se puede localizar acuíferos discontinuos y de bajo rendimiento en los sectores de alto fracturamiento, por lo tanto se trata de un acuitardo. Los niveles piezométricos son mayores a 50 m de profundidad, y su recarga proviene de la infiltración local y regional. Esta unidad se comporta como un acuífugo.

#### **Vulnerabilidad de los Acuíferos**

La información que existe del componente hidrogeológico en el sector es un tanto limitada, solo se tiene el estudio hidrogeológico a detalle del Proyecto y el Mapa Hidrogeológico, que es de litopermeabilidad estimada. Revisado el Inventario de Pozos y Vertientes realizado por la SENAGUA, 2015, no hay información del sector del área estudiada, por lo que no se puede aplicar los diferentes métodos que existen en la literatura relacionada, como: modelos de simulación, métodos estadísticos y métodos de superposición de índices.

Sin embargo, con el fin de evaluar la vulnerabilidad de las diferentes unidades hidrogeológicas identificadas en el área geográfica, en términos cualitativos, se realiza el análisis basado en la indexación de los índices GOD, la cual es una adaptación de las metodologías propuestas por el Banco Mundial en la Guía Técnica-Propuestas Metodológicas para la Protección del Agua Subterránea, 2003, para lo cual en dicha guía propone una definición práctica de clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos, que se detalla en la Tabla 6-120.

La metodología considera la evaluación de un valor asociado a las propiedades intrínsecas del acuífero y de la zona no saturada. El método determina la vulnerabilidad intrínseca, por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante.

Como se señaló en la metodología del componente hidrogeológico, se caracteriza la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en función de los siguientes parámetros (generalmente disponibles o fácilmente determinables):

G = Grado de confinamiento hidráulico del acuífero en consideración. Índice por condición de confinamiento del acuífero u ocurrencia del agua subterránea (*Groundwater occurrence*).

O = Ocurrencia del sustrato suprayacente (zona no saturada o capas confinantes), en términos de características litológicas y grado de consolidación, que determinan su capacidad de atenuación de contaminantes. (*Overall aquifer class*).

D = Distancia al agua determinada como: la profundidad al nivel del agua en acuíferos no confinados o la profundidad al techo de acuíferos confinados (*Depth*).

Estos tres parámetros se multiplican para obtener una valoración de la vulnerabilidad de 0 (despreciable) a 1 (extrema):

$$GOD = G \cdot O \cdot D \approx 0-1$$

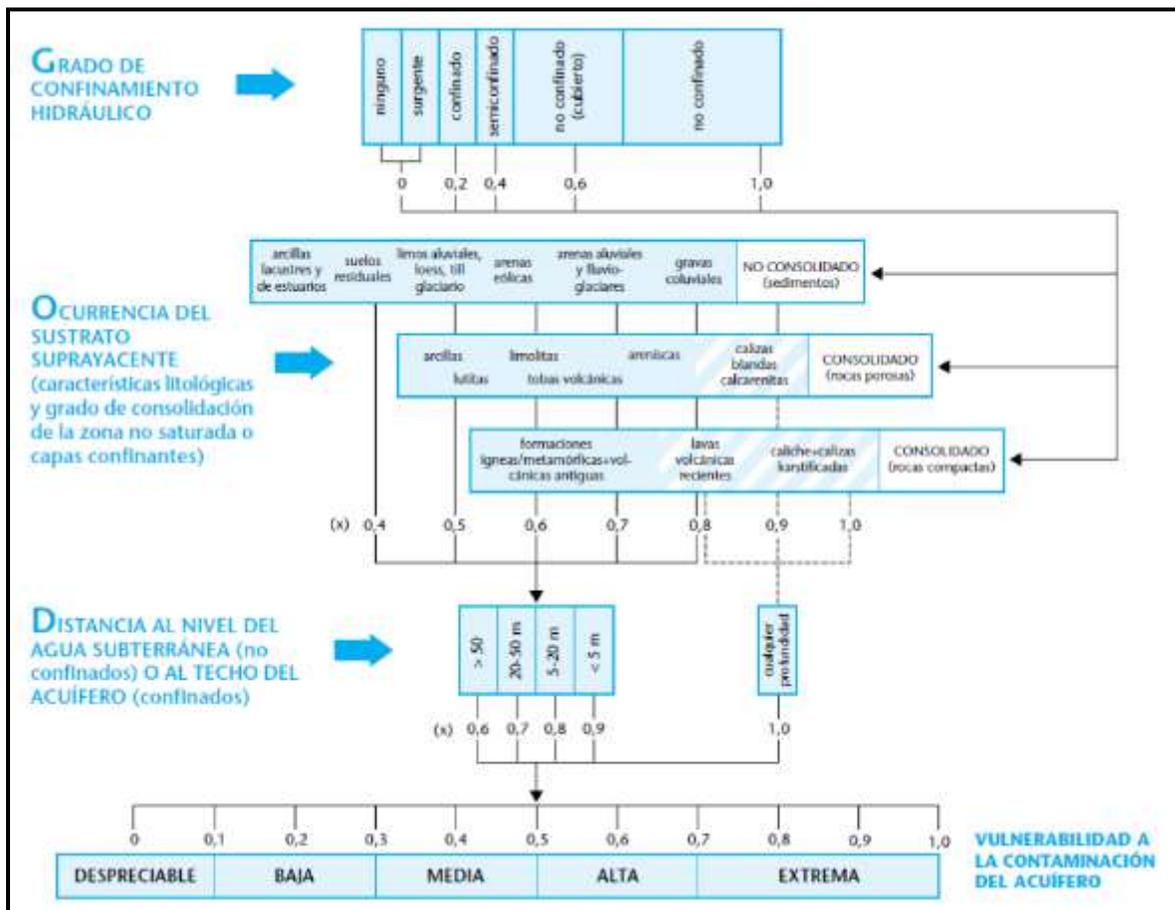


Figura 6-177 Valoración GOD para Vulnerabilidad de Acuíferos

Fuente: Foster 1988

La vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación se define por la facilidad con la cual ingresan las sustancias contaminantes al acuífero mediante infiltración a través del suelo y la zona no saturada (ZNS). En la Tabla 6-120 se resumen los niveles de vulnerabilidad.

**Tabla 6-120 Definición Práctica de Clases de Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos**

Clase de Vulnerabilidad	Definición Correspondiente
Extrema	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes, con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.
Alta	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.
Moderada	Vulnerable a algunos contaminantes, solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
Baja	Solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
Despreciable	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

Fuente: Banco Mundial en la Guía Técnica-Propuestas Metodológicas para la Protección del Agua Subterránea, 2003

**Tabla 6-121 Análisis de la Vulnerabilidad de Acuíferos a la Contaminación**

Unidad Hidrogeológica	Unidad Geológica	Características Hidrogeológicas	Vulnerabilidad				Categoría de Vulnerabilidad
			G	O	D	GOD	
M	Depósitos glaciares (Qg)	Superficiales, locales, muy discontinuos, de pequeña potencia, de bajo rendimiento. Porosidad intergranular media a baja. Niveles piezométricos < 5 m. Sobrepuestos por suelos orgánicos. Se lo puede conceptualizar como un acuitardo. Localmente, en áreas de humedales y/o almohadillas, la permeabilidad disminuye.	0,9	0,5	0,9	0,41	MEDIA
(B)	Formación Quimsacocha (MQ)	De muy bajo rendimiento, permeabilidad secundaria en zonas fracturadas; hidrogeológicamente, esta unidad se comporta como un acuífugo, los niveles piezométricos se localizan a profundidades > de 50 m.	0,6	0,6	0,6	0,22	BAJA
M - A	Formación Turi	Locales, discontinuos, de bajo rendimiento. Permeabilidad por porosidad intergranular, Niveles piezométricos > 10 m. Sobrepuestos por suelos orgánicos y/o residuales.	0,4	0,5	0,8	0,16	BAJA

Elaboración: Entrix, junio 2020

### Análisis

Los depósitos glaciares son de características permeables media a baja, forman acuíferos de poca extensión y escasa potencia; los niveles piezométricos son superficiales, su recarga es regional, están sobrepuestos por suelos orgánicos, por lo cual su vulnerabilidad es Moderada.

Los posibles acuíferos de la formación Turi son locales y tienen un escurrimiento subterráneo intergranular, son muy locales y discontinuos, descargan mediante vertientes en los cañones de los ríos. Se consideró, por ello, una vulnerabilidad baja para estas unidades litológicas.

Las aguas subterráneas contenidas en la formación Quimsacocha circulan debido a una permeabilidad secundaria, por fracturación, sobrepuestas en superficie por potentes suelos orgánicos y/o depósitos glaciares (acuitardo) y un nivel de roca volcánica no saturada, por lo que los niveles piezométricos son mayores a los 50 m, considerándosele de una vulnerabilidad baja.

### **6.1.2.1.3 Hidrogeología Local**

#### **Introducción**

La Hidrogeología local se refiere al estado y movimiento del agua subterránea dentro de la zona de implantación del PLL. El agua subterránea se refiere a todas las formas de agua bajo la superficie del suelo, donde fluye a través de los espacios porosos del suelo o a través de pequeñas grietas y fracturas en la roca subyacente sólida. El agua subterránea es un componente importante del ciclo general del agua, ya que la precipitación se infiltra en el suelo; fluye a través de los suelos, sedimentos y roca subyacente; y se descarga en manantiales, arroyos y ríos.

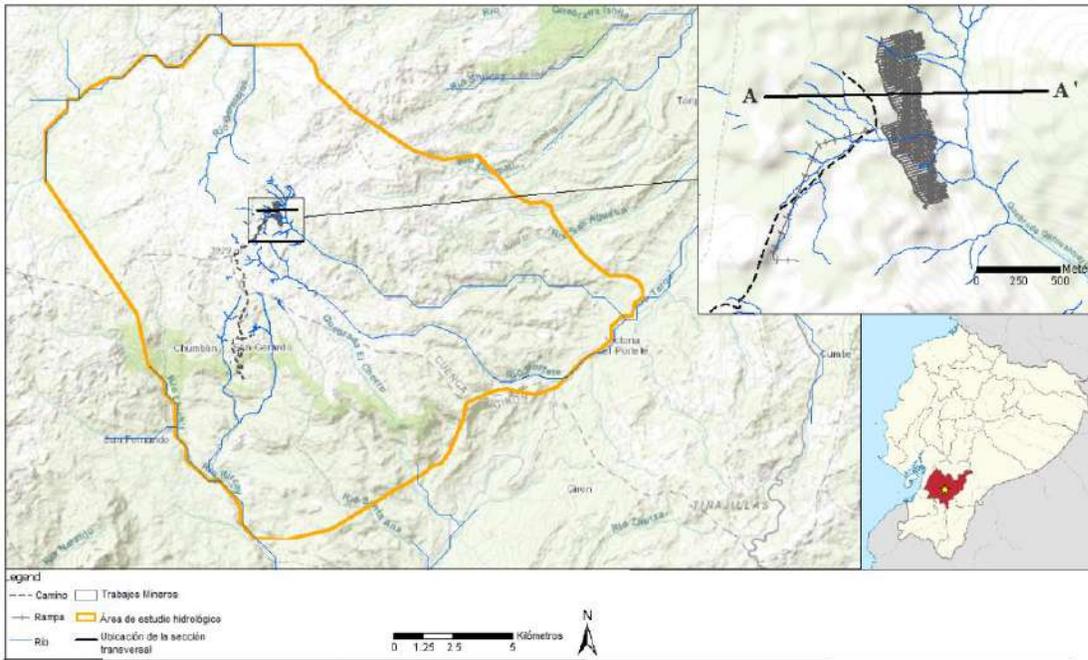
El agua subterránea en el PLL fue investigada con información de campo como parte de la campaña de perforación de exploración durante el 2016 y 2017, por Itasca (Itasca 2017a). Las investigaciones de 2016 y 2017 fueron guiadas por los hallazgos y la información recopilada durante investigaciones anteriores (Golder, 2009; SRK, 2006).

En base a estos estudios anteriores se continuó con el monitoreo Hidrogeológico para el desarrollo de un modelo conceptual que permita evaluar el impacto de las diferentes etapas del PLL sobre los niveles piezométricos del agua subterránea, y su movimiento.

#### **Metodología**

##### Área del Proyecto Loma Larga

Como se definió en la sección 6.1.1.1 del presente informe, el PLL se encuentra en las partes altas de los Andes al sur del Ecuador y recibe aproximadamente 1000 mm por año (mm/año) de precipitación. El agua lluvia generalmente ingresa a las quebradas mediante precipitación directa o escorrentía superficial; o se almacena en los suelos poco profundos del sistema de páramo y se libera como flujo lateral o agua superficial en las cercanías a las quebradas. Figura 6-178 muestra la ubicación del área geográfica y la ubicación de la mina. El estudio de hidrogeología local comprende el área de implantación abarcando 199,32 ha.



**Figura 6-178 Ubicación Hidrogeológica Local del PLL**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, junio 2020

El procedimiento ejecutado en los estudios previos consistió:

- > Recopilación y análisis de la información, especialmente de las investigaciones anteriores llevadas a cabo por Golder (2009; SRK, 2006).
- > Visita y recorridos de campo para evaluar el contexto geológico hidrogeológico del área.
- > Planificación de labores de perforación y ensayos de campo (ensayos de permeabilidad) y laboratorio.
- > Perforación de ocho sondeos con sus respectivos perfiles litológicos y ejecución de 34 ensayos de permeabilidad hasta la profundidad de 231 metros.
- > Instalación de piezómetros: piezómetros de transductores de cuerda vibrante (VWT, por sus siglas en inglés) y piezómetros de tubo vertical
- > Medición de niveles piezométricos.
- > Los trabajos de gabinete consistieron en:
  - > Elaboración del informe hidrogeológico, generar el modelo conceptual del sistema.
  - > Con los datos de campo recopilados se usaron para construir un modelo de flujo de agua subterránea, en el software informático MINEDW (Itasca 2012) desarrollado por Itasca. Se usó específicamente para simular los efectos del desarrollo de la mina en los flujos de agua subterránea.

### *Flujo de Agua Subterránea*

El PLL se encuentra en las partes altas de los Andes y recibe aproximadamente 1000 mm por año (mm/año) de precipitación. El agua lluvia generalmente ingresa a las quebradas mediante precipitación directa o escorrentía superficial; o se almacena en los suelos delgados del sistema de páramo y se libera como agua superficial. Según la simulación del modelo de flujos de agua subterránea, menos del 1 % de

la precipitación ingresa al agua subterránea del sistema más profundo de roca subyacente. El agua subterránea dentro del sistema más profundo de la roca subyacente se mueve muy lentamente, de tal forma que puede tomar cientos de años para que el agua subterránea se mueva a través del sistema de la roca subyacente antes de que se descargue a los ríos y arroyos que rodean el sitio del PLL. Este hallazgo, a partir del modelo de flujo de aguas subterráneas, es apoyado por los estudios de manantiales en el área del PLL (Correa et al., 2017; Mosquera et al., 2016), los cuales encontraron el agua de manantial que se origina desde el sistema superficial del páramo, situado por encima de la roca competente, ya sea en los suelos del páramo o una capa delgada de roca alterada.

El nivel freático dentro del sistema de roca subyacente en el PLL se midió a 3708 msnm (metros sobre el nivel promedio del mar), o alrededor de 10 a 50 m debajo de la superficie del suelo. La elevación del nivel freático en el sistema de roca subyacente es relativamente constante en todo el sitio, lo que indica que las fracturas y las juntas en la roca están interconectadas. El gradiente del nivel freático en el sistema de roca subyacente es generalmente hacia el este, lo que indica que el agua subterránea fluye desde la parte alta occidental hacia la quebrada Quinuahuaycu, al este del PLL (Figura 6-178), que queda lejos del cráter. Cuando se midieron los niveles de agua en función de la profundidad, se observó que el agua subterránea también fluye ligeramente hacia abajo, además de este componente de flujo de oeste hacia el este.

Una sección transversal desde el oeste hacia el este a través del depósito mineral se muestra en la Figura 6-185. Esta figura muestra el patrón conceptual del caudal del agua como escorrentía superficial en el sistema de páramo, y como flujo de agua subterránea en el sistema de roca subyacente. La zona no saturada está mostrando separadamente el agua subterránea en los sistemas de páramo y roca subyacente a través del PLL. El agua subterránea, que se filtra a través de esta zona no saturada, se sujeta a la influencia de la gravedad y se mueve verticalmente.

### *Métodos de la Investigación de Agua Subterránea Empleada*

El agua subterránea en el PLL fue investigada como parte de la campaña de perforación de exploración durante el 2016 y 2017, por Itasca (Itasca 2017a). Las investigaciones de 2016 y 2017 fueron guiadas por los hallazgos y la información recopilada durante investigaciones anteriores (Golder, 2009; SRK, 2006). Las técnicas de campo utilizadas en las investigaciones recientes incluyeron 34 mediciones de la permeabilidad de la roca subyacente en ocho perforaciones hasta profundidades de 231 m. La permeabilidad es un factor altamente variable que mide la capacidad del agua subterránea para fluir a través de la roca. En las investigaciones recientes, la permeabilidad se midió en secciones discretas dentro de los sondeos, utilizando un sistema de empaquetamiento inflable (ensayos Lugeon). Durante esta prueba, se inyectó agua en la roca subyacente, y la permeabilidad se midió directamente registrando los caudales y las presiones durante estas pruebas (Itasca 2018). Se muestra un resumen de estos resultados de las pruebas de empaquetamiento (Tabla 6-124).

### Monitoreo Hidrogeológico

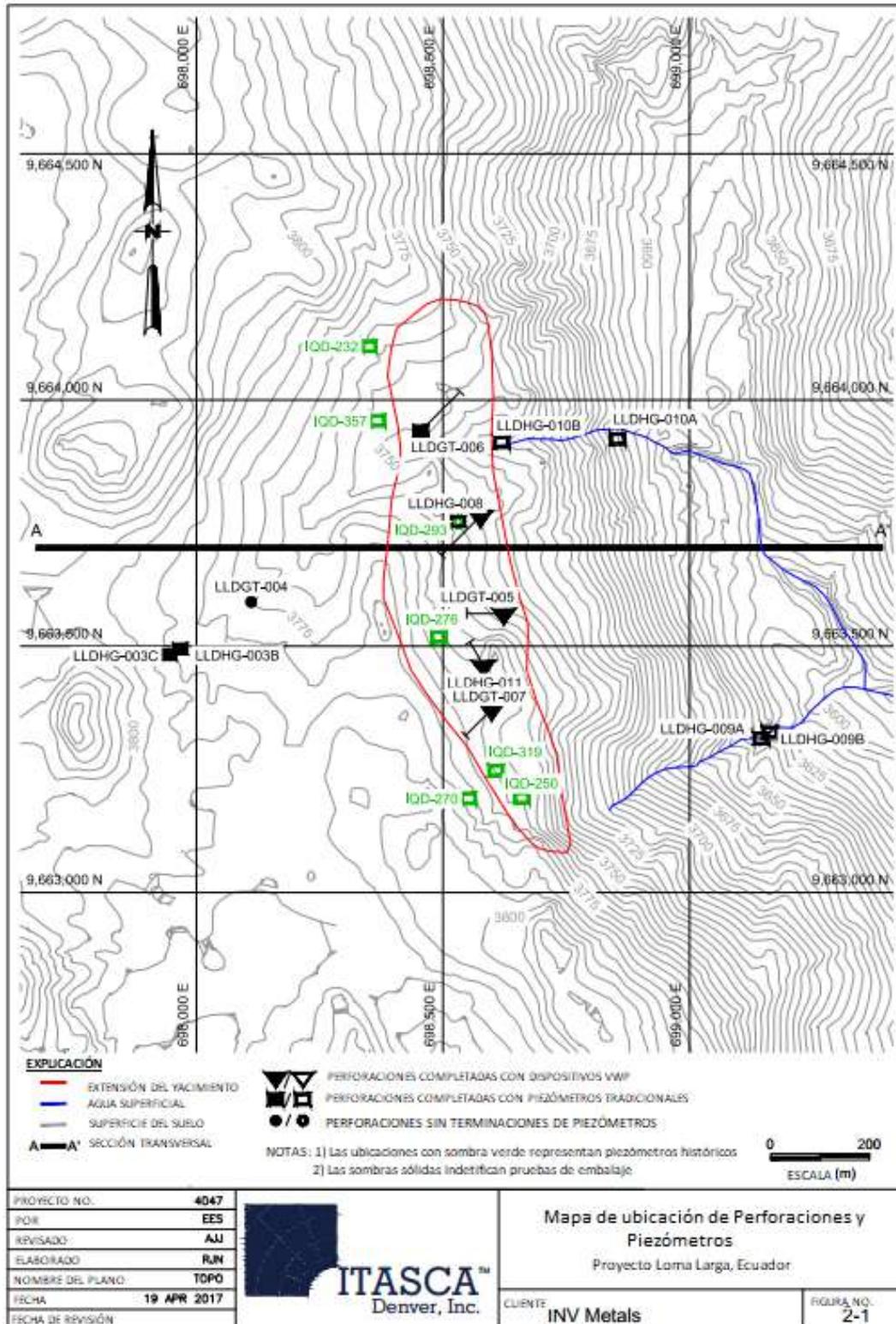
#### *Medición de niveles de agua subterránea (Piezómetros)*

Los niveles de las aguas subterráneas de la roca subyacente se midieron durante el periodo de Junio a Septiembre de 2017 mediante la instalación de 18 piezómetros, que son instrumentos o tuberías instalados en pozos de exploración. Se instalaron dos tipos de piezómetros: piezómetros de transductores de cuerda vibrante (VWT, por sus siglas en inglés), en donde se instalaron dataloggers para un registro continuo de los valores medidos, y piezómetros de tubo vertical, en donde se realizaron mediciones de manera mensual. Los piezómetros VWT usan sensores para medir el nivel del agua a varias profundidades dentro de un pozo, mientras que un piezómetro de tubería vertical, con un revestimiento o una tubería hueca, permite una medición directa de la elevación del agua subterránea usando una cinta de nivel de agua. La Figura 6-179 y la Tabla 6-122 siguientes muestran y describen sus características y su ubicación

**Tabla 6-122 Ubicación y Característica de los Piezómetros**

Piezómetro	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Tipo	Elevación (msnm)	Profundidad Perforada (m)	Inclinación (o)	Nivel del Agua (m)	Nivel Freático (msnm)	Fecha
	Este (m)	Norte (m)							
LLDHG-003B	697704,38	9663123,75	Tradicional	3784,30	103,70	80	72,03	3713,40	17-mar-17
LLDHG-003C	697701,58	9663121,95	Tradicional	3784,70	134,20	90	88,35	3696,40	17-mar-17
LLDGT-005	698371,79	9663201,55	Cuerda vibrante	3746,70	220,70	71	-	3670,50	03-mar-17
LLDGT-006	698203,49	9663572,55	Tradicional	3746,70	231,04	60	49,21	3707,40	17-mar-17
LLDHG-007	698371,79	9663201,55	Cuerda vibrante	3770,00	213,30	71	-	3630,80	04-mar-17
LLDHG-008	698324,49	9663399,45	Cuerda vibrante	3746,00	231,30	60	-	3662,50	03-mar-17
LLDHG-009A	698897,88	9662947,35	Cuerda vibrante	3627,70	22,90	90	3,53	3624,20	18-mar-17
LLDHG-009B	698898,98	9662949,75	Tradicional	3626,90	12,50	90	1,56	3625,40	18-mar-17
LLDHG-010A	698602,19	9663556,05	Tradicional	3665,70	15,24	90	4,57	3661,10	17-mar-17
LLDHG-010B	698367,49	9663549,75	Tradicional	3730,70	3,00	90	0,85	3729,90	17-mar-17
LLDHG-011	698330,48	9663096,25	Cuerda vibrante	3767,10	208,79	72	-	3670,40	03-mar-17
IQD-232	698097,49	9663744,15	Tradicional	3763,90	201,38	90	0,24	3763,70	18-mar-17
IQD-250	698408,28	9662826,95	Tradicional	3769,20	249,55	90	62,67	3706,50	18-mar-17
IQD-270	698299,78	9662826,15	Tradicional	3782,50	190,00	90	13,00	3769,50	18-mar-17
IQD-276	698240,18	9663153,95	Tradicional	3766,10	161,00	90	59,00	3707,10	18-mar-17
IQD-293	698279,09	9663388,15	Tradicional	3751,00	173,30	90	43,12	3707,90	18-mar-17
IQD-319	698355,78	9662882,45	Tradicional	3769,50	193,59	90	47,00	3722,50	18-mar-17
IQD-357	698115,49	9663593,15	Tradicional	3773,00	178,30	90	15,69	3737,30	18-mar-17

Fuente: DPMECUADOR SA, marzo 2022  
 Recopilación: Entrix, junio 2020



**Figura 6-179 Sondeos y Piezómetros en el Proyecto Loma Larga**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
 Recopilación: Entrix, junio 2020

### *Medición de conductividad hidráulica de la roca*

Las técnicas de campo utilizadas en las investigaciones incluyeron 34 mediciones de la conductividad hidráulica (K) o permeabilidad de la roca subyacente en ocho perforaciones hasta profundidades de 231 m. La permeabilidad es un factor altamente variable que mide la capacidad del agua subterránea para fluir a través de la roca. En las investigaciones recientes, la permeabilidad se midió en secciones discretas dentro de los sondeos, utilizando un sistema de empaquetamiento inflable (ensayos Lugeon). Durante esta prueba, se inyectó agua en la roca subyacente, y la permeabilidad se midió directamente registrando los caudales y las presiones durante estas pruebas (Itasca 2018).

El objetivo de la prueba es determinar el valor de K para cada unidad hidrogeológica del proyecto. El K para el intervalo de prueba fue determinado usando la ecuación de Thiem (Ecuación 1) con la formulación USBR para el radio de influencia (Ecuación 2) y se presenta para cada paso de presión.

$$K = \frac{QLn\left(\frac{R}{r_b}\right)}{2\pi(H_{nit})(L)}$$

Ecuación 1

Donde:

K = Conductividad Eléctrica

Q = Caudal insertado en la formación

R = Radio de influencia asumido o calculado

rb = radio del pozo

Hnit = Presión aplicada al intervalo de prueba

L = Longitud del intervalo de prueba

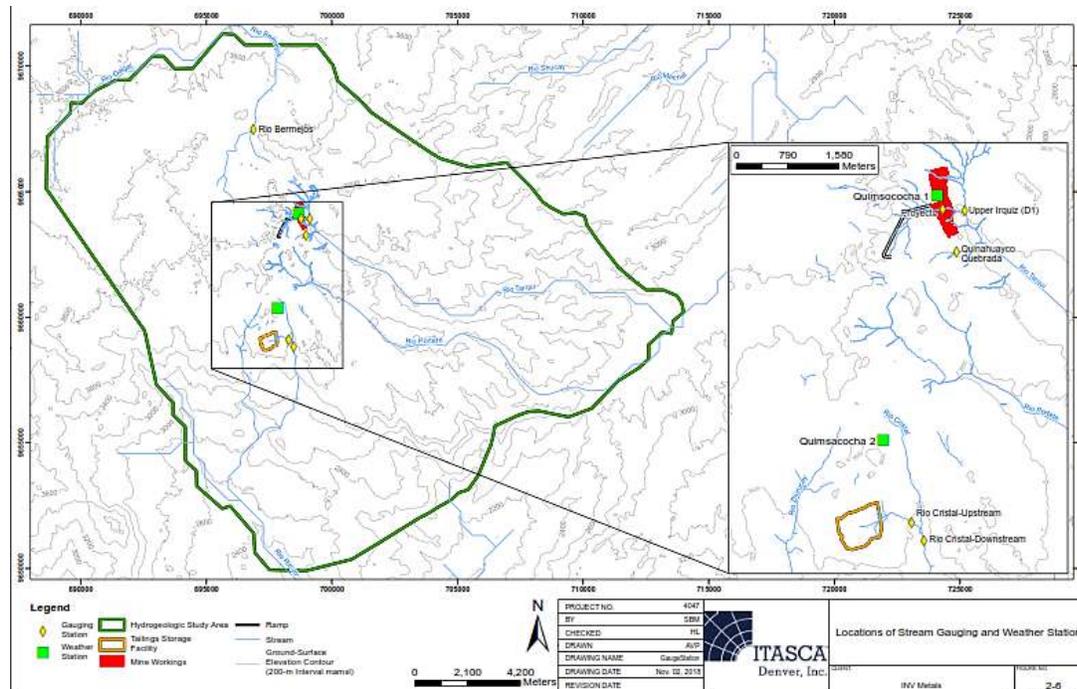
$$K = \begin{cases} \frac{Q}{2\pi LH_{nit}} \sinh^{-1}\left(\frac{L}{2r_b}\right), & 10 > \frac{L}{r_b} > 1 \\ \frac{Q}{2\pi LH_{nit}} \ln\left(\frac{L}{r_b}\right), & \frac{L}{r_b} > 10 \end{cases}$$

Ecuación 2

Todos los intervalos probados para la perforación del Proyecto se perforaron utilizando métodos de extracción de testigos HQ estándar, y el radio del pozo se fijó a 0.048 m. La tasa de flujo en la formación durante la prueba fue calculada durante cada uno de los cinco pasos de presión asociados con las pruebas. Se usaron las tasas de flujo cuasi estacionario al final de cada paso de presión para los cálculos de K. El medidor de flujo tenía un límite de precisión inferior de 0,01 litros por minuto (l/min) y un límite de precisión superior de 65 l/min. La longitud del intervalo de prueba se conocía con precisión como la distancia entre el elemento inflable y fondo de pozo temporal y fue medido antes de insertar el obturador.

### *Medición de caudales base de agua superficial*

Los caudales base fueron monitoreados en los puntos correspondientes a las quebradas Quinahuaycu, D1, Bermejós, y Cristal, como fue descrito en la sección 6.1.2.14 del presente informe. La Figura 6-180 muestra la ubicación de las estaciones dentro del área del PPL. Estos caudales base corresponden a los caudales en los meses en los que la precipitación es baja o nula con lo que los caudales descienden a sus valores mínimos o mas bajos durante el año. Para una descripción de el sistema de monitoreo de las quebradas consultar la sección 6.1.2.14 del presente informe.



**Figura 6-180 Ubicación de las estaciones de monitoreo de caudales base**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
 Recopilación: Entrix, junio 2020

## Modelo Hidrogeológico

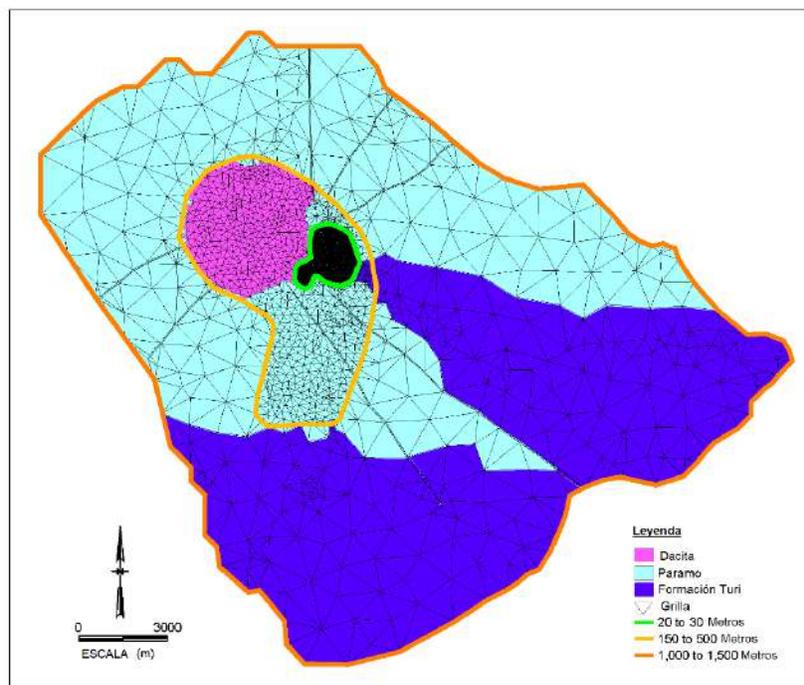
### Descripción de Modelo Hidrogeológico

El modelo hidrogeológico fue construido utilizando el código numérico MINEDW, desarrollado por Itasca (2012), el cual resuelve problemas de flujo subterráneo utilizando el método de elementos finitos. Este código tiene muchas cualidades que fueron desarrolladas especialmente para abordar condiciones que son comúnmente encontradas en el abatimiento de agua producido por actividades mineras por lo que ha sido usada y verificada en numerosos proyectos mineros alrededor del mundo y está comercialmente disponible.

El modelo incluye información correspondiente al entorno geológico, tanto regional como local, la precipitación y evaporación, el agua superficial, y el flujo de entrada a los trabajos subterráneos. La representación del entorno ecológico determina los parámetros hidráulicos que controlan las tasas de entrada de flujo hacia los trabajos subterráneos y los niveles de agua subterránea alrededor del cuerpo mineralizado. La infiltración entre las capas del modelo está limitada por el valor de la conductividad hidráulica vertical ( $k_v$ ) de las mismas.

Las unidades hidrogeológicas que se incorporaron al modelo de flujo de agua subterránea se basan en el modelo country-rock y mapas geológicos superficiales proporcionados a Itasca por INVMINEC. Las unidades primarias simulados a partir del modelo de bloque country-rock son Lava PG, Lava, Andesita, Argillita Concha, Dacita, Formación Turi y una unidad volcánica genérica. Las unidades geológicas se especificaron con base en el modelo country-rock para los mejores 300 m bajo el nivel del suelo (m b.n.s.). A profundidades mayores a 300 m b.n.s. y en áreas no cubiertas en el modelo country-rock, las unidades geológicas se especificaron como una unidad volcánica genérica. Las unidades hidroestratigráficas utilizadas en el modelo en la vecindad del depósito de mineral tal como se presenta en el modelo de bloque son más detalladas y específicas que las representaciones generalizadas de la geología regional, ya que se basan en el programa de perforación exploratoria del INV.

El límite del modelo de flujo de agua subterránea está a una distancia significativa del área del proyecto para minimizar los efectos de los límites en los resultados del modelo y para simular el caudal base de los cuerpos de agua superficiales. La grilla del modelo fue configurada de tal forma que sea densa en la vecindad del yacimiento para acomodar la información geológica detallada asociada con el modelo geológico del cuerpo de mineral 3-D y los trabajos de la mina. La cuadrícula del modelo consta de 246 541 nodos, 480 012 elementos y 35 capas del modelo en la vecindad de los trabajos subterráneos propuestos para simular los trabajos mineros detallados y condiciones hidrogeológicas y geológicas observadas durante las investigaciones de campo. Lejos del depósito mineral, la cuadrícula del modelo se vuelve más gruesa y muestra menos detalles a medida que hay menos datos disponibles y los efectos de las condiciones del subsuelo distante en el flujo de entrada a los trabajos mineros subterráneos disminuyen. La Figura 6-181 presenta una vista en planta de las unidades hidrogeológicas superficiales simuladas dentro de la zona de estudio y la discretización de elementos finitos. La discretización horizontal es más fina en el área del Proyecto, con el tamaño del elemento es de aproximadamente 20 m y aumenta gradualmente hasta 1000 m hacia el modelo en el perímetro.



**Figura 6-181 Cuadrícula de Elementos Finitos y Geología Simulada de la Primera Capa del Modelo**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, julio 2020

Para garantizar que el modelo de flujo de agua subterránea represente con precisión el sistema físico, el valor de cada parámetro hidráulico en el modelo se ajusta ligeramente del valor medido hasta que el modelo pueda simular, razonablemente, las condiciones hidráulicas observadas en el campo, en particular, las elevaciones y contribuciones de la capa freática al flujo de agua superficial (de las quebradas) del agua subterránea. Este proceso de entradas variables del modelo se denomina calibración, y en este caso, el modelo de agua subterránea construido fue capaz de simular los niveles de agua que se compararon muy estrechamente con los niveles de agua observados en piezómetros en todo el sitio, además de cumplir con los estándares de la industria para el proceso de calibración del modelo.

Además de los niveles de agua, el modelo de flujo de agua subterránea se calibró para valores de flujo base en ríos y arroyos seleccionados cerca del Proyecto. Los valores de flujo base corresponden a la velocidad de flujo en un río o arroyo que está asociado con la descarga de agua subterránea. El valor del

flujo base generalmente se determina durante los períodos de flujo bajo cuando ocurre poca o ninguna lluvia.

Una vez que el modelo de flujo de agua subterránea se construye y calibra, puede usarse para predecir los efectos de las actividades mineras en las condiciones del agua subterránea. El modelo de flujo de agua subterránea se utilizó para simular el drenaje de la mina y sus efectos sobre los niveles de agua subterránea en el sistema de roca subyacente. De la misma manera, el modelo se usó para predecir cuánta agua fluirá hacia las aberturas de la mina en función del tiempo y la extensión de los trabajos subterráneos. A medida que se construye la mina y la rampa asociada, el agua subterránea fluirá hacia estos espacios y se eliminará mediante bombeo para mantener la mina seca y operativa. El efecto general de este bombeo se formará en una zona de roca desaturada, o un cono de depresión, en la capa freática de la roca madre que rodea la mina.

### *Calibración de Modelo Hidrogeológico*

El modelo de flujo de agua subterránea se calibró en condiciones previas a la extracción (presente). Ninguna calibración transitoria se llevó a cabo porque, aparte de la precipitación, no hay tensiones hidráulicas como el bombeo y la minería dentro de la zona del proyecto

La primera variable utilizada para la calibración fueron los niveles piezométricos, los cuales fueron comparados con los valores medidos en las diferentes campañas de monitoreo existentes. Para poder cuantificar la similitud de los valores medidos con los simulados se utilizaron distintas métricas estadísticas como el Mean Error (ME), el Mean Absolute Error (MAE), el Root Mean Square Error (RMSE), el Normalized Root Mean Square Error (NRMSE), y el coeficiente de determinación.

Otra variable utilizada para la calibración fue la conductividad hidráulica horizontal modelada (kh), que fue comparada con la kh estimada mediante las pruebas de campo, y con el rango global de kh de cada unidad geológica similar.

Finalmente, se compararon los caudales base medidos en las 5 estaciones hidrológicas seleccionadas en la zona del proyecto con las estimaciones de caudal base obtenidas de la escorrentía en las condiciones de contorno del modelo.

Posterior a la calibración del modelo se validó el modelo hidrogeológico conceptual, los escenarios de la caída de la tabla de agua durante las distintas fases del modelo y el efecto en los flujos base de las quebradas antes mencionadas.

### *Verificación del Modelo Hidrogeológico conceptual*

Para poder verificar que el modelo hidrogeológico sea una representación acertada del sistema, la caracterización de los llamados afloramientos de agua, manantiales o springs u ojos de agua es algo fundamental, los cuales podrían indicar dirección de flujos subterráneos. Así, fue necesario determinar estos sitios de afloramiento de agua subterránea/manantiales/springs/ojos de agua dentro de la zona de influencia del PLL mediante la medición de parámetros físicos en campo, como la conductividad eléctrica, pH y temperatura del agua, que permita identificar valores de referencia y anomalías.

Por lo tanto, se realizaron inspecciones en las unidades hidrográficas Quinuahuaycu y Rumiguaycu debido a que el flujo del agua subterránea se presume en dirección hacia estas dos quebradas (basado en las direcciones de flujo del estudio hidrogeológico). Dentro del área geográfica se buscó tomar mediciones en las quebradas, humedales de aporte y piezómetros presentes en la misma. Esto con el fin de identificar anomalías (valores de calidad de agua diferentes que puedan significar descarga de aguas subterráneas en un punto o zona) en la calidad del agua y que nos permita identificar zonas de springs/manantiales/ojos de agua o zonas de descarga difusa/“seep”. De esta forma se lograron monitorear 42 sitios (Figura 6-182) de los cuales 23 corresponden a sitios en quebradas (Foto 1), 16 a agua de los poros de los humedales (Foto 2), y 3 a piezómetros (Foto 3).



Foto 1 Sitio de monitoreo en quebrada Q-05.



Foto 2 Sitio de monitoreo en humedales H-07.



Foto 3 Sitio de monitoreo en piezómetro LLDHG-010

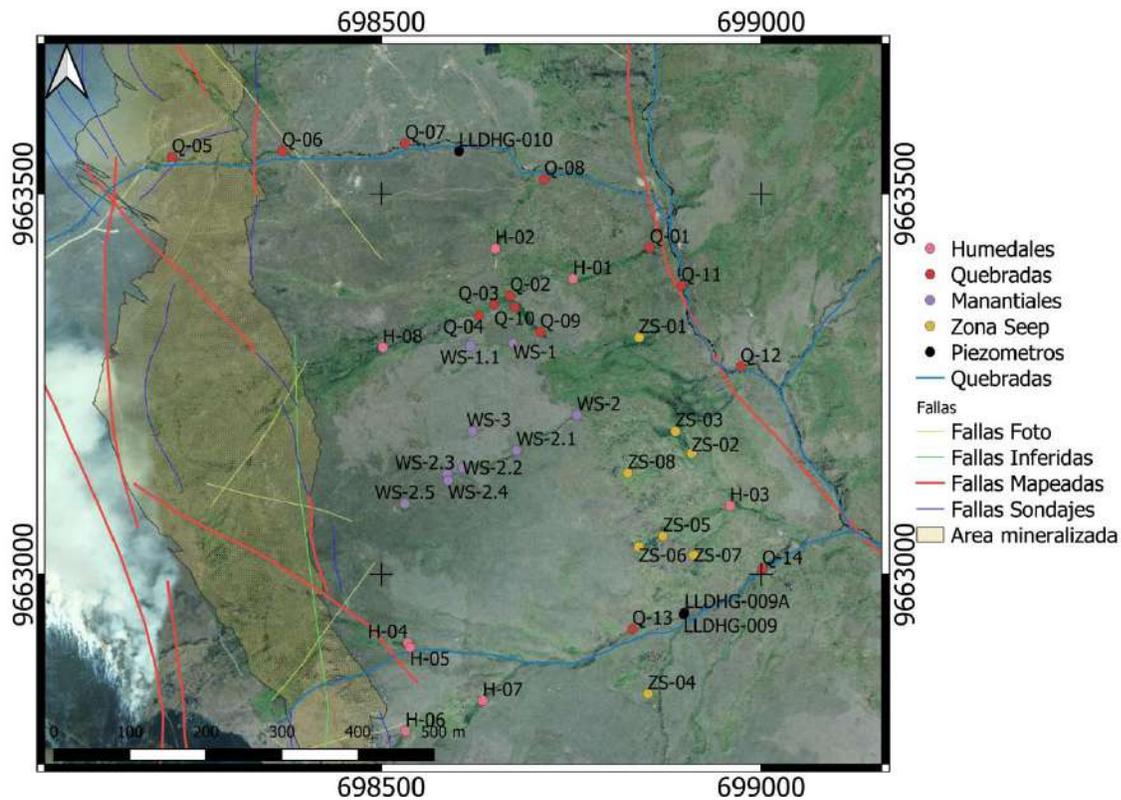


Figura 6-182 Mapa de la zona de estudio y ubicación de sitios monitoreados.

Fuente: INV Minerales EC, monitoreo hidrogeológico, 2019. Guía de campo equipo consultor, 2020.  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

La medición de parámetros se realizó los días 26 y 28 de junio de 2020. Los parámetros seleccionados para medirse en los sitios fueron el potencial de hidrógeno (pH), temperatura, sólidos disueltos totales

(TDS) y conductividad eléctrica (EC), poniendo especial atención en la última ya que valores altos de EC sirven como indicador de agua más profunda. Esto debido a que en la zona existe una marcada diferencia de la EC en aguas superficiales y subterráneas. Para la medición de estos parámetros se utilizó la sonda multiparamétrica AquaTROLL500 de la marca In-Situ (Figura 6-183). La sonda fue calibrada por el equipo técnico de PathProfit previo al monitoreo.

Para la medición en campo en sitios de quebrada, se buscaron secciones o sitios donde el agua no se encuentre estancada, sino que esté fluyendo normalmente, además se buscaron tramos de quebrada rectos, es decir; que no existan curvas y evitar burbujas en el agua que puedan alterar las mediciones. Para el caso de sitios dentro de humedales, se procedió a excavar en el humedal hasta encontrar el agua del suelo y ubicar la sonda en el interior del agua. Finalmente, para la medición en los piezómetros, se extrajo agua de los mismos mediante el uso de bailers (muestreadores) y se colocó en un recipiente en donde se sumergió la sonda para tomar la medición.



**Figura 6-183 Sonda Multiparamétrica AquaTROLL500**

Fuente: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Para poder determinar la presencia o no de manantiales, se procedió a tomar mediciones en las quebradas existentes dentro de la zona de estudio, de esta forma se pueden identificar quebradas en las que los valores de EC fueran más altos con respecto al resto, lo que puede indicar la presencia de un manantial. De esta manera se pudo determinar cuáles eran los valores de referencia (rango normal) y los valores atípicos (por encima del rango normal). Una vez encontrados los sitios con valores atípicos se procedió a ir aguas arriba de dichos sitios, realizando mediciones de EC para verificar por donde se mueve el agua con la anomalía, hasta encontrar el origen de la quebrada, que puede ser un afloramiento/manantial/spring/ojo de agua o una zona de humedal/seep. De mantenerse los valores atípicos hasta el origen, se puede decir que esa quebrada está formada principalmente por un manantial. En caso de que el origen se encuentre en un solo humedal, se tomaron mediciones dentro del humedal para determinar si este se encuentra alimentado por agua más profunda, de ser así se puede decir que es alimentado por un manantial. En caso de que existan varios humedales o una zona de anomalías se puede decir que es una zona de descarga difusa de agua o llamada “seep”.

Adicionalmente, se tomaron mediciones en pozos de agua subterránea (piezómetros), para tener valores de referencia de agua subterránea y poder comparar los valores medidos con las aguas superficiales. La Tabla 6-123 muestra las características principales de los 3 piezómetros en donde se realizaron las mediciones de los parámetros mencionados anteriormente.

**Tabla 6-123 Características principales de los piezómetros monitoreados**

Piezómetro	Coordenadas WGS 84 Zona 17 S		Altitud (m s.n.m)	Profundidad (m)	Azimuth	Buzamiento (°)
	Este (m)	Norte (m)				
LLDHG-009	698897	9662947	3627	22.86	0	-90
LLDHG-009A	698899	9662949	3626	12.5	0	-90
LLDHG-010	698602	9663556	3665	15.24	0	-90

Fuente: Monitoreo hidrogeológico INV Minerales.  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo.



**Foto 4 Piezómetros LLDHG-009 y LLDHG-009A.**

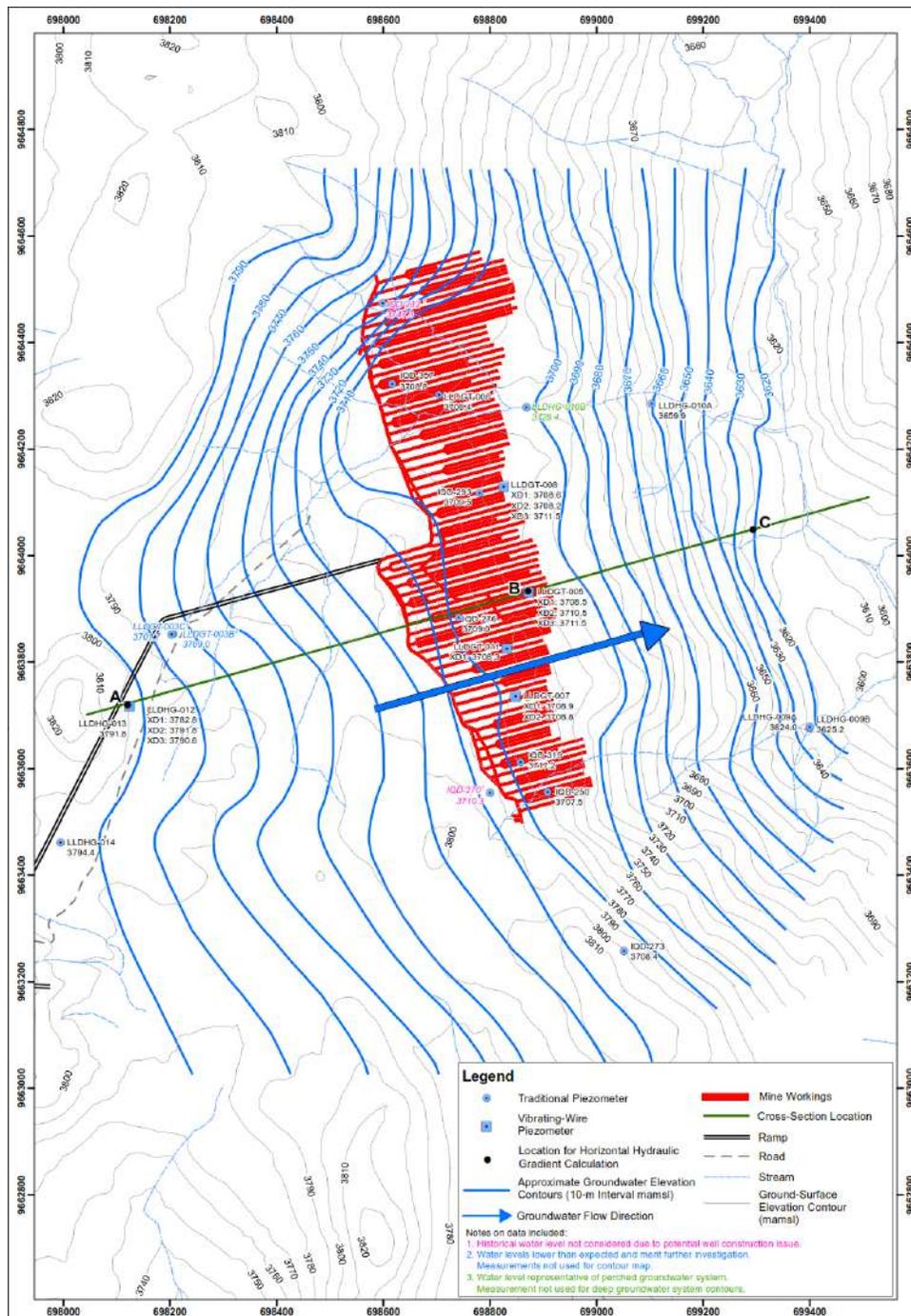
Fuente: DPMECUADOR, marzo 2022.

## Resultados

### Niveles piezométricos y dirección de flujo de agua subterránea en base a mediciones piezométricas

La Figura 6-184 muestra un mapa de contornos de nivel de agua subterránea en el sitio del Proyecto de una compilación de ediciones de los niveles de agua subterránea de junio a septiembre de 2017 que se construyó como parte de un memorando técnico de 2017 de Itasca. Las mediciones de los niveles de agua subterránea para piezómetros se muestran en la Tabla 6-122. Como se observa en la Figura 6-184, se consideraron los siguientes puntos en la construcción de los contornos del nivel del agua subterránea:

- > Los contornos del nivel del agua subterránea incluyen los datos actuales del nivel del agua de los piezómetros de cuerda vibrante, piezómetros tradicionales (pozos “LLDHG” y “LLDGT”) y piezómetros tradicionales históricos seleccionados (pozos “IQD”) del sistema de lecho rocoso profundo.
- > Los niveles de agua subterránea medidos de LLDGT-003B y LLDGT-003C se excluyeron porque eran anormalmente más bajos que los niveles de agua subterránea medidos en el gradiente piezométrico descendente. Las razones de esta anomalía son desconocidas. Una de las razones podría ser heterogeneidad localizada con muy baja permeabilidad a través de la zona filtrada que resulta en equilibrio lento del nivel del agua.



**Figura 6-184 Mapa de niveles piezométricos del PLL**

Con base en el análisis de los niveles de agua subterránea medidos en el sitio del Proyecto, como se muestra en la **Tabla 6-124**, se puede concluir lo siguiente con respecto a los niveles de agua subterránea en el sitio del proyecto:

- > Los niveles de agua subterránea generalmente siguen la topografía suprayacente o del terreno.
- > El agua subterránea fluye de oeste a este y tiene un gradiente horizontal de 0,14 metros por metro (m/m) a través del sitio del proyecto, como se indica a partir de la diferencia en las elevaciones del

nivel del agua observado en piezómetros instalados gradiente arriba y abajo cerca del cuerpo mineralizado y la rampa.

- > El gradiente de agua subterránea es más pronunciado en el lado este del cuerpo mineral que en el lado oeste, lo cual es consistente con el gradiente topográfico más pronunciado en los flancos orientales del cuerpo mineral.
- > Hay un ligero gradiente hidráulico vertical descendente aparente en los datos de nivel del agua subterránea de LLDGT-005. Además, LLDGT-008 y LLDHG-012 tienen en general gradientes descendentes, aunque hay una ligera inversión de gradiente entre los dos transductores en LLDGT-008 y entre los dos transductores superiores en LLDHG-012, como se muestra en la **Tabla 6-124** .
- > Los piezómetros en la vecindad del cuerpo de mineral muestran elevaciones de agua subterránea entre 3,708 y 3.710 msnm, lo que significa que la elevación del nivel freático disminuye solo unos pocos metros de oeste a este sobre el ancho del cuerpo mineralizado. Esto puede estar relacionado con el valor de K diferente de las rocas silíceas y arcillosas.

#### Conductividad Hidráulica Promedio de las Pruebas Tipo Packer por Estructura, Litología y Categorías de Alteración

El valor de K final en cada intervalo de prueba se derivó en base a la selección de los valores más apropiados de los valores de prueba de cinco pasos. Los resultados de estas pruebas se correlacionaron con varios parámetros de los registros geotécnicos/geológicos para identificar tendencias asociadas con la litología, alteración y frecuencia de fracturas, como se presenta en la Tabla 6-124 y la Tabla 6-125. Para este estudio, la media aritmética de K de todas las pruebas tipo Packer fue de  $4,0 \times 10^{-7}$  m/seg. El valor K es poco sensible a las fallas. El valor K promedio de los intervalos de prueba tipo Packer, que contienen fallas como se observó en los registros geotécnicos, fue de  $3.3 \times 10^{-7}$  m/seg. Esto es ligeramente más bajo que el valor promedio de todas las pruebas. Este resultado es probable porque la mayoría de las fallas encontradas contenían brechas y gubias y, en muchos casos, minerales arcillosos. Fallas limpias en roca silícea tienen valores de K mucho más altos.

**Tabla 6-124 Resumen de los Resultados de las Pruebas Hidráulicas en 2016 y 2017**

Barreno	Prueba No.	Intervalo de Prueba Superior/ Inferior (m)		Longitud (m)	Fecha de la Prueba	Valor Final de K (m/s)	Zonas Geológicas en el Intervalo (% del intervalo)	Alteraciones en el Intervalo (% del intervalo)	Notas	Tipo de Flujo	Presión
GT/HG-003B	1	31,7	65,4	33,7	18-ene-17	1,2 E-07	Brecha hidráulica (50 %), dacita (44 %), brecha (6 %)	Argílica (50 %), argílica avanzada (40 %), sílice (10 %)		Turbulento	110.5 - 107
GT/HG-003B	2	65,3	99,1	33,8	19-ene-17	1,1 E-06	Brecha hidráulica (73 %), toba de lapilli (27 %)	Sílice (100 %)		Turbulento	152.5 - 133
GT/HG-003C	1	103,4	132,7	29,3	26-ene-17	3,3 E-08	Toba andesítica (100 %)	Sílice (56 %), argílica (44 %)		Turbulento	312 – 214.5
GT/HG-003C	2	101,9	134,2	32,3	26-ene-17	3,0 E-08	Toba andesítica (100 %)	-	Tipo de alteración no registrada.	Laminar	316. – 213.5
GT/HG-004	1	49,3	80,2	30,9	15-dic-16	3,3 E-08	Brecha volcánica (100 %)	Argílica (69 %), propilítica (31 %)	Falla a los 71,50 m; tipo de relleno de gubia/brecha.	Laminar	129.5 – 233.5
GT/HG-004	2	81,5	120,1	38,6	16-dic-16	1,3 E-08	Brecha volcánica (92 %), flujo de lava andesítica (8 %)	Argílica (92 %), sílice (4,5 %), argílica avanzada (3,5 %)	Falla a los 116,75; tipo de relleno de gubia/brecha; material arcilloso.	Laminar	165.5 – 270.5
GT/HG-004	3	156,8	197,7	40,9	18-dic-16	2,4 E-08	Flujo de lava andesítica (100 %)	Argílica (63 %), argílica avanzada (25 %), propilítica (12 %)		Laminar	62 – 166.5
GT/HG-004	4	205,6	282	76,4	20-dic-16	2,2 E-08	Flujo de lava andesítica (100 %)	Argílica avanzada (37 %), sílice (35 %), propilítica (20 %), argílica (8 %)		Laminar	312- 366.5

Barreno	Prueba No.	Intervalo de Prueba Superior/ Inferior (m)		Longitud (m)	Fecha de la Prueba	Valor Final de K (m/s)	Zonas Geológicas en el Intervalo (% del intervalo)	Alteraciones en el Intervalo (% del intervalo)	Notas	Tipo de Flujo	Presión
GT/HG-005	1	41	76	35	30-nov-16	1,0 E-07	Brecha volcánica (69 %), andesita (13,5 %), brecha diatreme (12 %), gubia (5,5 %)	Argílica (82 %), argílica avanzada (9 %), propilítica (9 %)	Fallas en 42,47, 43,91, 46, 52,91, 55,24, 61,14, 64,56; muchas fracturas mecánicas.	Laminar	119 - 167
GT/HG-005	2	75,9	110	34,1	1-dic-16	1,9 E-07	Toba de lapilli (72 %), gubia y zona de falla (12 %), brecha volcánica (9 %), andesita (7 %)	Argílica (36 %), argílica avanzada (36 %), sílice (28 %)	Fallas en 90,52, 95,3, 108,65; brecha y gubia	Laminar	166 - 265
GT/HG-005	3	110,4	134,5	24,1	2-dic-16	6,7 E-07	Toba de lapilli (47 %), sílice oquerosa residual (40 %), gubia de falla (13 %)	Sílice (100 %)	Fallas en 122,43, 131,25; brecha y gubia	Turbulento	183.5 – 259.5
GT/HG-005	4	134,8	171,1	36,3	3-dic-16	1,2 E-08	Toba de lapilli (36 %), sílice oquerosa residual (30 %), sílice masiva (17 %), arcilla (12 %)	Sílice(53 %), argílica (32 %), argílica avanzada (15 %)		Laminar	62 - 168
GT/HG-005	5	169,9	190,4	20,5	5-dic-16	4,4 E-07	Toba de lapilli (54 %), sílice masiva (38 %), sílice oquerosa residual (8 %)	Sílice(64 %), argílica avanzada (24 %), argílica (12 %)		Turbulento	288 - 367
GT/HG-005	6	184,6	220,7	36,1	7-dic-16	1,4 E-09	Andesita (41 %), toba de lapilli (29 %), sílice masiva (25 %) sílice oquerosa residual (5 %)	Propilítica (50 %), sílice (37 %), argílica avanzada (13 %)		Turbulento	59 - 163
GT/HG-006	1	52,5	79,8	27,3	2-dic-16	5,5 E-07	Flujo de lava andesítica (100 %)	Sílice (100 %)		Laminar	100 - 155

Barreno	Prueba No.	Intervalo de Prueba Superior/ Inferior (m)		Longitud (m)	Fecha de la Prueba	Valor Final de K (m/s)	Zonas Geológicas en el Intervalo (% del intervalo)	Alteraciones en el Intervalo (% del intervalo)	Notas	Tipo de Flujo	Presión
GT/HG-006	2	64,5	79,8	15,3	3-dic-16	1,0 E-06	Flujo de lava andesítica (100 %)	Sílice (100 %)		Laminar	110- 165
GT/HG-006	3	81,2	142,9	61,7	5/12/2016	2,6 E-09	Flujo de lava andesítica (100 %)	Propilítica (63 %), sílice (20 %), argílica avanzada (17 %)		Laminar	60 - 164
GT/HG-006	4	142,5	166,5	24	7/12/2016	6,3 E-09	Flujo de lava andesítica (100 %)	Sílice (75 %), argílica avanzada (25 %)	Falla a 146,56 m; relleno de brecha tipo con arcilla mineral. Falla a 163,3 m; tipo de relleno de brecha	Laminar	61 - 164
GT/HG-006	5	166,8	205,6	38,8	9-dic-16	4,6 E-07	Flujo de lava andesítica (100 %)	Argílica (40 %), sílice (30 %), propilítica (18 %), argílica avanzada (12 %)	Falla a 192,87 m	Laminar	30.5 – 61.5
GT/HG-006	6	203,4	231	27,6	10-dic-16	-	Flujo de lava andesítica (100 %)	Argílica (72 %), argílica avanzada (17 %), propilítica (11 %)	Los datos del transductor de prueba no respondieron a la presión aplicada en la superficie; sin datos del transductor de superficie.	-	-
GT/HG-007	1	53,5	118,8	65,3	12-dic-16	1,6 E-08	Andesita (76 %), toba de lapilli andesítico (24 %)	Sílice(43 %), argílica avanzada (39 %), argílica (18 %)	Falla a 65,3 m; tipo de relleno de brechas y arcillas; mancha de hierro y minerales de hematita. Falla a	Turbulento	62.5 - 163

Barreno	Prueba No.	Intervalo de Prueba Superior/ Inferior (m)		Longitud (m)	Fecha de la Prueba	Valor Final de K (m/s)	Zonas Geológicas en el Intervalo (% del intervalo)	Alteraciones en el Intervalo (% del intervalo)	Notas	Tipo de Flujo	Presión
									90,42 m; tipo de relleno de brechas y arcillas; relleno mineral de caolinita.		
GT/HG-007	2	117,2	155,6	38,4	17-dic-16	5,8 E-07	Toba de lapilli andesítica (48 %), toba de lapilli (36 %), brecha consolidada (8 %), gubia de falla (8 %)	Sílice (72 %), argílica avanzada (28 %)	Falla en 117,17, 119,2, 124,31 127,08 m; brecha y gubia.	Turbulento	143.5 – 161.5
GT/HG-007	3	129,3	155,6	26,3	17-dic-16	4,0 E-07	Toba de lapilli andesítica (47 %), toba de lapilli (41 %), brecha consolidada (8 %)	Sílice (100 %)	Falla a 140,22 m; tipo de relleno de arcilloso/brecha.	-	-
GT/HG-008	1	47	96,1	49,1	7-ene-17	3,5 E-07	Toba de lapilli (43 %), sílice masiva (43 %), flujo de lava andesítica (14 %)	Argílica avanzada (80 %), sílice (20 %)		Turbulento	105 - 154
GT/HG-008	2 <sup>1</sup>	74,4	96,1	21,7	7-ene-17	1,1 E-06	Toba de lapilli (86 %), sílice masiva (14 %)	Argílica avanzada (86 %), sílice (14 %)	Ver la nota 1	Laminar	107 – 134.5
GT/HG-008	3	95,8	137,3	41,5	9-ene-17	1,0 E-06	Sílice masiva (96 %), brecha consolidada (4 %)	Sílice (96 %), argílica avanzada (4 %)		Laminar	17.5 - 28
GT/HG-008	4	135,4	165,6	30,2	9-ene-17	1,3 E-06	Sílice masiva (100 %)	Sílice (100 %)		Laminar	17 – 28.5
GT/HG-008	5	164,4	199,3	34,9	12-ene-17	1,1 E-06	Sílice masiva (63 %), toba de lapilli (37 %)	Argílica avanzada (48 %), sílice (26 %), propilítica (17 %), argílica (9 %)	Falla a 191,60 m; relleno de brecha tipo con arcilla mineral.	Laminar	198 – 207.5

Barreno	Prueba No.	Intervalo de Prueba Superior/ Inferior (m)		Longitud (m)	Fecha de la Prueba	Valor Final de K (m/s)	Zonas Geológicas en el Intervalo (% del intervalo)	Alteraciones en el Intervalo (% del intervalo)	Notas	Tipo de Flujo	Presión
GT/HG-008	6	199,5	231,3	31,8	13-ene-17	2,6 E-09	Toba de lapilli (100 %)	Propilítica (100 %)		Laminar	317.5 - 418
GT/HG-011	1	56,1	86,9	30,8	8-ene-17	2,3 E-07	Flujo de lava andesítica (100 %)	Propilítica (50 %), argílica (25 %), argílica avanzada (15 %), sílice (10 %)		Turbulento	137.5 - 183
GT/HG-011	2	86,6	129,9	43,3	10-ene-17	4,0 E-07	Flujo de lava andesítica (64 %), toba de lapilli (36 %)	Sílice (75 %), argílica avanzada (25 %)		Laminar	21.5 - 50
GT/HG-011	3	129,1	184,4	55,3	12-ene-17	3,6 E-07	Toba de lapilli (60 %), flujo de lava andesítica (40 %)	Sílice (55 %), argílica avanzada (45 %)		Turbulento	27.5 – 55.5
GT/HG-011	4 <sup>1</sup>	159,8	184,4	24,6	12-ene-17	7,3 E-07	Flujo de lava andesítica (88 %), toba de lapilli (12 %)	Argílica avanzada (100 %)	Ver la nota 1	Laminar	25.5 - 55
GT/HG-011	5 <sup>1</sup>	185,7	208,8	23,1	13-ene-17	7,5 E-07	Flujo de lava andesítica (100 %)	Argílica avanzada (49 %), argílica (35 %), sílice (16 %)	Ver la nota 1	Turbulento	26 - 57
Nota: 1. Los flujos superaron los 65 L/min, lo que está fuera del rango del medidor de flujo. Por encima de este rango, es probable que el medidor de flujo mecánico no haya informado los flujos, lo que significa que el caudal y, por lo tanto, K podrían ser más altos de lo calculado.											

Fuente: Monitoreo hidrogeológico INV Minerales.  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, marzo 2022.

Página en blanco

**Tabla 6-125 Conductividad hidráulica promedio de las pruebas tipo Packer por estructuras, litología y categorías de alteración**

<b>Categoría</b>	<b>K Promedio (m/seg)</b>	<b>No. de Pruebas de la Categoría</b>
<b>Todas las Pruebas</b>	4.0E-07	34
<b>Intervalo de Pruebas en Fallas</b>	3.3E-07	11
<b>&gt;90% Silicificación</b>	8.7E-07	7
<b>100% Silicificación o &gt;50% Sílice</b>	1.1E-06	5
<b>Sin Silicificación</b>	1.8E-07	5
<b>&gt;50% Brecha</b>	2.7E-07	5
<b>&gt;50% Toba</b>	3.5E-07	9
<b>&lt;0.50 RQD Mínimo</b>	2.9E-07	10
<b>&gt;0.95 RQD Promedio</b>	4.3E-07	17
<b>Litología Dominante</b>	<b>K Promedio (m/seg)</b>	<b>No. de Pruebas</b>
<b>Brecha Hidrotermal</b>	6.1E-07	2
<b>Toba Andesítica</b>	3.1E-08	2
<b>Brecha Volcánica</b>	4.9E-08	3
<b>Flujo Andesítico</b>	3.8E-07	12
<b>Toba de Lapilli</b>	3.9E-07	8
<b>Andesita</b>	8.8E-09	2
<b>Toba de Lapilli Andesítica</b>	4.9E-07	2
<b>Roca Sílica</b>	1.1E-06	3
<b>Alteración Dominante</b>	<b>K Promedio (m/seg)</b>	<b>No. de Pruebas</b>
<b>Silicificación</b>	5.3E-07	15
<b>Argílica</b>	1.3E-07	8
<b>Argílica Avanzada</b>	6.9E-07	6
<b>Propilítica</b>	6.0E-08	4

Como resumen, en la Tabla 6-125 proporciona la conductividad hidráulica de los diversos tipos de roca.

**Tabla 6-126 La Conductividad Hidráulica (Kh) de los Diversos Tipos de Roca Encontrada Alrededor del PLL**

<b>Unidad Hidrogeológica</b>	<b>Kh Campo (m/día)</b>
Dacita	1,03 x 10-2
Andesita	1,90 x 10-3
Lava	3,28 x 10-2
Lava PG	3,37 x 10-2

Silica	4,58 x 10-2
Mineral del PLL	9,50 x 10-2
Capa Argílica	3,20 x 10-2

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, julio 2020

### Simulación de flujo de agua subterránea

#### *Modelo conceptual*

De acuerdo a la información recolectada dentro de la zona del PLL, se pudo diferenciar dos sistemas hidrogeológicos que gobiernan el sistema, el primero denominado sistema de Páramo que se encuentra en la parte superior, y el denominado sistema Bedrock en la parte inferior.

#### Sistema Páramo

Las aguas subterráneas poco profundas se encuentran en los suelos superficiales y en el material orgánico del sistema de humedales y/o almohadillas a gran altitud, el cual se denomina "páramo". El agua subterránea poco profunda o somera en el sistema de páramo está íntimamente asociada con el agua superficial y se caracteriza por un drenaje deficiente y una baja infiltración (baja permeabilidad) en la roca subyacente. El agua subterránea somera y el agua superficial en el sistema de páramo son las fuentes principales de descarga de agua subterránea en los arroyos y ríos cerca del sitio del PLL. El sistema de páramo esta desconectado hidráulicamente del sistema de agua subterránea más profunda (roca subyacente) debido a que la roca subyacente es de baja permeabilidad esto esta sustentado por los valores de permeabilidad bajos determinados en los ensayos de permeabilidad que se detallan en la Tabla 6-124. La presencia del tipo de roca dentro de la caldera (también llamada "cráter" en esta sección), de forma similar, tiene baja permeabilidad y suelos superficiales de páramo como dentro de la zona de influencia de la mina, lo cual indica que es probable que, tal como se observa dentro del área planificada de la mina, la separación del agua subterránea somera y profunda continúa en las pendientes sobre la parte interior del cráter, que es más plana.

#### Sistema Bedrock

Sistema en la roca subyacente: En el área del PLL, el agua subterránea profunda se encuentra en las fracturas, grietas y juntas dentro de la roca subyacente más profunda que no interactúa con el ecosistema de superficie. La roca subyacente en el área del PLL no es porosa y contiene poca cantidad de agua, que está atrapada dentro de la estructura actual de la roca. Debido a que la cantidad de agua en esta roca subyacente profunda existe principalmente en fracturas y grietas y es pequeña, no cumple con la definición de un acuífero y no es una fuente importante de suministro de agua subterránea a los ríos y quebradas cerca del PLL.

Las aguas subterráneas en el sistema de páramo y en el sistema de roca subyacente cerca del PLL están separadas entre sí por una zona de roca insaturada que tiene un espesor de 10 a 50 m. Esta zona no saturada está formada por una capa de suelos y rocas de baja permeabilidad en la base del sistema de páramo. Esta capa de baja permeabilidad reduce la infiltración en el sistema de roca subyacente. Así como la infiltración de agua subterránea en el sistema de roca subyacente es limitada, el sistema de páramo permanece pobremente drenado y altamente saturado, sin contacto directo entre el ecosistema de la superficie y el agua subterránea profunda. La pequeña cantidad de agua que se infiltra a través de la base del sistema de páramo sigue grietas y juntas en rocas insaturadas, hasta que encuentra el nivel freático dentro del sistema de la roca subyacente más profunda.

Debido a que el agua subterránea en el sistema de páramo y la del sistema de roca subyacente están separadas por una zona de roca subyacente insaturada, los cambios en los niveles de agua subterránea de la roca subyacente no afectarán los niveles de agua subterránea en el sistema de páramo. La cantidad de agua subterránea que se infiltra hacia abajo, desde el sistema de páramo, está limitada por la

permeabilidad de los suelos y las rocas en su base. Por lo tanto, a medida que los niveles de agua subterránea en el sistema de roca subyacente cambien como resultado de la actividad minera, los niveles de agua en el sistema de páramo no se verán afectados.

Una representación gráfica del modelo se muestra en la Figura 6-185:

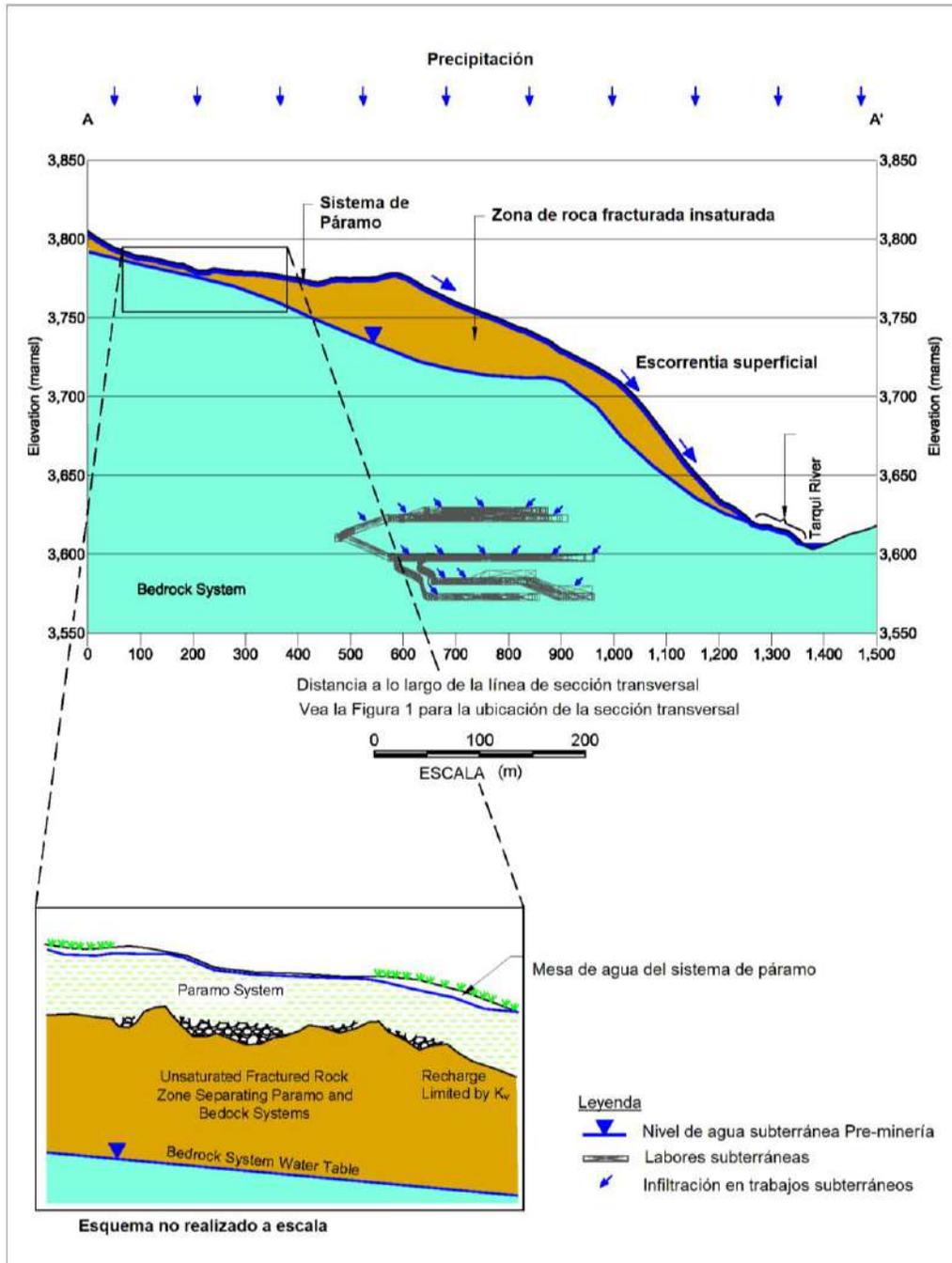


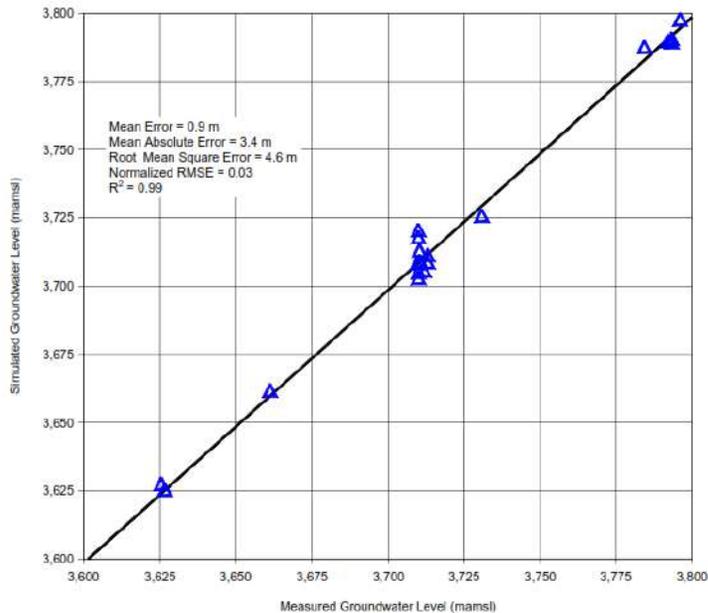
Figura 6-185 Modelo Conceptual Hidrogeológico de la Mina Loma Larga

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, julio 2020

### Calibración modelo

Una vez determinado el modelo conceptual, se procedió a la calibración del modelo en base a las observaciones medidas en campo correspondientes a niveles piezométricos, valores de permeabilidad representados por la conductividad hidráulica y a los valores correspondientes a los caudales base de las estaciones hidrológicas en el PLL.

En primer lugar, el modelo de agua subterránea construido fue capaz de simular los niveles de agua que se compararon muy estrechamente con los niveles de agua observados en piezómetros en todo el sitio. La Figura 6-186 muestra la comparación entre los niveles simulados y observados en donde se puede ver gran similitud entre dichos valores.



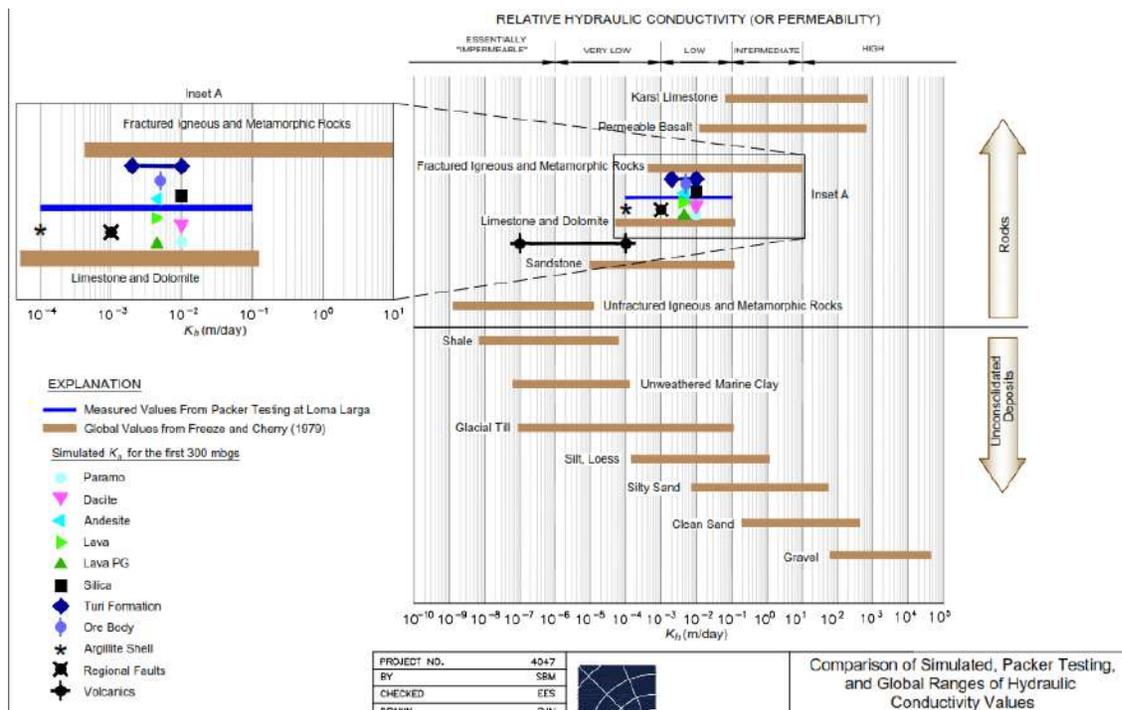
**Figura 6-186 Comparación entre niveles piezométricos simulados y observados dentro del PLL.**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, julio 2020

El  $r^2$ , o medida de ajuste de los niveles de agua subterránea medidos y simulados, es 0,99, lo que indica que el nivel simulado de agua subterránea del modelo representa bien la distribución de los niveles de agua subterránea medidos dentro del PLL. El residual (es decir, la diferencia entre los datos de nivel de agua subterránea medidos y simulados) se distribuye uniformemente en los amplios rangos de los niveles de agua subterránea medidos sin sesgos evidentes en los resultados del nivel de agua subterránea simulado. El NRMSE calculado es 0,03, que es inferior al NRMSE máximo aceptable de 0,1, lo que indica un modelo bien calibrado. ME, MAE y RMSE son 0,9 m, 3,4 m y 4,6 m, respectivamente.

De igual forma la Figura 6-187 muestra la ubicación de los valores de conductividad hidráulica simulados con respecto a los valores observados en las pruebas tipo Packer, en donde se puede ver que los valores caen dentro del rango por lo que se considera que la calibración del parámetro de permeabilidad es adecuada.

El valor de kh simulado en los primeros 300 m b.n.s. de roca son comparables a los rangos globales de kh para rocas ígneas y metamórficas fracturadas y están dentro del rango de valores de kh estimado en campo (Figura 6-187). El kh y kv simulado de las rocas volcánicas por debajo de los primeros 300 m b.n.s. disminuyeron con la profundidad. En general, los valores de K se redujeron un orden de magnitud cada 1.000 m de profundidad por debajo de la elevación de la superficie del suelo.



**Figura 6-187** Valores de conductividad hidráulica simulada con el modelo hidrogeológico vs la observada en campo dentro del PLL.

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, julio 2020

En cuanto a los valores de flujo base, las estaciones, Cristal y Quinuahuaycu tienen caudales base simulados de aproximadamente 1,3 y 1,7 l/s, respectivamente. Los flujos base simulados son comparables al flujo base estimado de aproximadamente 0 a 5 l/s. En el Río Bermejós, el flujo base simulado es de aproximadamente 5 l/s, que está en el extremo inferior del rango de flujo base estimado de 0 a 100 L/s. Las razones de la diferencia entre el flujo base simulado y medido en el Río Bermejós debe evaluarse más a fondo con un mayor registro de monitoreo de flujo en el Río Bermejós. En D1, el flujo base simulado es de aproximadamente 10 L/s, que es comparable al caudal base estimado de 0 a 25 L/s.

### Validación del Modelo

Luego de la construcción del modelo conceptual y de la calibración del modelo, se procedió a validar estos con información adicional como se describe a continuación. La Tabla 6-127 muestra todos los valores medidos en los 42 sitios seleccionados, se puede observar que los valores de temperatura se encuentran entre 8°C y 13.49°C, con un promedio de 10.03°C, mientras que en el caso del pH el rango fue entre 5.45 y 7.96, con promedio de 6.91. Por otro lado, los valores de EC oscilan entre 0.54µS/cm y 186.04µS/cm, con un promedio de 50.67µS/cm, y finalmente los valores de TDS se encuentran entre 0.35ppm a 120.92ppm, con un promedio de 32.67ppm. Esto refleja que no existen diferencias significativas o anomalías en los valores de temperatura y pH, por lo que la identificación de los manantiales se enfocó en las anomalías presentes en las mediciones de EC (Figura 6-188).

**Tabla 6-127 Valores medidos en los sitios de monitoreo seleccionados dentro de la zona de influencia del PLL. Datum WGS 84.**

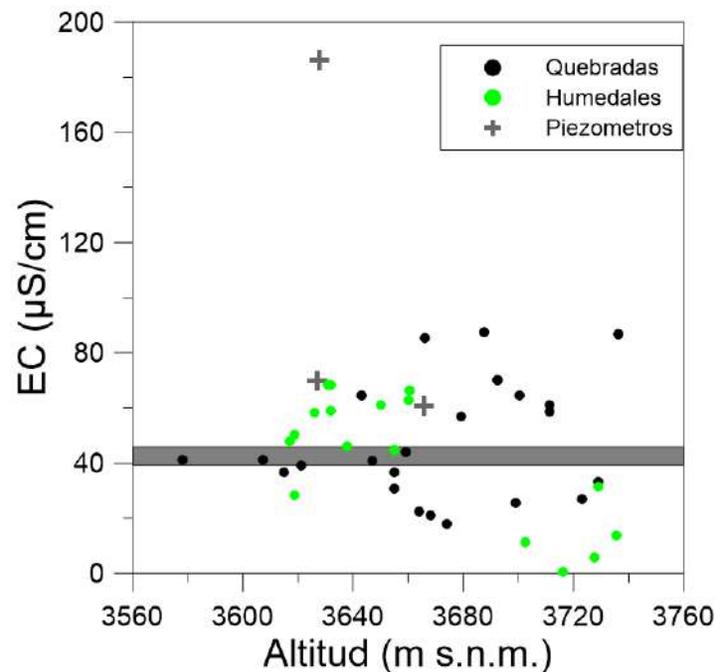
Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)	pH	Temperatura (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	
Q-01	699105	9663794	3621	7.33	10.77	39.11	25.42	Sitio en quebrada
Q-02	698921	9663731	3659	7.22	9.08	43.87	28.51	Sitio en quebrada
Q-03	698900	9663719	3668	6.90	8.88	20.90	13.59	Sitio en quebrada
Q-04	698880	9663705	3674	7.05	8.55	18.11	11.77	Sitio en quebrada
Q-05	698476	9663913	3729	6.99	8.18	33.09	21.62	Sitio en quebrada
Q-06	698621	9663921	3723	7.25	9.75	27.07	17.60	Sitio en quebrada
Q-07	698783	9663931	3699	7.45	8.00	25.47	16.56	Sitio en quebrada
Q-08	698966	9663884	3647	7.34	9.14	40.77	26.50	Sitio en quebrada
Q-09	698961	9663683	3655	7.07	10.72	36.73	23.87	Sitio en quebrada
Q-10	698927	9663716	3664	7.10	8.79	22.34	14.52	Sitio en quebrada
Q-11	698895	9663379	3578	7.20	9.54	41.14	26.74	Referencia Quinuahuayco antes de Junta con ZS-01
Q-12	698973	9663273	3607	7.51	9.68	41.30	26.85	Referencia Quinuahuayco después de Junta con ZS-01
Q-13	699082	9663293	3655	6.68	9.73	30.98	20.14	Sitio en quebrada
Q-14	699253	9663372	3615	7.07	9.74	36.88	23.97	Sitio en quebrada
H-01	699004	9663753	3638	7.14	9.16	45.99	29.89	A la salida del humedal
H-02	698650	9663428	3655	7.13	8.43	44.58	28.98	Salida de humedal de aporte
H-03	698959	9663090	3619	5.96	13.49	28.43	18.45	Referencia Humedal
H-04	698535	9662910	3728	6.48	11.55	5.78	3.76	Referencia Humedal

Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)	pH	Temperatura (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	
								quebrada Q-13
H-05	698538	9662904	3729	6.58	8.97	31.51	20.48	Referencia Humedal quebrada Q-13 más abajo
H-06	698532	9662794	3735	7.09	9.63	13.69	8.90	Referencia humedal de aporte Q-13 otro ramal
H-07	698634	9662834	3703	6.66	11.32	11.46	7.45	Referencia humedal de aporte Q-13 otro ramal
H-08	698502	9663298	3716	6.14	12.40	0.54	0.35	A la salida del humedal
LLDHG009	698897	9662947	3627	6.92	10.72	186.04	120.92	Piezómetro INV
LLDHG009A	698899	9662949	3626	6.14	10.43	69.90	45.43	Piezómetro INV
LLDHG010	698602	9663556	3665	6.58	10.83	60.82	27.84	Piezómetro INV
WS-1	698925	9663668	3666	7.47	9.58	85.46	55.55	Sitio en quebrada
				7.48	9.92	89.50	58.18	Sitio en quebrada
WS-1.1	698617	9663300	3687	6.89	9.67	87.62	56.95	Origen del manantial
WS-2	699009	9663574	3643	7.32	9.04	64.59	41.99	Sitio en quebrada
WS-2.1	698678	9663163	3679	7.43	9.08	56.69	36.85	Aguas arriba de WS-2
WS-2.2	698607	9663140	3700	7.06	9.03	64.56	41.97	Aguas arriba de WS-2
WS-2.3	698587	9663132	3711	7.54	9.15	61.21	39.79	Aguas arriba de WS-2
WS-2.4	698588	9663123	3711	7.61	9.30	58.73	38.18	Aguas arriba de WS-2
WS-2.5	698531	9663093	3736	6.17	10.87	86.90	56.49	Origen del manantial WS-2
WS-3	698620	9663188	3692	7.96	10.40	70.22	45.64	Origen del manantial WS-3
ZS-01	699091	9663676	3631	6.96	9.57	68.27	44.38	Salida de humedal

Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)	pH	Temperatura (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	
ZS-02	699160	9663524	3617	6.58	12.30	47.98	31.17	Salida de humedal
ZS-03	698887	9663188	3619	7.14	13.09	50.13	32.59	Humedal de aporte
ZS-04	698851	9662843	3661	5.45	10.78	66.32	43.12	Humedal de aporte
				6.03	10.99	68.17	44.28	
ZS-05	699122	9663415	3632	6.67	10.21	68.48	44.52	Salida de humedal
ZS-06	698838.912	9663036.09	3650	6.02	10.17	61.11	39.72	Humedal de aporte
ZS-07	699163	9663390	3626	6.34	10.50	58.19	37.83	Humedal
ZS-08	699076	9663498	3632	6.75	10.03	58.96	38.32	Humedal

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020. Datum WGS 84.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.



**Figura 6-188** Comparación de los valores de conductividad medidos en los sitios de monitoreo y la altitud. La barra gris indica el umbral encontrado entre 44 y 46 µS/cm, una anomalía en valores de EC se identifica por encima del umbral y que permite identificar manantiales y zona seep.

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Los valores de referencia se seleccionaron al compararlos con los medidos en los piezómetros y con los valores correspondientes a unidades hidrográficas vecinas, como la Cristal, en donde se ha demostrado

que el aporte de aguas subterráneas es despreciable dando como resultado valores de EC alrededor de 40  $\mu\text{S/cm}$  a 50  $\mu\text{S/cm}$  (Mosquera et al., 2016). Esto se muestra en la Figura 6-188 donde se identifican dos grupos de agua bien definidos en los sitios medidos en este estudio, uno con valores bajos de EC que están por debajo de entre 44  $\mu\text{S/cm}$  a 46  $\mu\text{S/cm}$  y un segundo grupo que se encuentran alrededor de los piezómetros y con mayores conductividades. Este umbral de identificación de anomalías es coherente entre los valores de EC medidos en agua de humedales y de quebradas (existen valores de humedales y quebradas hasta el umbral seleccionado) lo cual corrobora que el valor de 46  $\mu\text{S/cm}$  puede ser usado para identificar anomalías lo cual se evidencia en la Figura 6-188. Detalles sobre los valores de anomalías se presentan en las siguientes secciones.

#### *Sitios de referencia (Quebradas, humedales y piezómetros)*

Luego de identificado el valor de 46  $\mu\text{S/cm}$  como umbral para identificar una anomalía de EC (Figura 6-188) se procedió a dividir caracterizar los sitios de quebradas, humedales y piezómetros. Los valores presentados en la Tabla 6-128 son los correspondientes a los sitios dentro de las quebradas que pueden ser utilizados como referencia de la zona y de agua de quebradas sin anomalías evidentes, es decir; no se encuentran mezclados con agua profunda, o el porcentaje de agua profunda es muy bajo como para alterar los valores de los parámetros medidos.

**Tabla 6-128 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de quebradas. Datum WGS 84.**

Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	TDS (ppm)	
Q-01	699105	9663794	3621	7.33	10.77	39.11	25.42	Sitio en quebrada
Q-02	698921	9663731	3659	7.22	9.08	43.87	28.51	Sitio en quebrada
Q-03	698900	9663719	3668	6.90	8.88	20.90	13.59	Sitio en quebrada
Q-04	698880	9663705	3674	7.05	8.55	18.11	11.77	Sitio en quebrada
Q-05	698476	9663913	3729	6.99	8.18	33.09	21.62	Sitio en quebrada
Q-06	698621	9663921	3723	7.25	9.75	27.07	17.60	Sitio en quebrada
Q-07	698783	9663931	3699	7.45	8.00	25.47	16.56	Sitio en quebrada
Q-08	698966	9663884	3647	7.34	9.14	40.77	26.50	Sitio en quebrada
Q-09	698961	9663683	3655	7.07	10.72	36.73	23.87	Sitio en quebrada
Q-10	698927	9663716	3664	7.10	8.79	22.34	14.52	Sitio en quebrada

Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	
Q-11	698895	9663379	3578	7.20	9.54	41.14	26.74	Referencia Quinuahuayco antes de Junta con ZS-01
Q-12	698973	9663273	3607	7.51	9.68	41.30	26.85	Referencia Quinuahuayco después de Junta con ZS-01
Q-13	699082	9663293	3655	6.68	9.73	30.98	20.14	Sitio en quebrada
Q-14	699253	9663372	3615	7.07	9.74	36.88	23.97	Sitio en quebrada

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Se puede observar que los sitios seleccionados se encuentran distribuidos por toda la zona de estudio (Tabla 6-129) y que valores de los parámetros de calidad del agua en las quebradas de referencia se encuentran en el rango entre pH 6.68 a pH7.51, 8°C a 10.67°C para temperatura, 18.11µS/cm a 43.87 µS/cm para EC, y 11.77ppm a 28.51ppm para TDS. Al analizar la EC, se puede decir que los valores cercanos a 20uS/cm corresponde a los sitios que se encuentran más cerca de la cumbre, por lo que están conformados por agua más superficial, mientras que los valores cercanos a 40uS/cm corresponden a sitios más abajo en donde ya existe aporte de humedales, por lo que se produce ese aumento.

Por otro lado, la Tabla 6-129 muestra los valores de referencia obtenidos para el agua de los suelos (humedales), los cuales también se fueron distribuidos por toda la zona de estudio (Tabla 6-130). Se puede observar que los valores medidos en el agua de los suelos (humedales) se encuentran dentro del rango entre pH 5.96 a pH 7.14, 8.43°C a 13.49°C para temperatura, 11.46µS/cm a 45.99 µS/cm para EC, y 0.35ppm a 29.89ppm para TDS. Cabe resaltar que si bien existieron valores de EC menores (sitios H-04 y H-08), estos sitios corresponden a humedales que se encuentran en la cumbre, por lo que el agua es mayormente proveniente directamente de la precipitación, produciendo los valores extremadamente bajos, representando más la EC de la precipitación que de los suelos, por lo que no se consideraron dentro del rango de referencia de los suelos. Así, los valores menores de conductividad corresponden a altitudes mayores, y al ir disminuyendo los humedales aumentan la conductividad, por lo que el valor considerado como referencia para identificar una anomalía corresponde a 46µS/cm como se dijo antes y es muy coherente con los valores de EC en las quebradas.

**Tabla 6-129 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de suelos. Datum WGS 84.**

Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC (μS/cm)	TDS (ppm)	
H-01	699004	9663753	3638	7.14	9.16	45.99	29.89	A la salida del humedal
H-02	698650	9663428	3655	7.13	8.43	44.58	28.98	Salida de humedal de aporte
H-03	698959	9663090	3619	5.96	13.49	28.43	18.45	Referencia Humedal
H-04	698535	9662910	3728	6.48	11.55	5.78	3.76	Referencia Humedal quebrada Q-13
H-05	698538	9662904	3729	6.58	8.97	31.51	20.48	Referencia Humedal quebrada Q-13, más abajo
H-06	698532	9662794	3735	7.09	9.63	13.69	8.90	Referencia humedal de aporte Q-13 otro ramal
H-07	698634	9662834	3703	6.66	11.32	11.46	7.45	Referencia humedal de aporte Q-13 otro ramal
H-08	698502	9663298	3716	6.14	12.40	0.54	0.35	Referencia Humedal cumbre

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Finalmente, la Tabla 6-130 muestra los valores obtenidos para los 3 piezómetros monitoreados dentro del área geográfica (Figura 6-189). Se puede observar que el piezómetro cuya profundidad es de 15m (LLDHG010) tiene un valor de EC de 60.82 μS/cm menor al de 12m (LLDHG009A) cuyo valor fue de 69.90 μS/cm, esto se debe a que el piezómetro LLDHG010 se encuentra en una posición superior, muy cerca a la cumbre por lo que el agua que se encuentra circulando, a ese nivel, no es muy profunda, mientras que el LLDHG009A se encuentra en una posición de ladera más baja, por lo que el agua tiene mayor contacto con la secuencia volcánica más profunda, aumentando su EC. Por otro lado, el LLDHG009 posee una EC de 186.04 μS/cm mucho mayor debido a la mayor profundidad del mismo (22.86m). Estos valores nos permiten tener una idea de la EC del agua más profunda. Aguas mas profundas tendrán valores de EC mayores.

**Tabla 6-130 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de agua subterránea (piezómetros). Datum WGS 84.**

Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	
LLDHG009	698897	9662947	3627	6.92	10.72	186.04	120.92	Piezómetro INV
LLDHG009A	698899	9662949	3626	6.14	10.43	69.90	45.43	Piezómetro INV
LLDHG010	698602	9663556	3665	6.58	10.83	60.82	27.84	Piezómetro INV

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

#### Manantiales encontrados (sitios en caudal con anomalías)

Una vez determinados los valores de referencia y clasificados los sitios de referencia, se pudo determinar los sitios que presentaron anomalías (valores por encima del umbral definido de 46 µS/cm). La Tabla 6-131 muestra los sitios de origen de los tres manantiales (fuente natural de agua que fluye a partir de aguas subterráneas, atraviesa la roca, sedimento o suelo y luego fluye sobre la superficie de la tierra) encontrados con los resultados de los parámetros medidos, y se puede observar claramente que los valores de EC están muy por encima de los valores de referencia con valores superiores a 85 µS/cm para WS-1 y WS-2 (87.62 µS/cm y 86.9 µS/cm respectivamente), mientras que para WS-3 fue mayor a 70 µS/cm (70.22 µS/cm). No se encontró anomalías evidentes para pH y Temperatura en los humedales. Esto nos lleva a concluir que son aguas poco profundas. La Tabla 6-131 muestra únicamente los sitios en los que se originan los manantiales.

**Tabla 6-131 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de quebrada designados como manantiales (solo se presentan en la tabla los orígenes de los manantiales). Datum WGS 84.**

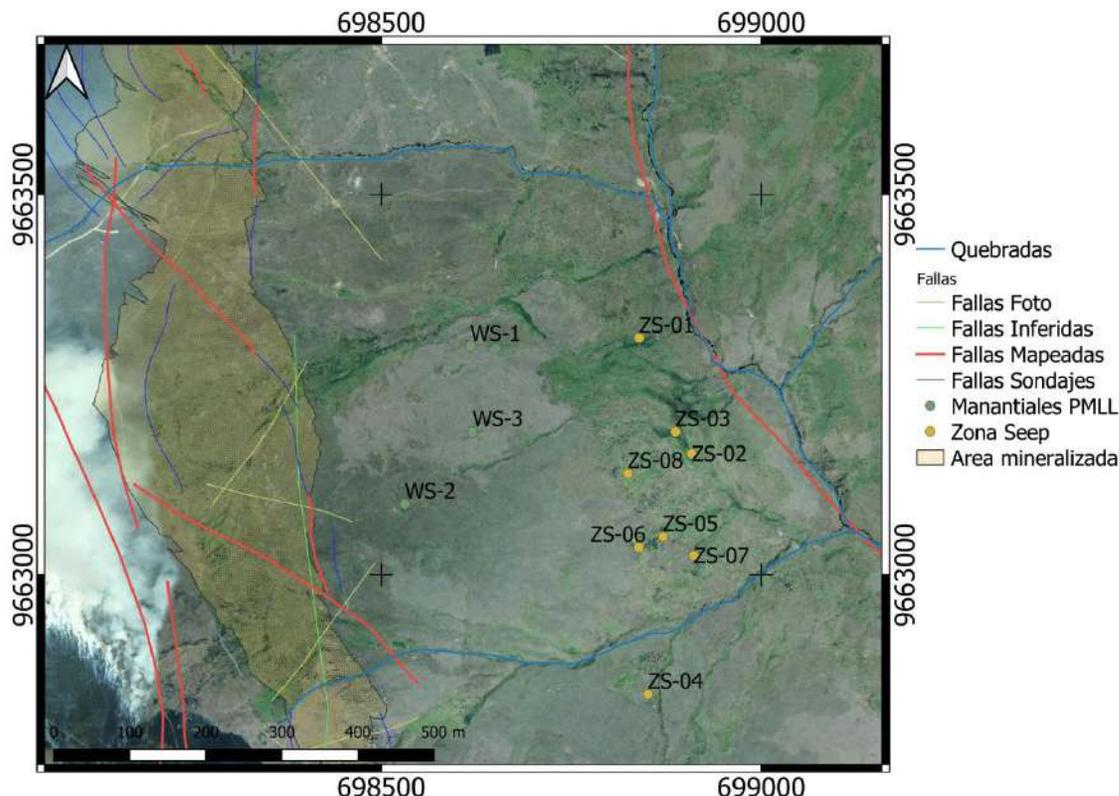
Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	
WS-1	698617	9663300	3687	6.89	9.67	87.62	56.95	Origen del manantial
WS-2	698531	9663093	3736	6.17	10.87	86.90	56.49	Origen del manantial
WS-3	698620	9663188	3692	7.96	10.40	70.22	45.64	Origen del manantial

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

La presencia de los manantiales en los sitios que se encuentran cerca entre sí (Figura 6-189) y los valores similares de EC alrededor de 80 µS/cm en donde nacen (WS-1, WS-2, y WS-3), que se pueden observar

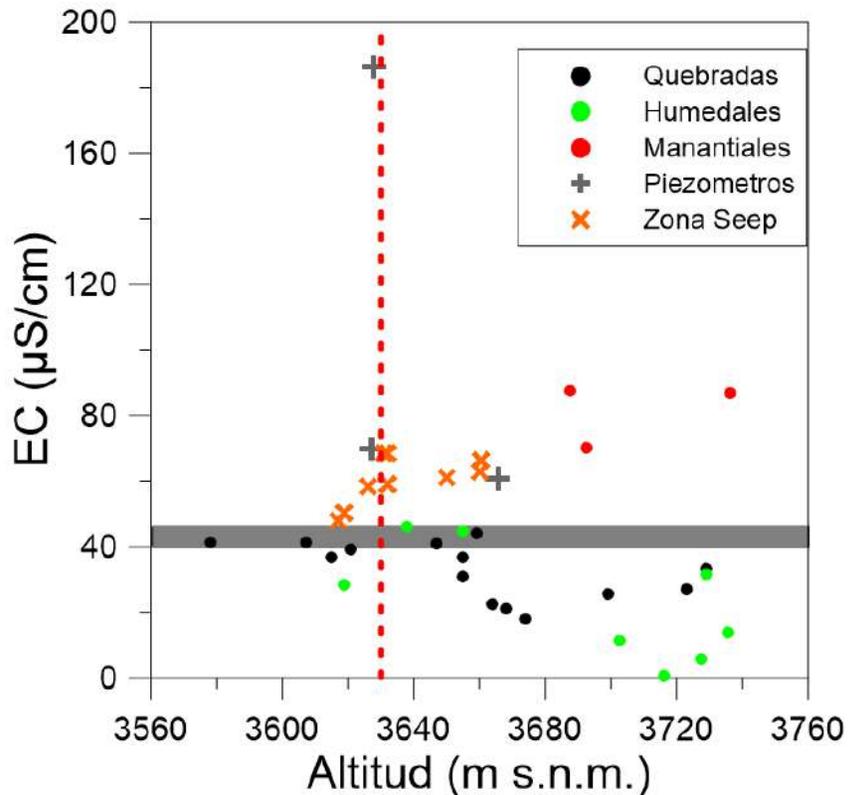
están controlados tanto por la volcano-estratigrafía, ya que los tres sitios se ubican en la zona de contacto de dos flujos de lavas, siendo los contactos litológicos una zona de discontinuidad que genera una permeabilidad secundaria a estas zonas. Adicionalmente y de manera relevante debemos citar que los tres manantiales se encuentran localizados dentro de la extensión de un corredor estructural NW-SE, identificado en los trabajos de perforación, el cual constituye uno de los tres principales dominios estructurales presentes en la zona. Estas zonas de fallamiento pueden conducir el flujo de agua de infiltración, con más razón si estos sitios se ubican a mitad de pendiente hacia la quebrada Quinuahyucu, por lo que el flujo se ve favorecido por la acción de la gravedad hacia el Este.



**Figura 6-189 Mapa de la zona de estudio con los sitios correspondientes a Manantiales y Zona Seep.**

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

En la Figura 6-190 se pueden observar los valores correspondientes a EC de todos los sitios, separados en valores de referencia de quebradas, humedales, piezómetros, manantiales, y la llamada zona seep (Zona donde el nivel de agua subterránea coincide con la topografía superficial, produciendo una descarga difusa de agua subterránea a la superficie). Se puede identificar los 3 manantiales encontrados (puntos rojos), cuyos valores se encuentran muy por encima del umbral seleccionado y cuya fuente de agua subterránea, según los valores de EC de los piezómetros, está entre los 12 y 22 m de profundidad lo cual corresponde al sistema poco profundo de páramo descrito en la sección 6.1.2.1.3 del presente informe.



**Figura 6-190** Identificación de valores atípicos en base a los valores de EC y altitud dentro de la zona de influencia del PLL.

La barra gris indica el umbral encontrado entre 44 y 46  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , una anomalía en valores de EC se identifica por encima del umbral y que permite identificar manantiales y zona seep. La línea roja entrecortada representa la altitud a la que se ubica la zona seep de acuerdo al memorando técnico “Soporte del EIA sobre geoquímica y agua subterránea de Loma Larga” presentado por ITASCA.

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Zona Seep (sitios en humedales con anomalías)

Adicionalmente, se identificaron sitios en las quebradas que presentaron anomalías, pero al rastrear la fuente de las mismas la quebrada se perdía al llegar a zonas con humedales que se encuentra al este de los sitios y cercanos a la quebrada Quinuahuaycu. Todos los sitios estuvieron localizados en una misma zona (sur este) y ligados a una zona de humedales. Una vez localizados estos humedales, se realizaron medidas en el agua del suelo del humedal con lo que se encontró valores por encima de las referencias (Tabla 6-132).

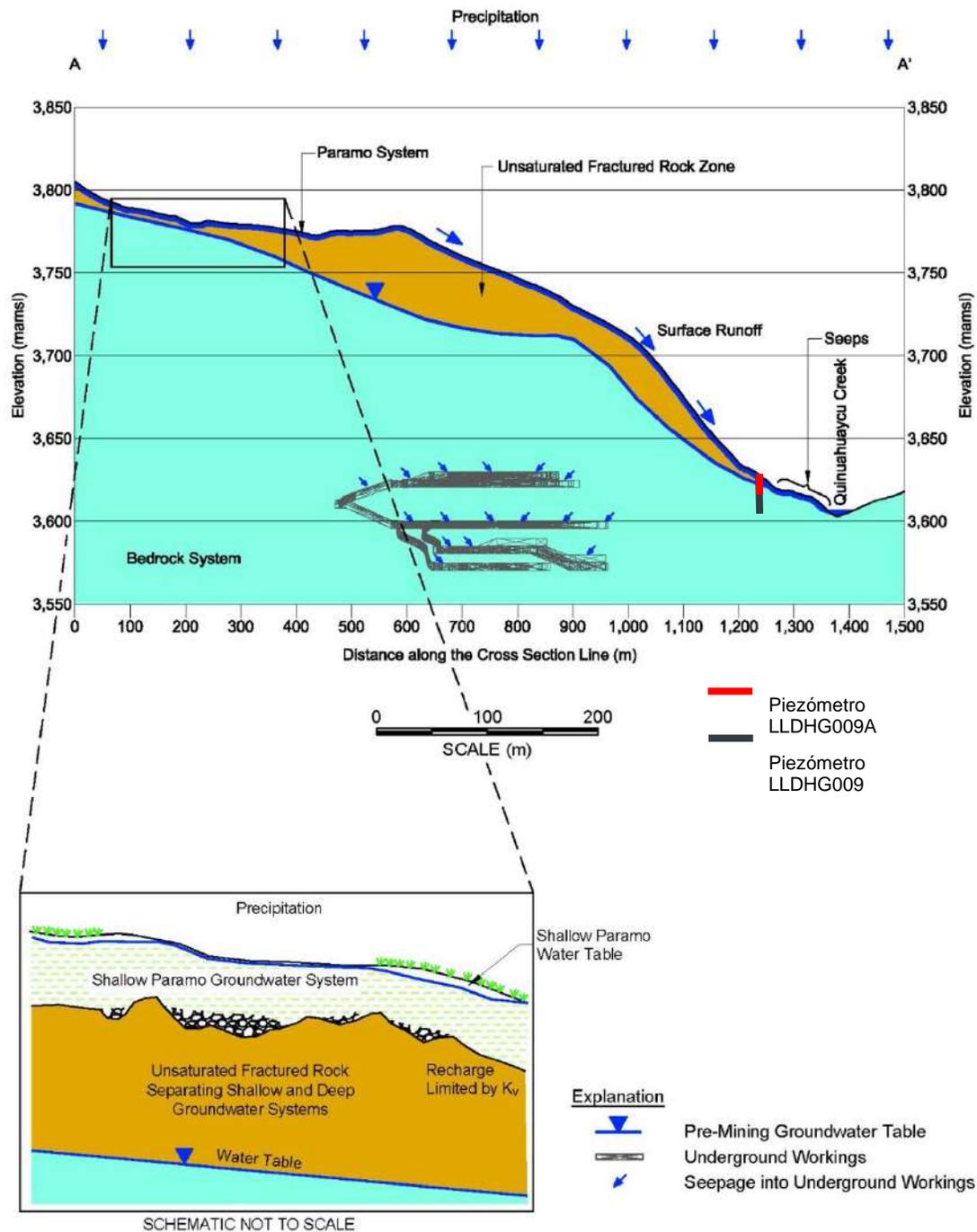
**Tabla 6-132** Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de humedales cuyos valores presentan anomalías. Datum WGS 84.

Código de punto	Coordenadas			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación	pH	Temperatura (°C)	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (ppm)	
ZS-01	699091	9663676	3631	6.96	9.57	68.27	44.38	Salida de humedal

ZS-02	699160	9663524	3617	6.58	12.30	47.98	31.17	Salida de humedal
ZS-03	698887	9663188	3619	7.14	13.09	50.13	32.59	Humedal de aporte
ZS-04	698851	9662843	3661	5.45	10.78	66.32	43.12	Humedal de aporte
				6.03	10.99	68.17	44.28	
ZS-05	699122	9663415	3632	6.67	10.21	68.48	44.52	Salida de humedal
ZS-06	698838	9663036	3650.12329	6.02	10.17	61.11	39.72	Humedal de aporte
ZS-07	699163	9663390	3626	6.34	10.50	58.19	37.83	Humedal
ZS-08	699076	9663498	3632	6.75	10.03	58.96	38.32	Humedal

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.  
Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

En la Figura 6-190 se puede observar que los valores de EC se encuentran por encima de las referencias de los humedales y quebradas, lo que sugiere que esta zona de humedales corresponde a una zona seep de las aguas subterráneas lo cual fue identificado en el estudio de aguas subterráneas (ver Figura 6-191), es decir; que toda esta zona de humedales se encuentra alimentada por el aporte de aguas subterráneas. Esto se debe a que el nivel freático del agua subterránea alcanza la superficie en la zona de ladera antes de llegar a la quebrada Quinuahuyacu. Esto produce en dicha zona que generalmente están cubierta por depósitos morrénicos y de aluvión, que tienen una alta permeabilidad por su composición de rodados de diferentes tamaños y matriz de suelos, arcillas y clastos mal clasificados, lo que permite se produzcan manantiales difusos que se definen como un manantial en el que la descarga se produce a través de numerosos y pequeños lugares de salida, por lo que los valores de EC superiores al de los humedales de referencia. Esto se observa claramente en el mapa geológico, estos sitios se encuentran en los bordes al E y SE del cuerpo de morrena mapeado en el sector.



**Figura 6-191** Esquema de la zona de descarga de aguas subterráneas de la zona de influencia del proyecto minero "Loma Larga". Las líneas roja y negra indican la ubicación y profundidad a escala de los piezómetros LLDHG009A y LLDHG009, respectivamente.

Fuente: ITASCA memorando técnico "Soporte del EIA sobre geoquímica y agua subterránea de Loma Larga"

También se puede observar en la Figura 6-190 que los valores de EC dentro de la zona seep son valores similares a los presentados por los piezómetros de 12m y 15m (LLDHG-009A y LLDHG-010, respectivamente), y dado que el piezómetro LLDHG-009A está en contacto con la zona seep, se puede asumir que los valores encontrados en estos humedales corresponden a dicha zona, a pesar de que existen sitios con altitudes mayores, ya que la altitud de esta zona puede variar de acuerdo con la morfología de la ladera. Los valores de EC no son tan altos como el del piezómetro LLDHG-009 (186.04  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo cual implica que el volumen de agua transportada en el sistema de páramo es mucho mayor al sistema de roca subyacente (bedrock) (ver Figura 6-191). Esto anterior causa una dilución del agua y mantiene las propiedades del agua más superficial del sistema de páramo.

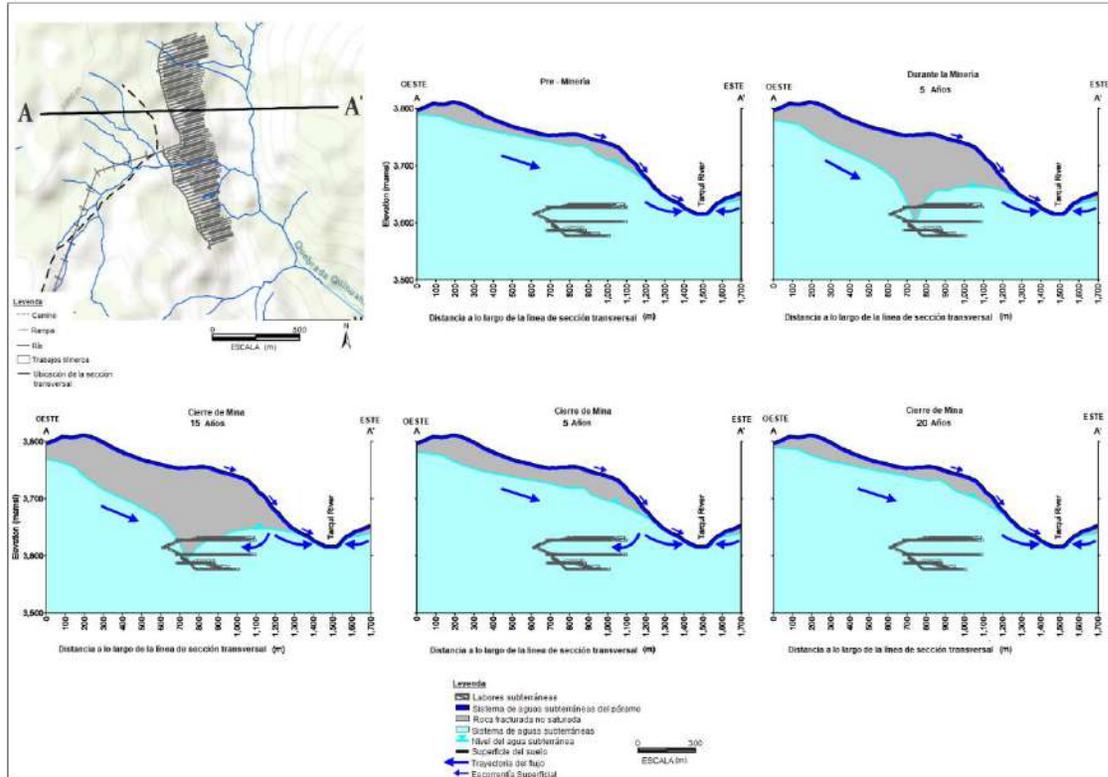
Con esta información se puede comprobar que el modelo conceptual planteado es correcto con lo que muestra una representación bastante acertada de la realidad de la hidrogeología de la zona del PLL. Con lo que se garantiza que los resultados obtenidos a continuación son válidos para estimar el impacto del PLL sobre la hidrogeología del sector.

### *Simulación de la elevación de la tabla de agua para las diferentes etapas del proyecto*

La cantidad de flujo de agua subterránea previo a la minería indica que, antes de la minería, el flujo hacia el dominio es principalmente a través de la recarga y los cuerpos de agua superficial a mayor altura y se equilibra con el flujo fuera del dominio a través de la evapotranspiración y el flujo de la corriente en elevaciones más bajas de la superficie del suelo.

La recarga neta es de 23 l/s, lo que equivale a 4,4 mm/año en todo el dominio del modelo. En comparación con la precipitación promedio de 960 a 1150 mm/año, el modelo muestra una recarga al sistema de agua subterránea del lecho rocoso de aproximadamente 0,4% a 0,5% del promedio anual de precipitación. Esta recarga simulada está respaldada por los bajos valores de K del lecho rocoso obtenidos de la investigación de campo. La baja tasa de recarga también indica que la tasa de filtración a la mina en funcionamiento será relativamente bajo debido a la falta de gran infiltración de la precipitación al sistema de agua subterránea de lecho rocoso.

Como se muestra en la Figura 6-192, la capa de agua subterránea de la roca subyacente deprimida que rodea la mina estará en su mayor extensión en el año 15, cuando las instalaciones de la mina estén en su mayor extensión antes del cierre. Después del cierre de la mina, cualquier instalación remanente en la mina subterránea se llenará con relaves cementados y se permitirá que toda la mina se inunde. Una vez que la mina se llena e inunda, la zona de depresión de la capa freática comenzará a recuperarse y volverá a las condiciones normales experimentadas antes de la minería. Esta recuperación de los niveles de agua subterránea ocurrirá en más de 5 años, tiempo durante el cual el agua subterránea en las cercanías de la mina fluirá hacia estas instalaciones. En el año 20, los niveles de agua subterránea en el sistema de la roca madre se recuperarán por completo, y el agua subterránea en el sistema de roca subyacente reanudará su ruta de flujo original antes de la extracción.

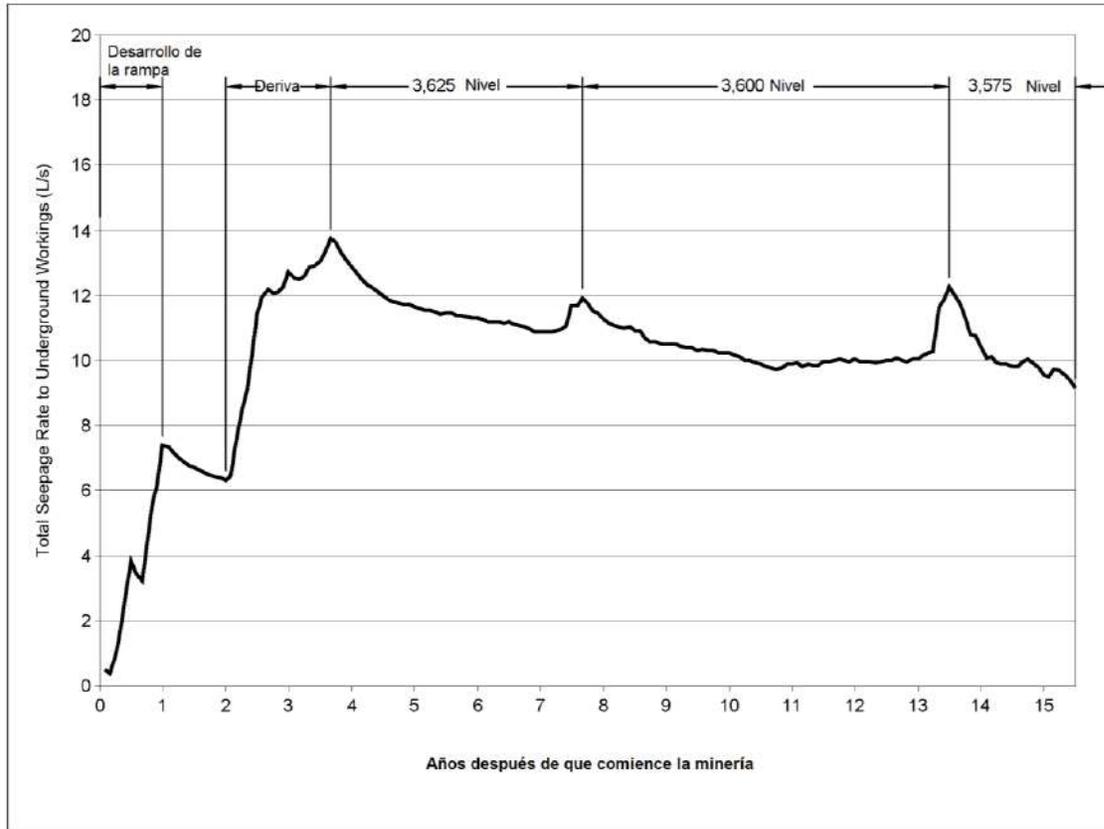


**Figura 6-192 Sección Transversal de Elevación Simulada de la Tabla de Agua a lo largo de la Vida de la Mina**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
Recopilación: Entrix, julio 2020

Taza de ingreso de agua prevista a la mina subterránea

La Figura 6-193 muestra las tasas proyectadas de desagüe o drenaje en función del tiempo. Esta figura muestra que el bombeo de agua iniciará durante el año 0, con un valor pico máximo de 14 L/s en el año 4, y cesará luego del año 15.



**Figura 6-193 Simulación de las Tazas de Ingreso de Agua Previstas a la Mina Subterránea en el PLL**

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2020  
Recopilación: Entrix, julio 2020

#### Abatimiento de los niveles de agua subterránea

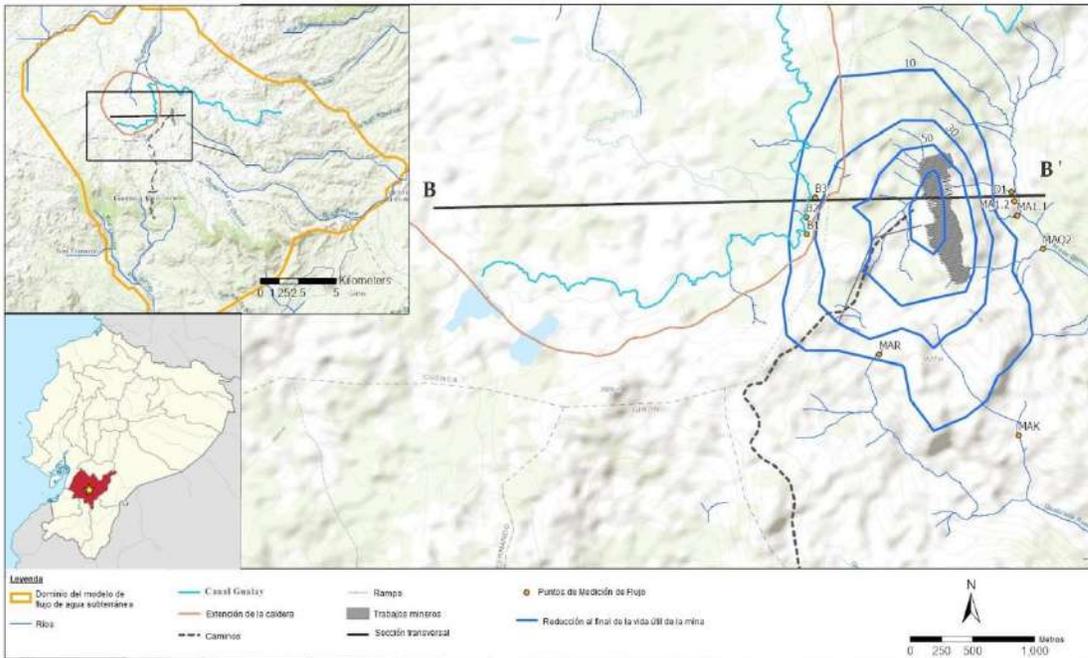
Como el agua subterránea poco profunda en el sistema de páramo no está conectada al agua subterránea profunda en el sistema de roca subyacente, el modelo de flujo de agua subterránea predice que no habrá una disminución en los niveles de agua en el sistema de páramo poco profundo como resultado de la actividad de drenaje de la mina. Dado que el agua subterránea en el sistema de páramo se ubica por encima de las instalaciones de la mina, no hay necesidad de eliminar el agua del páramo para implementar la minería de manera segura. La hidrología de las aguas subterráneas y superficiales en el sistema de páramo probablemente no se verá afectada por el drenaje de la mina.

El cambio en los niveles de agua, o reducción, que se generara a partir del desagüe de la mina, indica una reducción de aproximadamente 10 m alrededor de las estaciones de muestreo B1, B2 y B3, como se indica en la Figura 6-194. Además, en la figura, se puede observar el efecto del desagüe de la mina antes y después de las operaciones, con una vista transversal.

Si bien existen, aproximadamente, 10 m de reducción en el nivel freático del sistema bedrock final de la vida de la mina, cerca del canal Gualay la reducción se atenúa rápidamente hacia el oeste, mientras las condiciones de agua del final de la vida de la mina y las previas a la mina se superponen en el cráter. Los caudales de agua subterránea del sistema bedrock son desde el oeste hacia el este (izquierda a derecha en la Figura 6-195), lo cual indica que no existe la posibilidad de que el agua de la mina ingrese al área del cráter. De forma similar, se espera que la ausencia de conexión entre el páramo de poca profundidad y el

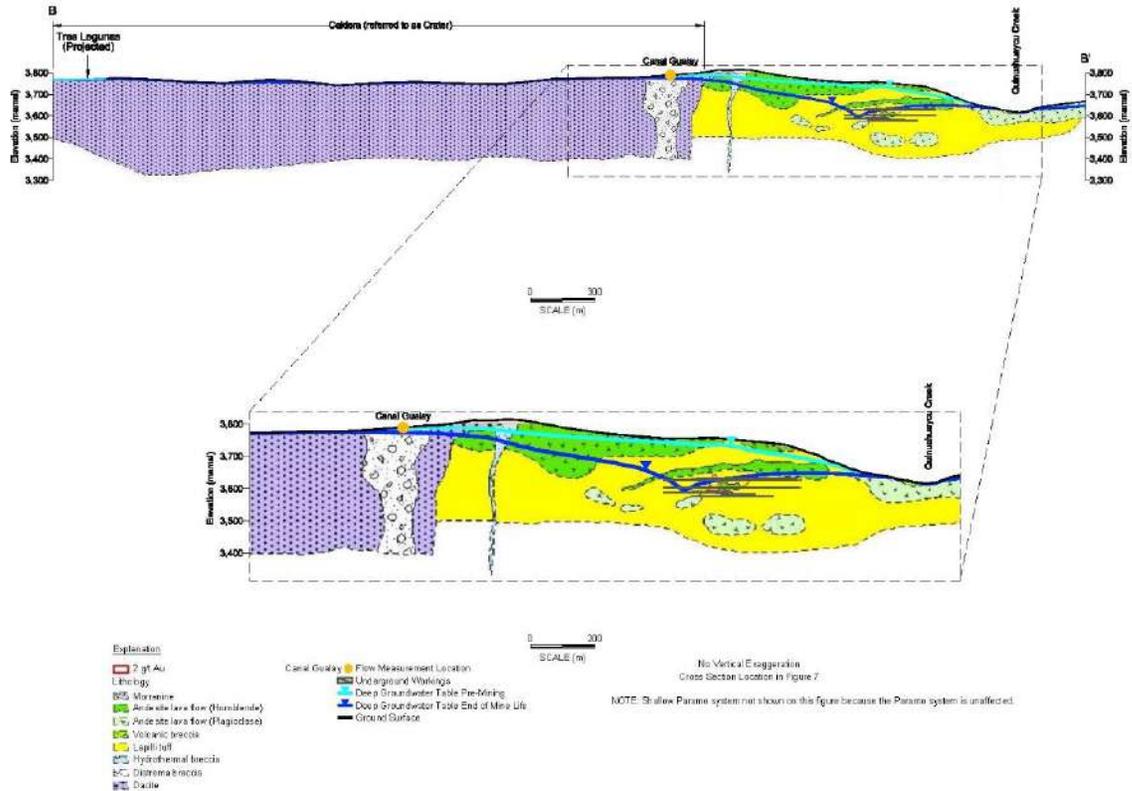
agua subterránea de la roca subyacente profunda continúe sin ningún drenaje inducido del sistema de páramo.

Además, el agua superficial aguas arriba, y a una elevación mayor de la mina, como en el área de Las Tres Lagunas, está demasiado lejos de la mina para verse afectada por la depresión de la capa freática en el sistema de la roca subyacente causada por la minería. El modelo de flujo de agua subterránea predice que no habrá impacto en el área de Las Tres Lagunas por el drenaje de la mina.



**Figura 6-194 Cono de Depresión para la Mina Subterránea en el PLL al Final de la Vida Útil de la Mina (año 15-peor caso)**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S.A. INVMINEC, 2020  
Recopilación: Entrix, junio 2020



**Figura 6-195 Sección Ampliada de las Aguas Subterráneas en el Año 15 (peor caso) para el PLL**

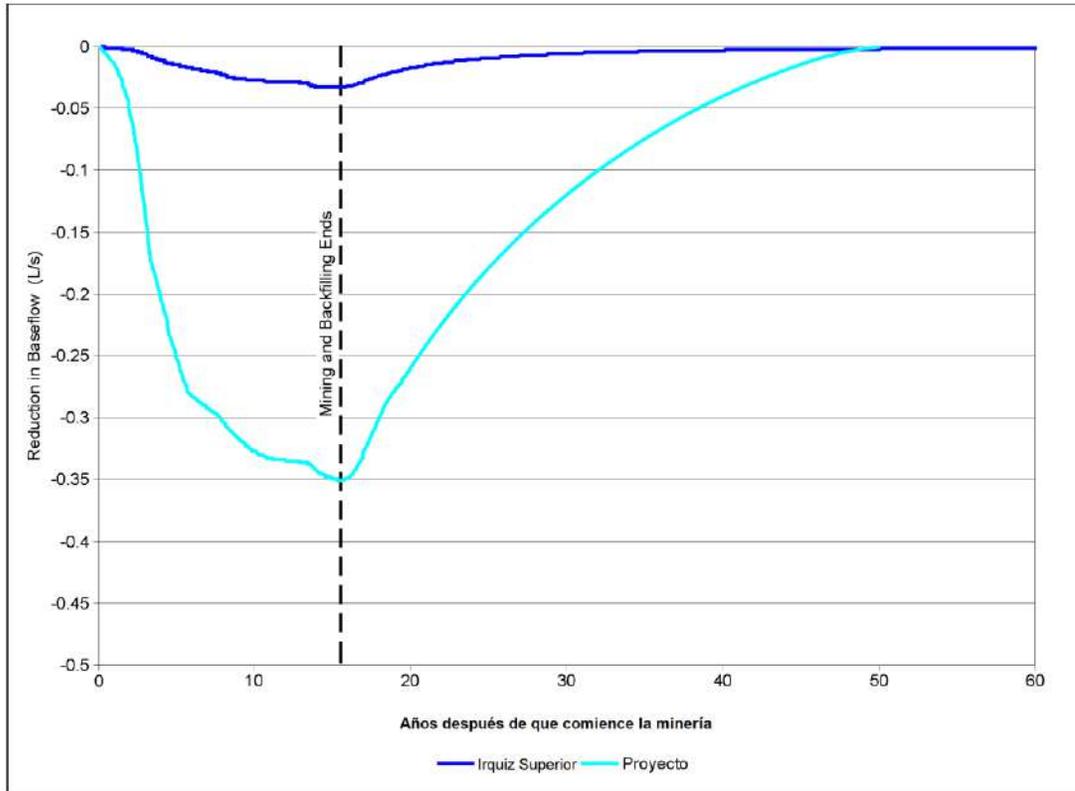
Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2018  
 Recopilación: Entrix, junio 2020

#### Reducción prevista del flujo base para los ríos de la zona de estudio

La descarga de agua subterránea profunda a la quebrada Quinuahuaycu disminuirá ligeramente debido a las operaciones de drenaje en la mina, como se muestra en la Figura 6-196. Estos efectos, asociados con el agua subterránea profunda, se cuantificaron en la parte alta de la microcuenca Quinuahuaycu-Irquis y de la quebrada D1, que se encuentra dentro de la huella de las operaciones mineras. Para la microcuenca de la quebrada Quinuahuaycu, esta disminución en la descarga de agua subterránea profunda tiene un valor máximo de 0,03 litros por segundo (l/s) durante el año 15 de actividad minera. El caudal medido, en el vertedero de la quebrada D1, oscila entre 2,9 y 149,5 l/s. En base a estos caudales medidos, la reducción pronosticada en el flujo base oscilaría entre el 1,0 % y el 0,02 % del caudal medido en el vertedero de la quebrada D1. Las simulaciones de modelo concluyen que el cambio en los niveles de agua subterránea profunda debido al drenaje de la mina no afectará la condición del agua subterránea del páramo dentro del área del PLL.

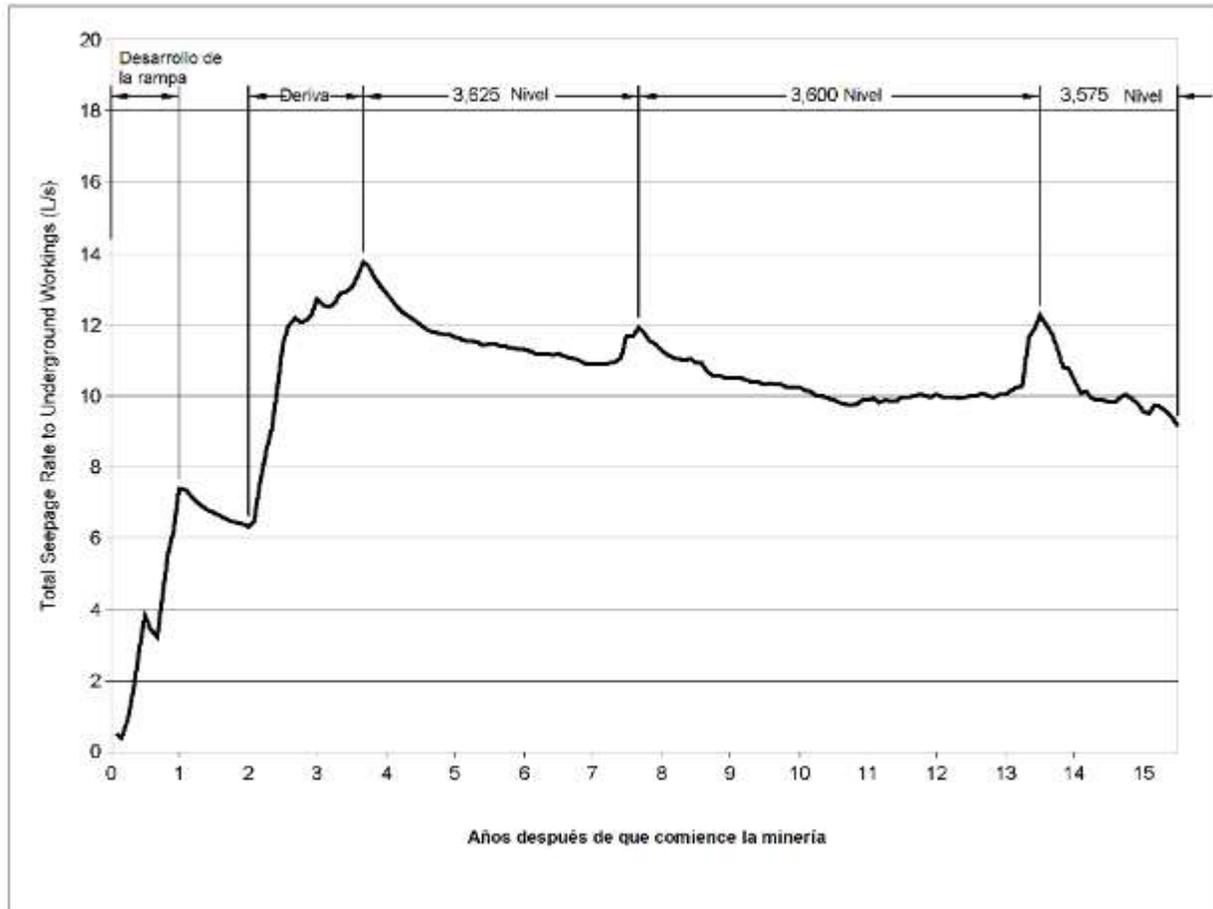
Las reducciones pronosticadas por el modelo en la descarga de agua subterránea a la quebrada Quinuahuaycu llegan a un pico de 0,35 l/s durante el año 15 de actividad minera. En la estación de aforo de la quebrada D1, el flujo varía de 2,5 l/s a 548 l/s. La reducción pronosticada por el modelo en el flujo base daría como resultado una disminución en el flujo que oscila entre 0,06 % y 14,1 %.

La Figura 6-197 muestra una serie de secciones transversales que representan la formación, el crecimiento y la posterior reducción de esta zona de depresión de la capa freática, una vez terminada la operación minera.



**Figura 6-196 Reducción Prevista del Flujo Base para los Ríos Principales dentro del Área de Dominio del Modelo Matemático**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2020  
Recopilación: Entrix, julio 2020



**Figura 6-197 Simulación de las Tazas de Ingreso de Agua Previstas a la Mina Subterránea en el PLL**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2020  
Recopilación: Entrix, julio 2020

### *Incertidumbre del modelo hidrogeológico*

Los modelos de aguas subterráneas son una representación numérica del sistema real, con el propósito de pronosticar cambios en los sistemas hidrogeológicos. La incertidumbre en los modelos de agua subterránea existe en dos grandes categorías: incertidumbre en el modelo conceptual y numérico del flujo de agua subterránea e incertidumbre en el escenario futuro que se pronostica (Anderson et al., 2015). El modelo hidrogeológico conceptual es más preciso cerca del cuerpo mineralizado donde se centró la recolección de los datos geológicos e hidráulicos del campo.

La Figura 6-197 presenta el contorno de reducción de 10 m desde el final de la vida útil de la mina. Los niveles freáticos de agua subterránea previstos antes de la explotación. La extensión prevista de la reducción hacia el oeste al final de la explotación ocurre cerca del canal Gualay.

#### **6.1.2.2 Calidad de Agua Subterránea**

##### **6.1.2.2.1 Calidad Química del Agua Subterránea**

Uno de los objetivos del programa de campo hidrogeológico fue instalar puntos de monitoreo capaces de producir muestras de calidad del agua del sistema de aguas subterráneas de lecho profundo. Este objetivo es necesario, ya que no existían datos sobre química de aguas subterráneas profundas para el Proyecto.

La información de caracterización química de las aguas subterráneas profundas es necesaria para el diseño de la planta de tratamiento de agua FS, ya que la química debe ser conocida para facilitar un diseño preciso. Además, el conocimiento de la química del sistema de roca fracturada facilitará una comprensión de cómo las aguas subterráneas se mueven a través del depósito y el funcionamiento de las minas, la fuente de estas aguas subterráneas y propiedades hidráulicas, como el tiempo de residencia.

Como parte de estas actividades sobre el terreno, seis de los siete piezómetros tradicionales instalados podrían utilizarse para muestrear parámetros de calidad del agua. Para el sistema de aguas subterráneas poco profundas de páramo sin mucha importancia, los piezómetros instalados en las ubicaciones: LLDHG-009A, LLDHG-009B, LLDHG-0010A, LLDHG-010B son capaces de monitorear los parámetros de calidad del agua de línea base y actividades operacionales asociadas con aguas subterráneas poco profundas. LLDHG-003C y LDGT-006 se pueden utilizar para monitorear las condiciones de calidad del agua subterránea de la roca profunda.

Estas muestras fueron tomadas durante la campaña de perforación hidrogeológica en julio del 2017, para la caracterización de la hidrogeología y la calidad de las aguas subterráneas. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio Gruentec del Ecuador, que cuenta con la acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE LEN 05-008), al igual que los equipos necesarios para realizar el estudio, como exige la Norma de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 61672-1:2002.

En la toma de muestras de agua subterránea, se adoptó el procedimiento de 'ubicación del sondeo mediante GPS'. Con la ayuda de un medidor de niveles de agua se determinó la profundidad del nivel freático, como la profundidad del sondeo, con lo cual se calculó la altura del agua en el pozo, que, al medir el diámetro del sondeo, se puede calcular el volumen de la columna de agua; mediante un bailer, se extrajo tres veces el citado volumen antes de tomar la muestra de agua subterránea, bailer que no tenía uso (estéril), que luego fue desechado.

Los resultados fueron comparados de manera referencial con los Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas Dulces, Marinas y Estuarios (Acuerdo Ministerial 097-A, publicado en el Registro Oficial Edición Especial No, 387 del 4 de noviembre de 2015, Anexo 1, Tabla 2)<sup>5</sup>. La calidad del agua se aplicará a los acuíferos de aguas subterráneas con los suelos de arcilla (0-25 %) y materia orgánica (0-10 %). Las aguas subterráneas de las muestras que fueron analizadas en este estudio fueron en roca, por lo que el contenido de materia orgánica y de arcilla es muy inferior al rango de la norma ecuatoriana.

En la Tabla 6-132 se resumen los análisis químicos efectuados en el 2007, que se pueden tener como referencia para la línea base ambiental.

---

<sup>5</sup> Actualmente, **a nivel nacional, no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas.**

**Tabla 6-133 Resultados de Laboratorio de las Aguas Subterráneas de Loma Larga (2017)**

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
<b>Parámetros Físicos</b>																			
pH (unidades de pH)	7,8	7,2	7,3	5,2	-	6,1	5,7	4,7	6,9	7,9	5	4,7	5,6	6,8	7	6,9	7	6,5-9	SM 4500 H/MM-AG/S-01
Conductividad (µS/cm)	193	82	100	11	-	14	24	25	12	19	37	73	10	197	15	13	813	N/A	EPA 9050 A/MM-AG/S-02
Oxígeno disuelto	5,7	4,1	3,8	5	-	6,8	6,8	7	6,9	6,9	6,8	6,7	6,8	-	-	-	-	N/A	SM 4500 O.G/MM-AG-03
Saturación de oxígeno (%)	83,3	60,2	57,6	71,6	-	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	20,3	93,7	>100	5,6	>80	SM 4500 O.G/MM-AG-03
Sólidos gravimétricos disueltos	147	70	89	45	-	32	31	38	22	<15	36	37	29	538	59	38	544	N/A	SM 2540 O MM-AG-47B
Total sólidos suspendidos	27	101	12	435	-	73	7	61	<5	<5	<5	<5	<5	32	<5	5	473	10 % de aumento sobre la condición natural	SM 2540 D/MM-AG-05
<b>Aniones y No Metales</b>																			
Alcalinidad de bicarbonato como carbonato	88	34	29	<6	-	<6	<6	<6	<6	9	<6	<6	<6	71	7	6	123	N/A	SM 2320/MM-AG-09
Alcalinidad total como carbonato	88	34	29	<5	-	<5	<5	<5	5	9	<5	<5	<5	71	7	6	123	N/A	SM 2320/MM-AG-09
Bicarbonato	107	41	36	<6	-	<6	<6	<6	6	11	<6	<6	<6	87	9	8	149	N/A	SM 2320/MM-AG-09
Amoníaco	<0,02	0,03	0,02	0,05	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,04	0,04	0,8	<0,02	0,04	2,3	N/A	SM 4500 Norg/ MM-AG-15
Cloruro	1,6	0,69	0,27	0,2	-	1,8	4,9	5,2	0,84	0,76	8,7	18	1,6	10	0,27	0,41	93	N/A	EPA 300.1/MM-AG-37
Fluoruro	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	<0,05	<0,05	<0,1	N/A	EPA 300.1/MM-AG-37
Nitrato	0,23	0,2	0,23	<0,05	-	0,35	0,23	0,22	0,22	0,24	0,22	0,22	0,42	0,19	0,16	0,25	<0,1	13	EPA 300.1/MM-AG-37
Nitrito	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,1	0,2	EPA 300.1/MM-AG-37
Sulfato	16	7	21	0,3	-	<0,05	<0,05	0,07	0,06	0,34	<0,05	0,06	<0,05	19	0,25	0,33	150	N/A	EPA 300.1/MM-AG-37
Cianuro	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	N/A	SM 4500 CN/MM-AG-28

<sup>6</sup> Considerando que a nivel nacional no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas, los resultados obtenidos, como se puede observar en la Tabla 6-138, fueron comparados referencialmente con la Tabla 2. Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
Cloro residual tota	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	EPA 330.5 / MM-AG-07
Sulfuro	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	-	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	N/A	EPA 376.2/MM-AG-33
Sulfuro como sulfuro de hidrógeno	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	-	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	N/A	EPA 376.2 / MM-AG-33
Producto Químicos Orgánicos																			
Aceites y grasas	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,3	<0,3	<0,3	10	0,3	EPA 1664/MM-AG/S-32
Demanda bioquímica de oxígeno	2	<2	<2	<2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	<2	<2	123	20	SM 5210 B.O/MM-AG-19
Demanda química de oxígeno	<5	<5	<5	107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	<5	<5	1000	40	SM 5220 D/MM-AG-18
Fenoles	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,001	EPA 420.1/MM-AG-25
Total de hidrocarburos de petróleo (C8-C40)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,5	EPA 8015 D/MM-AG-23
Tensoactivos	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,5	SM 5540/MM-AG-26
Metales en Agua																			
Cromo hexavalente	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 3060 A/7196 A / MM-AG-38
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos																			
Benzo (a) pireno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	EPA 8270 D/MM-AG-22
Benzo (b) fluoranteno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	EPA 8270 D/MM-AG-22
Benzo (g, h, i) pireno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	EPA8270 D/MM-AG-22
Benzo (k) fluoranteno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	EPA 8270 D/MM-AG-22
Fluoranteno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	EPA 8270 D/MM-AG-22
Indene (1, 2, 3-cd) pireno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	EPA8270 D/MM-AG-22
Parámetros Microbiológicos																			

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
Coliforme fecal (MPN/100 ml)	<30	<30	<30	<30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	SM 9223 A.B/MM-AG/S-20
Total coliformes (MPN/100 ml)	<30	<30	<30	<30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	SM 9223 A.B/MM-AG/S-20
Total Metales																			
Aluminio	0,05	3,5	0,01	29	0,62	0,03	0,05	0,14	0,07	0,09	0,03	0,24	0,05	0,07	0,15	0,22	7,4	0,1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Antimonio	0,0001	0,0005	<0,0001	0,0014	0,0003	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0002	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	0,0006	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Arsénico	0,0009	0,016	0,0086	0,023	0,0062	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,012	<0,0005	<0,0005	0,044	0,05	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Azufre	3	<2	5	<2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	10	5	43	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Bario	0,16	0,093	0,055	0,15	0,029	0,012	0,027	0,03	0,0045	0,0027	0,054	0,1	0,0077	0,25	0,016	0,012	0,35	1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Berilo	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	0,1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Boro	<0,02	<0,04	<0,02	<0,04	<0,02	0,03	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,04	0,75	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cadmio	<0,0001	<0,0002	0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,001	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Calcio	26	8,6	12	1,3	0,96	0,4	2	2	0,52	1,8	1,5	1,9	0,15	23	1,2	1,1	47	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cerio	<0,0001	0,0024	<0,0001	0,012	0,0014	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,0004	0,0094	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cesio	0,0001	0,0002	0,0012	0,0025	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0005	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0014	<0,0001	<0,0001	0,003	N/A	EPA6020 B/MM-AG/S-39
Cobalto	0,0058	0,0028	0,0015	0,0022	0,001	0,0003	0,0008	0,0046	0,0003	0,0047	0,0084	0,0039	0,0002	0,0066	0,0022	0,0023	0,0012	0,2	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cobre	<0,005	0,025	0,05	0,044	0,007	<0,005	0,007	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	0,027	0,012	0,01	0,005	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cromo hexavalente	<0,0002	0,0024	<0,0002	0,0077	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0005	<0,0002	<0,0002	0,048	0,032	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Disproσιο	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0008	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0008	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Erbio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Estaño	0,0046	<0,001	0,0007	<0,001	<0,0005	0,041	0,003	0,0018	0,0023	0,0037	0,0035	0,0019	0,0015	0,0035	0,0061	0,0023	0,003	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Estroncio	0,39	0,12	0,13	0,05	0,016	0,01	0,036	0,041	0,0098	0,021	0,028	0,041	0,0026	0,16	0,019	0,017	0,42	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
Europio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Fósforo	0,12	<0,1	<0,05	0,25	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,3	0,49	0,14	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Gadolinio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0011	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0008	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Galio	<0,0002	0,001	<0,0002	0,0081	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0023	N/A	EPA6020 B/MM-AG/S-39
Germánico	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	N/A	EPA 6020 8/MM-AG/S-39
Hafnio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0007	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Hierro	0,28	2,9	0,59	12	1,5	<0,02	0,09	0,09	<0,02	0,03	1,4	5,4	0,06	6,7	0,25	0,13	4,1	0,3	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Holmio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Lantano	<0,0001	0,0012	<0,0001	0,0053	0,0004	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0046	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Litio	0,009	<0,001	0,0019	0,0039	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005	0,0013	<0,0005	0,0063	<0,0005	<0,0005	0,038	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Lutecio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Magnesio	3	1,3	2	1,7	0,21	0,03	0,08	0,11	0,05	0,14	0,14	<0,02	<0,02	3,1	0,28	0,3	5,4	N/A	EPA6020 B/MM-AG/S-39
Manganeso	0,082	0,27	0,78	0,075	0,045	0,011	0,053	0,078	0,0074	0,012	0,32	0,44	0,013	0,7	0,0025	<0,0005	0,64	0,1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Mercurio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	0,0002	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Molibdeno	0,0005	<0,0004	0,0003	0,0044	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,002	0,089	0,041	0,027	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Neodimio	<0,0001	0,0015	<0,0001	0,0071	0,0011	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0002	0,0044	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Niobio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0008	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Níquel	<0,001	<0,002	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,025	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Plata	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0002	0,01	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Plomo	<0,0005	0,0024	<0,0005	0,028	0,0008	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	0,0016	0,0014	0,013	0,001	EPA6020 B/MM-AG/S-39
Potasio	1,9	0,68	0,84	0,95	0,28	0,52	0,7	0,59	0,31	0,72	0,79	1,1	0,27	1,3	0,16	0,86	4,6	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
Praseodimio	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,0015	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0011	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Rubidio	0,0031	0,0014	0,0032	0,0069	0,0007	0,0015	0,0015	0,0013	0,0008	0,0022	0,0019	0,0036	0,0008	0,0047	0,0014	0,0011	0,014	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Samario	<0,0001	0,0004	<0,0001	0,0015	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0009	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Selenio	<0,001	<0,002	<0,001	<0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	0,001	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Silicio	21	10	17	25	4,1	8,2	7,8	7	7	6,9	6,8	7	6,9	5	4,6	4,7	3,9	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Sodio	15	4,3	6,5	0,62	0,46	1,1	1,2	1,1	1,2	1,7	1,3	1	0,64	12	1,1	1,2	89	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Talio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Tantalio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Telurio	<0,0002	<0,0004	<0,0002	0 0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Titanio	<0,0005	0,025	<0,0005	0,3	0,014	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0047	<0,0005	<0,0005	0,0031	0,0048	0,059	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Torio	<0,0001	0,0005	<0,0001	0,0014	<0,0001	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	<0,0001	0,0004	<0,0001	0,0017	0,0017	0,0008	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Tulio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Uranio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Vanadio	<0,0002	0,083	<0,0002	0,13	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Tungsteno	0,001	0,0072	0,0025	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0018	0,0002	<0,0002	0,0067	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Iterbio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Zinc	0,011	0,011	0,02	0,035	0,007	0,008	0,016	0,007	<0,005	0,01	0,023	0,013	<0,005	0,017	0,15	0,038	0,15	0,03	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Circonio	<0,0001	0,0005	<0,0001	0,0044	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0007	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Bismuto	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	-	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	-	-	-	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Pesticidas Organoclorados																			
a-BHC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
a-Clordano	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Alacloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Aldrin	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
b-BHC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Butaclor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Clorotalonil	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Cloro-dimetil	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
d-BHC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Dieldrina	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Endosulfan I	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Endosulfan II	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Sulfato de endosulfán	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Endrin	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Endrin Aldehyde	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
g-BHC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
g-Clordano	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Heptacloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Epóxido de heptacloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Metolacloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Metoxicloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Oxifluorfen	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
p,p' DDD	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
p,p'-DDE	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
p,p'-DDT	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Quintozeno	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Total pesticidas organoclorados	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Plaguicidas de Organofosfato																			
Acetato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Cadusafos	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Clorpirifos	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Diazinón	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Diclorvos + Triclorfo	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Dimetoato	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Disulfoton	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Paratión etílico	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Etoprop	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Fenclorphos	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Forato	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Malatión	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Metamidofos	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Metil Paratión	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Mevinfós	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
Terbufos	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Plaguicidas totales organofosfato	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Peretrinas																			
Cyhalothrin (mg/L)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Ciflutrina	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Cipermetrina	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Deltametrina	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Fenvalerato	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Permetrina	<0,00013	<0,00013	<0,00013	<0,00013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Piretrinas Totales	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Clorofenoles																			
2,4,5-Triclorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/MM-AG/S-52
2,4,6-Triclorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/MM-AG/S-52
2,4-Diclorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/MM-AG/S-52
2-Clorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/MM-AG/S-52
4-Cloro-3 Metilfenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/ MM-AG/S-52
Pentaclorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/ MM-AG/S -52
Biphenyls Policlorados (PCB)																			
Aroclor 1016	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	°	N/A	EPA 8082
Aroclor 1221	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1232	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1242	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1248	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1254	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 # 1 SURFACE	LLDHG-012 # 2 SURFACE	LLDHG-012 # 3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>6</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17		
Aroclor 1260	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1262	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1268	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Total PCBs	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	EPA 8082
Itasca Note 1: Todas las concentraciones en mg/L, a menos que se especifique lo contrario																			
Grüntec Note 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones se basan en el material e información proporcionado por el cliente para el que se preparó este informe de manera exclusiva y confidencial.																			
Grüntec Note 2: El muestreo fue realizado por el cliente.																			
Nota 1: 0,00 valores que no cumplen con los Criterios de Calidad establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1																			
Nota 2:-Parámetros que no fueron analizados																			

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2017  
 Recopilación: Entrix, junio 2020

Página en blanco



#### **6.1.2.2.2 Geoquímica de Rocas y Condiciones de Calidad del Agua Subterránea en el PLL**

La composición química del agua subterránea en los sistemas de páramo y roca subyacente en el sitio de estudio está en función de los tipos de roca con los que está en contacto y el período de tiempo que se mantiene dicho contacto. La composición química del agua subterránea en el sistema de páramo es similar al agua de lluvia, teniendo tiempos de contacto muy cortos con la roca. El agua subterránea profunda que se mueve a través de las fracturas y juntas del sistema de roca subyacente más profunda ha tenido un mayor tiempo de contacto con la roca debido a las bajas velocidades de flujo de agua. Por lo tanto, el agua contiene más sales disueltas, metales y otros componentes. Si bien el agua subterránea de la zona de roca madre profunda está en contacto con roca mineralizada, la lixiviación química de la roca mineralizada es limitada debido a la ausencia de oxígeno.

Cuando la mina entre en funcionamiento y las actividades de drenaje den como resultado una disminución de la capa freática en el sistema de roca subyacente, se introducirá oxígeno y se producirán reacciones de oxidación entre el agua subterránea y las rocas mineralizadas del depósito. Estas reacciones pueden aumentar la acidez del agua subterránea que se encuentra en contacto con la roca, lo que puede disolver metales en el agua subterránea que ingrese a las instalaciones de la mina.

La mayoría de los tipos de roca en el área del depósito contienen metales y pirita, que, con la oxidación, dará como resultado una degradación de la química del agua, en el agua que ingrese a la mina durante las operaciones. La excepción de esto son un tipo de roca inerte denominada dacita, que está presente en las afueras del yacimiento y en las zonas montañosas al oeste de la mina y en el cráter y lavas andesíticas jóvenes que cubren el depósito mineral al norte y noroeste de la mina. Estas rocas no contienen pirita y, por lo tanto, no tienen potencial de generar ácido como resultado de la oxidación de la pirita.

Debido a las reacciones químicas que genera el drenaje ácido de rocas que requieren oxígeno, solo las aguas subterráneas que se filtran activamente durante en el funcionamiento de la mina se verán afectadas. Durante las operaciones de la mina, debido al bombeo y el drenaje, toda el agua subterránea en las proximidades de la mina fluirá hacia las instalaciones de la mina; por lo tanto, cualquier agua afectada será capturada y eliminada de la mina.

Para proporcionar estimaciones de cómo cambiará la química del agua subterránea como resultado de la minería, se realizaron pruebas en cada uno de los tipos de rocas, utilizando métodos sofisticados de laboratorio que predicen las tasas y cantidades de lixiviación de metal y acidificación. Estas pruebas consistieron en dos tipos generales: pruebas estáticas y pruebas cinéticas. La prueba estática es simplista y clasifica la roca como no generadora de ácido o potencialmente generadora de ácido. Esta clasificación se basa en la presencia de minerales generadores de ácido, como la pirita, y la presencia de minerales neutralizantes, como la calcita. Las pruebas cinéticas son más rigurosas y se realizan en un laboratorio donde se permite que las muestras de cada tipo de roca pueden reaccionar con el agua durante muchos ciclos de humedecimiento y secado. A partir de las pruebas cinéticas, las tasas de generación de ácido y la masa total de cada metal liberado en el agua se cuantifican en una tasa de liberación de masa (*mass release rate*). Esta tasa de liberación de masa se determina como una función del área de la superficie total de la muestra y se usa para predecir el potencial de generación de ácido en función del área de la superficie expuesta de las instalaciones mineras.

A partir de las tasas de liberación de masa determinadas mediante las pruebas cinéticas y los resultados del modelo de flujo de agua subterránea, se hicieron predicciones de la composición química del agua que se bombeará fuera de la mina durante la operación. Los valores simulados de la composición química del agua que reaccione con la roca de caja al interior de la mina y que llegaría al sistema de tratamiento como efluente de drenaje no tratado, se muestra en la Tabla 6-141.

**Tabla 6-134 Química Prevista de la Calidad del Agua de Drenaje de la Mina**

Parte 1 de 2				Parte 2 de 2			
Parámetro (mg/L)	Baja	Base	Alta	Parámetro (mg/L)	Baja	Base	Alta
pH	5,5	5,0	4,3	Mg	3,0	4,1	5,2
Ag	0,00010	0,00015	0,00020	Mn	0,78	0,97	1,17
Al	0,073	3,6	7,1	Mo	0,0043	0,017	0,030
Alcalinidad	68	93	120	NH <sub>3</sub>	0,77	1,49	2,21
As	0,016	0,030	0,044	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,050	0,074	0,098
B	0,020	0,030	0,039	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	29	58	87
Ba	0,24	0,29	0,34	Na	12	48	85
Be	0,00028	0,00036	0,00045	Nd	0,00010	0,0022	0,0042
Bi	0,019	0,019	0,019	Ni	0,0013	0,0022	0,0056
Ca	22	34	46	O(0)	0	0	0
Cd	0,00038	0,00047	0,00056	P	0,07	0,13	0,19
Cl	9,6	49	89	Pb	0,002	0,009	0,019
Co	0,0015	0,0044	0,0087	Rb	0,0046	0,0090	0,013
Cr	0,00073	0,023	0,046	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	39	120	210
Cu	0,0053	0,0080	0,011	Sb	0,0090	0,0092	0,0093
Cs	0,0013	0,0021	0,0029	Se	0,011	0,0111	0,012
F	0,10	0,13	0,16	Si	4,3	4,9	5,8
Fe	9,0	20	36	Sn	0,0030	0,0033	0,0036
Ga	0,00020	0,0012	0,0022	Sr	0,15	0,28	0,40
Gd	0,00010	0,00044	0,00077	Th	0,00016	0,00050	0,00084
Hf	0,00010	0,00020	0,00029	Ti	0,0020	0,0021	0,0021
Hg	0,00010	0,00015	0,00020	Tl	0,00010	0,00015	0,00020
Ho	0,00010	0,00015	0,00020	U	0,00010	0,00053	0,00096
K	1,3	2,9	4,4	V	0,00020	0,00030	0,00039
La	0,00010	0,0023	0,0044	Zn	0,019	0,086	0,292
Li	0,0061	0,021	0,036	Zr	0,00010	0,00039	0,00068

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2020  
Recopilación: Entrix, julio 2020

Estas predicciones se utilizaron para diseñar la planta de tratamiento de agua y garantizar que toda el agua descargada, producto del drenaje de agua hacia el interior de la mina, cumpla con todos los estándares de calidad de agua aplicables. Estas predicciones también se hicieron para las aguas que ingresarán a la rampa producto del drenaje y se resumen en el estudio de Itasca (2017b). Se determinaron mensualmente para la mina, y las predicciones mensuales finales de la química del agua, simuladas al finalizar la mina, se muestran en la Tabla 6-143. Las predicciones se realizaron en relación al rango de mediciones de química del agua observadas y se muestran como predicciones altas, bajas y de base, que

corresponden a los rangos de la química de agua observadas en el muestreo de campo y los resultados de laboratorio.

Cuando la actividad minera se detenga y la mina pueda rellenarse con agua subterránea, el oxígeno ya no estará presente para permitir que estas reacciones de formación de ácido tengan lugar. Además, la mina se rellenará con relaves que se mezclarán con cemento, que neutraliza el ácido. La ausencia de oxígeno y la presencia de cemento neutralizador de ácido detendrá todas las reacciones generadoras de ácido después del cierre de la mina. La potencial descarga de aguas desde las instalaciones de la mina a las aguas subterráneas profundas y el agua superficial se monitoreará de cerca después del cierre de la mina.

### **Monitoreo de Calidad del Agua Subterránea**

El monitoreo de calidad de agua subterránea se empezó en julio del 2017; hasta abril del 2019, se han completado dos años de muestreos consecutivos.

Se ha tomado muestras en los piezómetros: LLDGT-003C, LLDGT-006, LLDHG-009, LLDHG-009A, LLDHG-010, LLDHG-010A, LLDHG-013 y LLDHG-014. Se obtuvieron parámetros de campo, tales como: pH, conductividad, temperatura y sólidos disueltos.

### 6.1.2.2.3 Resultados

**Tabla 6-135 Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2018)**

Nombre de la Muestra	LLDGT-003C	LLDGT-006	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	LLDHG-013	LLDHG-014	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>8</sup> .
Datos de la Muestra	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	
Parámetros Físicos									
pH	6,2	6,5	7,3	6,7	6,2	5,2	7,9	8,1	6,5-9
Conductividad µS/cm	143	196	183	102	102	14	194	177	N/A
Oxígeno disuelto mg/L	1,8	1,1	3,9	3,9	3,6	1	4,2	3,5	N/A
Oxígeno saturación %	26	15,8	49,4	49,8	41,6	14,1	54,8	39,8	> 80
Sólidos disueltos gravimétricos mg/L	103	143	338	130	94	35	171	2023	N/A
Sólidos suspendidos totales mg/L	35	5	7	157	<5	38	26	<5	máx. incremento de 10 % de la condición natural
Aniones y No Metales									
Alcalinidad de bicarbonatos como CaCO <sub>3</sub> mg/L	30	78	78	36	29	<6	98	91	N/A
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub> mg/L	30	78	78	36	29	<5	98	91	N/A
Bicarbonato mg/L	37	95	95	43	35	<6	120	111	N/A
Amonio mg/L	0,49	0,35	0,03	0,03	<0,02	0,05	0,04	<0,02	N/A
Cloruro mg/L	7,6	1,7	0,59	0,43	0,06	0,06	0,44	1,6	N/A
Fluoruro mg/L	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	0,07	N/A
Nitrato mg/L	0,07	<0,05	<0,05	0,22	<0,05	<0,05	0,05	0,21	13
Nitrito mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,2
Sulfato mg/L	18	20	9,5	9,6	17	0,21	1,5	1,5	N/A
Cianuro libre mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	N/A

<sup>8</sup> Considerando que a nivel nacional no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas, los resultados obtenidos, como se puede observar en la Tabla 6-142, fueron comparados referencialmente con la Tabla 2. Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Nombre de la Muestra	LLDGT-003C	LLDGT-006	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	LLDHG-013	LLDHG-014	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2ª.
Datos de la Muestra	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	
Cloro total residual mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,01
Sulfuro mg/L	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	N/A
Sulfuro como sulfuro de hidrógeno mg/L	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	N/A
Parámetros Orgánicos									
Aceites y grasas mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	<2	18	<2	20
Demanda química de oxígeno mg/L	10	<4	<4	<4	<4	29	143	<4	40
Fenoles mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,5
Sustancias tensoactivas mg/L	0,04	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,5
Metales Totales									
Aluminio mg/L	0,56	<0,02	0,06	0,2	0,12	0,43	0,07	0,05	0,1
Antimonio mg/L	0,0005	0,0026	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	N/A
Arsénico mg/L	0,0028	0,033	0,0011	0,066	0,015	0,0011	0,0019	0,014	0,05
Bario mg/L	0,062	0,097	0,12	0,046	0,047	0,015	0,12	0,069	1
Berilio mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0002	0,1
Boro mg/L	<0,04	<0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,04	<0,02	<0,02	0,75
Cadmio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0002	<0,0001	<0,0001	0,001
Calcio mg/L	8,7	22	19	10	9,2	0,72	24	18	N/A
Cobalto mg/L	<0,0002	<0,0002	0,0004	0,0006	0,0013	0,0006	0,0004	<0,0001	0,2
Cobre mg/L	<0,01	<0,01	0,021	0,022	0,061	<0,01	<0,005	0,008	0,005
Cromo mg/L	<0,0004	<0,0004	0,0032	0,0004	0,0002	<0,0004	<0,0002	0,0048	0,032
Estaño mg/L	<0,001	<0,001	0,0065	<0,0005	0,0024	0,005	<0,0005	0,0066	N/A

Nombre de la Muestra	LLDGT-003C	LLDGT-006	LLDHG-009	LLDHG-009A	LLDHG-010	LLDHG-010A	LLDHG-013	LLDHG-014	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>a</sup> .
Datos de la Muestra	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	
Fósforo mg/L	<0,1	0,11	0,11	0,33	0,07	<0,1	<0,05	0,09	N/A
Hierro mg/L	1,2	3,5	0,14	3,1	1,2	1,3	0,05	<0,02	0,3
Litio mg/L	<0,001	<0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,001	<0,0005	<0,0005	N/A
Magnesio mg/L	1,2	2,7	2,8	1,1	1,7	0,11	1,7	0,96	N/A
Manganeso mg/L	0,13	0,23	0,036	0,076	0,62	0,0065	0,18	0,004	0,1
Mercurio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	0,0002
Molibdeno mg/L	0,0034	0,0046	0,0005	0,0003	0,001	<0,0004	0,0013	0,0007	N/A
Níquel mg/L	<0,002	<0,002	<0,001	<0,001	0,001	<0,002	<0,001	<0,001	0,025
Plata mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	0,01
Plomo mg/L	<0,001	0,0069	0,0012	0,001	<0,0005	<0,001	<0,0005	<0,0005	0,001
Potasio mg/L	0,98	0,82	1,2	0,61	0,47	0,24	1,8	2	N/A
Selenio mg/L	<0,002	<0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	<0,001	<0,001	0,001
Sodio mg/L	12	8,2	13	7,6	5,9	<0,1	13	17	N/A
Talio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	N/A
Torio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	N/A
Tulio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	N/A
Uranio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	N/A
Vanadio mg/L	0,0028	0,0022	0,0004	0,0008	0,0009	0,0045	0,0015	0,0097	N/A
Zinc mg/L	0,043	0,017	0,021	0,01	0,015	<0,01	0,014	0,007	0,03
Nota 1. 0,00: Parámetros que sobrepasan los Criterios de Calidad establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1									

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018  
 Recopilación: Entrix, junio 2020

Página en blanco

**Tabla 6-136 Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2019)**

Nombre de la Muestra	LLDGT-003C		LLDGT-006		LLDHG-009		LLDHG-009A		LLDHG-010		LLDHG-010A		LLDHG-013		LLDHG-014		A.M. 097-A, Anexo 1
	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	Tabla 2º.
<b>Parámetros Físicos</b>																	
pH	6,2	6	6,5	6,8	6,7	6,7	6,7	6,4	6,4	6,1	5,1	5	7,5	7,5	8,2	7,9	6,5-9
Conductividad µS/cm	137	122	193	85	171	174	143	121	90	86	14	15	186	192	184	183	N/A
Oxígeno disuelto mg/L	1,9	1,9	1,4	5,8	2,5	2	3	3,8	3,8	3,3	1,5	2,4	4,5	3,9	2,9	2,9	N/A
Oxígeno saturación %	22,7	26,4	15,9	82,8	30	27,3	48	53,5	45,9	47,7	16	34,3	55	54,8	35	40,9	> 80
Sólidos disueltos gravimétricos mg/L	99	54	134	61	135	132	117	94	92	82	33	49	113	120	142	134	N/A
Sólidos suspendidos totales mg/L	10	18	10	5	18	<5	301	172	114	<5	14	30	20	<5	<5	11	máx. incremento de 10 % de la condición natural
<b>Aniones y No Metales</b>																	
Alcalinidad de bicarbonatos como CaCO3 mg/L	31	28	67	40	76	76	61	48	23	21	<6	<6	105	99	95	89	N/A
Alcalinidad total como CaCO3 mg/L	31	28	67	40	76	76	61	48	23	21	<5	<5	105	99	95	89	N/A
Bicarbonato mg/L	37	34	81	49	93	93	75	59	28	26	<6	<6	128	121	116	108	N/A
Amonio mg/L	0,45	0,25	0,4	0,03	<0,02	0,08	0,05	0,04	<0,02	0,09	0,04	0,22	<0,02	0,04	0,03	0,02	N/A
Cloruro mg/L	8,4	7,3	3	0,54	0,61	0,61	0,17	0,28	0,1	0,16	<0,05	0,07	0,25	0,25	0,73	0,93	N/A
Fluoruro mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	0,06	0,07	N/A
Nitrato mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	1,4	<0,05	<0,05	0,12	0,32	0,07	0,11	<0,05	<0,05	0,22	0,3	0,58	0,91	13
Nitrito mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,2
Sulfato mg/L	19	20	25	1,6	12	13	13	13	19	20	0,1	0,18	0,67	0,9	2	3,3	N/A
Cianuro libre mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	N/A
Cloro total residual mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,01
Sulfuro mg/L	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	N/A
Sulfuro como sulfuro de hidrógeno mg/L	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	N/A
<b>Parámetros Orgánicos</b>																	
Aceites y grasas mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	4	<2	<2	<2	<2	20
Demanda química de oxígeno mg/L	<5	<5	<5	<5	6	<5	10	<5	<5	<5	32	55	11	<5	<5	<5	40
Fenoles mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,5
Sustancias tensoactivas mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,5
<b>Metales Totales</b>																	
Aluminio mg/L	<0,01	0,03	<0,01	0,09	0,02	0,02	1,2	0,23	0,07	0,1	0,37	0,81	0,02	0,03	<0,01	0,12	0,1

<sup>9</sup> Considerando que a nivel nacional no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas, los resultados obtenidos, como se puede observar en la Tabla 6-143, fueron comparados referencialmente con la Tabla 2. Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Nombre de la Muestra	LLDGT-003C		LLDGT-006		LLDHG-009		LLDHG-009A		LLDHG-010		LLDHG-010A		LLDHG-013		LLDHG-014		A.M. 097-A, Anexo 1
	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	Tabla 2º.
Antimonio mg/L	<0,0001	<0,0001	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A
Arsénico mg/L	<0,0005	0,0026	0,0031	0,0016	0,0012	<0,0005	0,019	0,009	0,0035	0,006	0,0018	0,0008	0,0015	<0,0005	0,021	0,031	0,05
Bario mg/L	0,025	0,059	0,062	0,024	0,078	0,11	0,036	0,103	0,014	0,032	0,016	0,012	0,14	0,17	0,026	0,067	1
Berilio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,1
Boro mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,75
Cadmio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001
Calcio mg/L	5,8	9,1	15	13	17	23	12	27	4,6	7,3	0,86	1,6	24	27	15	25	N/A
Cobalto mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0012	0,0002	0,0008	0,001	0,0012	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,2
Cobre mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,021	<0,005	0,01	<0,005	0,095	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,012	0,005
Cromo mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0019	<0,0002	<0,0002	0,0033	0,0035	0,032
Estaño mg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0071	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0035	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,018	N/A
Fósforo mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	0,11	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	N/A
Hierro mg/L	0,04	2	0,76	0,07	<0,02	<0,02	0,72	<0,02	0,17	0,63	1,7	1,7	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,3
Litio mg/L	0,0046	0,0056	0,0013	<0,0005	0,0046	0,0047	<0,0005	<0,0005	0,0006	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0007	<0,0005	0,0023	0,0019	N/A
Magnesio mg/L	0,8	1,1	2,4	0,15	3,9	3,4	2	2,6	1,2	1,5	0,24	0,26	1,8	1,7	1,3	1,5	N/A
Manganeso mg/L	0,054	0,18	0,15	0,045	0,022	0,025	0,013	0,13	0,15	0,52	0,027	0,027	0,068	0,18	0,01	0,0026	0,1
Mercurio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002
Molibdeno mg/L	0,0015	0,0024	0,0023	<0,0002	0,0007	<0,0002	0,0008	<0,0002	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0013	<0,0002	0,0016	<0,0002	N/A
Níquel mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,025
Plata mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,01
Plomo mg/L	<0,0005	0,002	<0,0005	<0,0005	0,0009	<0,0005	0,0062	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001
Potasio mg/L	0,93	2,6	1,3	1,8	2,1	2,5	1,8	0,72	0,37	1,3	0,36	0,45	2,3	2,6	2,9	3,2	N/A
Selenio mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,001
Sodio mg/L	9,9	13	8,9	3,8	20	15	17	9,3	4,5	5,9	1,9	<0,05	16	14	15	18	N/A
Talio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A
Torio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A
Tulio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A
Uranio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A
Vanadio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0008	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0014	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	N/A
Zinc mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,03	<0,005	0,019	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,03

Nota 1. 0,00: Parámetros que sobrepasan los Criterios de Calidad establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1

Fuente: INV Minerales ECUADOR S. A. INVMINEC, 2019  
Recopilación: Entrix, junio 2020

Para octubre del 2019, se realizó un programa de limpieza y mantenimiento de los piezómetros, y se tomaron los siguientes datos:

**Tabla 6-137 Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2019)**

Piezómetro	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Elevación (msnm)	Inclinación (grados)	Fecha	Nivel de Agua (m)	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (us)	Sólidos Disueltos (ppm)
	Este (m)	Norte (m)								
LLDGT-03C	697701,6149	9663121,924	3784,3	-90	22/10/19	87,96	12,2	6	230	170
LLDGT-006	698203,5275	9663572,551	3750,0	-60	22/10/19	49,2	10,8	6,3	260	191
LLDHG-009	698897,8929	9662947,346	3627,7	-90	29/10/19	3,73	11,4	6,3	210	159
LLDHG-09A	698899,0029	9662949,696	3626,9	-90	29/10/19	1,44	11,7	5,7	130	97
LLDHG-010	698602,2171	9663556,018	3665,69	-90	29/10/19	5,83	12,2	5,8	150	113
LLDHG-10A	698367,4473	9663549,739	3731,04	-90	29/10/19	0,996	9,9	5,3	50	45
LLDHG-013	697620,4841	9662989,155	3799,0	-75	29/10/19	6,98	10,3	6,6	240	173
LLDHG-014	697493,4825	9662732,156	3796,0	-90	29/10/19	1,82	10,2	7	270	198

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2019  
Recopilación: Entrix, junio 2020



**Figura 6-199 Toma de Muestras de Aguas Subterráneas en los Piezómetros de Monitoreo**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2019  
Recopilación: Entrix, junio 2020

#### 6.1.2.2.4 Discusión

Los resultados fueron comparados de manera referencial con los Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas Dulces, Marinas y Estuarios (Acuerdo Ministerial

097-A, publicado en el Registro Oficial Edición Especial No. 387 del 04 de noviembre de 2015, Anexo 1, Tabla 2)<sup>10</sup>. La calidad del agua se aplicará a los acuíferos de aguas subterráneas con los suelos de arcilla (0-25 %) y materia orgánica (0-10 %). La mayoría de los parámetros cumplen con dicha normativa, con excepción de:

En el piezómetro LLDGT-003C, el valor de hierro va de 1,2 a 2,0 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-006, en oxígeno saturación hay un valor de porcentaje menor que 15,9 %; el valor de hierro va de 0,76 a 3,5 mg/L; el valor de manganeso va de 0,15 a 0,23 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-009, uno de los valores de cobre es de 0,021 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-009A, el valor de manganeso va de 0,013 a 0,13 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-0010, el valor de cobre va de 0,061 a 0,09 mg/L; el valor de hierro va de 0,63 a 1,2 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-010 A, el pH tiene valores de 5,0 a 5,2; en oxígeno saturación hay valores de porcentaje menores de 14,1 a 34,3 %; el valor de aluminio va de 0,37 a 0,81 mg/L; el valor de hierro va de 1,3 a 1,7 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-013, en oxígeno saturación hay valores de porcentaje menores de 55,0 a 54,8 %; un valor de demanda química de oxígeno es de 143 mg/L.

En conclusión, las muestras de agua subterránea analizadas cumplen con la norma de calidad ambiental ecuatoriana en referencia.

#### **6.1.2.2.5 Conclusiones**

Las aguas subterráneas se producen en dos sistemas separados, el páramo poco profundo y en el sistema de aguas subterráneas subyacentes más profunda. Estos dos sistemas de aguas subterráneas están separados por una espesa zona insaturada que consiste en *bedrock*.

El sistema de roca profunda tiene una K con un valor de  $4,0 \times 10^{-7}$  m/s. Este flujo de agua subterránea se controla por la densidad de fracturas y el tipo de alteración. La roca silíceo fracturada tiene el más alto valor de K, mientras que la roca alterada argílicamente tiene el más bajo.

Los valores de K de las pruebas de permeabilidad en el sistema de aguas subterráneas subyacentes más profundas están en la gama de muy bajo a bajo, en comparación con los rangos de valores globales de K.

Los niveles de agua dentro del sistema de lecho subyacentes más profundos están aproximadamente 50 m bajo superficie (msnm), con gradientes descendentes.

Los piezómetros instalados servirán de base para un programa de monitoreo de aguas subterráneas.

Los valores determinados de permeabilidad (K), durante esta investigación de campo, sirvieron como base para la construcción de un modelo de aguas subterráneas, que se ajusta a las condiciones hidrogeológicas del sector.

Debido a la presencia de la roca fracturada insaturada, es probable que el cambio de la condición de las aguas subterráneas en el sistema de rocas (es decir, cambios debido al desarrollo de trabajos subterráneos y la deshidratación) tenga poco impacto en el sistema de aguas subterráneas de páramo.

Al comparar los resultados químicos de los piezómetros con la normativa del Ecuador, Directrices para la Calidad de Aguas Subterráneas (libro VI; Anexo 1, cuadro 5, del TULAS), la calidad del agua se aplicará a los acuíferos de aguas subterráneas con los suelos de arcilla (0-25 %) y materia orgánica (0-10 %); las

---

<sup>10</sup> Actualmente **a nivel nacional no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas.**

aguas subterráneas de las muestras que fueron analizadas en este estudio, todas ellas fueron menores a dicha normativa.

De acuerdo con el gráfico de Piper, la marca química de la muestra LLHDG-003C es una agua sódica-sulfatada clorada, que es un piezómetro profundo para monitorear las aguas de dicho nivel. LLHDG-009 A, LLHDG-010, LLHDG-010A (piezómetros superficiales) y LLHDG-006, son cálcicas-bicarbonatadas; en todo caso, son aguas meteóricas de reciente infiltración, que presentan cierta alteración hidrogeoquímica por estar circulando en un medio de alta mineralización y en un ambiente muy cercano a una caldera volcánica, como es el caso de la muestra de LLHDG-003C, que presenta cierta evolución hidrogeoquímica.

En las muestras de agua subterránea analizadas, durante el levantamiento de esta línea base, la mayoría de los parámetros cumplen con la norma de calidad ambiental ecuatoriana de referencia.

Como el agua subterránea en el sistema de páramo no está conectada al agua subterránea en el sistema de roca subyacentes más profundo, el modelo de flujo de agua subterránea predice que no habrá una disminución en los niveles de agua en el sistema de páramo como resultado de la actividad de drenaje de la mina.

De acuerdo con el modelo 3D elaborado, la tabla de aguas subterráneas deprimida que rodea la mina estará en su mayor extensión en el año 15, cuando los trabajos de la mina estén en su mayor extensión antes del cierre. Después del cierre de la mina, cualquier trabajo restante en la mina subterránea se llenará de relaves cementados, y toda la mina podrá inundarse. Una vez que la mina se llena e inunda, a zona de depresión de la tabla de agua subterránea comenzará a recuperarse y regresar a las condiciones normales experimentadas antes de la minería.

Si bien existe aproximadamente 10 m de reducción en el nivel freático del final de la vida de la mina, cerca del canal Gualay, la reducción se atenúa rápidamente hacia el oeste, mientras las condiciones de agua del final de la vida de la mina y las previas a la mina se superponen en el cráter. Los caudales son desde el oeste hacia el este, lo cual indica que no existe la posibilidad de que el agua de la mina ingresa al área del cráter.

El modelo de flujo de agua subterránea predice que no habrá impacto en el área de Las Tres Lagunas por el drenaje de la mina.

Para proporcionar estimaciones de cómo cambiará la química del agua subterránea como resultado de la minería, se probó cada uno de los tipos de rocas utilizando métodos sofisticados de laboratorio que predicen las tasas y cantidades de liberación de metal y acidificación. Estas pruebas consistieron en dos tipos generales: pruebas estáticas y pruebas cinéticas. Estas predicciones se utilizaron para diseñar la planta de tratamiento de agua y garantizar que toda el agua descargada, por la eliminación del agua o desagüe, cumpla con todos los estándares ambientales.

### **6.1.2.3 Conclusiones**

- > El modelo de agua subterránea fue calibrado con las mediciones de niveles de agua subterránea y datos del flujo base. Las estadísticas del modelo demuestran un modelo correctamente calibrado.
- > La validación del modelo conceptual en base a mediciones de conductividad eléctrica permitió identificar puntos de afloramiento de agua subterránea correspondiente a la zona seep, con lo que se comprobó que el modelo conceptual planteado es correcto por lo que muestra una representación bastante acertada de la realidad de la hidrogeología de la zona del PLL. Con esto se garantiza que los resultados obtenidos al utilizar este modelo son acertados y confiables.
- > La tasa máxima de flujo entrante durante el desarrollo de la rampa de la mina es de 7.5 litros por segundo (l/s).
- > A medida que se desarrollan los accesos horizontales, el flujo entrante a las obras subterráneas aumenta hasta alcanzar su punto máximo de aproximadamente 13.8 L/s en el tercer año.

- > La corriente del Proyecto muestra una reducción en el flujo de aproximadamente 0.35 l/s al final de las actividades mineras. El flujo se recuperará a la condición previa en aproximadamente 30 años a partir del término de las actividades mineras.
- > El tramo superior del río Irquiz, previo a la confluencia con el arroyo Quinuahuycu, presenta una reducción en el flujo base de aproximadamente 0.03 L/s al final de las actividades mineras y el flujo se recuperará a la condición previa en aproximadamente 30 años a partir del término de las actividades mineras.
- > Los resultados de la simulación de flujo de aguas subterráneas sugieren que la minería no causará la reducción del flujo base en otras masas de agua superficiales simuladas dentro del estudio hidrogeológico.
- > El cono de depresión de agua subterránea se propaga de norte a sur a lo largo de la mina y el yacimiento mineral, como se puede observar en la Tabla 6-138. Las líneas topográficas de nivel de 10-m tienen una extensión máxima de descenso de 700 y 1000 m en las direcciones este y oeste respectivamente del centro de explotación minera. Los niveles de agua subterránea se recuperarán a las condiciones previas en aproximadamente 30 años a partir del término de las actividades mineras.
- > Partículas de las obras mineras llegarán a las corrientes aguas abajo en aproximadamente 12 a 16 años.

#### **6.1.2.4 Agua Subterránea**

##### **6.1.2.4.1 Calidad Química del Agua Subterránea**

Uno de los objetivos del programa de campo hidrogeológico fue instalar puntos de monitoreo capaces de producir muestras de calidad del agua del sistema de aguas subterráneas de lecho profundo. Este objetivo es necesario, ya que no existían datos sobre química de aguas subterráneas profundas para el Proyecto. La información de caracterización química de las aguas subterráneas profundas es necesaria para el diseño de la planta de tratamiento de agua FS, ya que la química debe ser conocida para facilitar un diseño preciso. Además, el conocimiento de la química del sistema de roca fracturada facilitará una comprensión de cómo las aguas subterráneas se mueven a través del depósito y el funcionamiento de las minas, la fuente de estas aguas subterráneas y propiedades hidráulicas, como el tiempo de residencia.

Como parte de estas actividades sobre el terreno, seis de los siete piezómetros tradicionales instalados podrían utilizarse para muestrear parámetros de calidad del agua. Para el sistema de aguas subterráneas poco profundas de páramo sin mucha importancia, los piezómetros instalados en las ubicaciones: LLDHG-009A, LLDHG-009B, LLDHG-0010A, LLDHG-010B son capaces de monitorear los parámetros de calidad del agua de línea base y actividades operacionales asociadas con aguas subterráneas poco profundas. LLDHG-003C y LDGT-006 se pueden utilizar para monitorear las condiciones de calidad del agua subterránea de la roca profunda.

Estas muestras fueron tomadas durante la campaña de perforación hidrogeológica en julio del 2017, para la caracterización de la hidrogeología y la calidad de las aguas subterráneas. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio acreditado Gruentec del Ecuador (SAE LEN 05-008).

En la toma de muestras de agua subterránea, se adoptó el procedimiento de 'ubicación del sondeo mediante GPS'. Con la ayuda de un medidor de niveles de agua se determinó la profundidad del nivel freático, como la profundidad del sondeo, con lo cual se calculó la altura del agua en el pozo, que, al medir el diámetro del sondeo, se puede calcular el volumen de la columna de agua; mediante un bailer, se extrajo tres veces el citado volumen antes de tomar la muestra de agua subterránea, bailer que no tenía uso (estéril), que luego fue desechado.

Los resultados fueron comparados de manera referencial con los Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas Dulces, Marinas y Estuarios (Acuerdo Ministerial

097-A, publicado en el Registro Oficial Edición Especial No, 387 del 4 de noviembre de 2015, Anexo 1, Tabla 2) y <sup>11</sup>.

Al no contar a nivel nacional con una normativa ambiental vigente para criterios de calidad de agua subterránea, se ha considerado la recomendación del memorandun técnico para el Proyecto Loma Larga, emitido por ITASCA Denver Inc. (Anexo C\_Respaldos LB\_C.1\_Físico\_C.1.21 Estándar de Calidad de Agua), donde se ha efectuando un análisis comparativo utilizando ciertos parámetros y valores del Perfil II de la División de Protección de Ambiental de Nevada, contemplando el siguiente criterio técnico:

*“DPAN proporciona una lista de perfiles analíticos que está diseñada para obtener información crítica sobre la calidad del agua para las operaciones mineras, incluido el procesamiento de minerales.*

*La lista está diseñada para proporcionar una caracterización completa de la calidad del agua en un entorno minero. y, por lo tanto, también incluye parámetros que son críticos para comprender la calidad general del agua, pero para los cuales es posible que no se apliquen las normas reglamentarias. La lista DPAN Perfil II también proporciona valores de referencia para muchos de los parámetros que están diseñados para proteger la salud humana.”*

La calidad del agua se aplicará a los acuíferos de aguas subterráneas con los suelos de arcilla (0-25 %) y materia orgánica (0-10 %). Las aguas subterráneas de las muestras que fueron analizadas en este estudio fueron en roca, por lo que el contenido de materia orgánica y de arcilla es muy inferior al rango de la norma ecuatoriana y la norma DPAN, 2014.

En la Tabla 6-138 se resumen los análisis químicos efectuados en el 2007, que se pueden tener como referencia para la línea base ambiental.

---

<sup>11</sup> Actualmente, **a nivel nacional, no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas.**

Página en blanco

**Tabla 6-138 Resultados de Laboratorio de las Aguas Subterráneas de Loma Larga (2017)**

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
<b>Parámetros Físicos</b>																				
pH (unidades de pH)	7,8	7,2	7,3	5,2	-	6,1	5,7	4,7	6,9	7,9	5	4,7	5,6	6,8	7	6,9	7	6,5 – 8,5	6,5-9	SM 4500 H/MM-AG/S-01
Conductividad (µS/cm)	193	82	100	11	-	14	24	25	12	19	37	73	10	197	15	13	813	N/A	N/A	EPA 9050 A/MM-AG/S-02
Oxígeno disuelto	5,7	4,1	3,8	5	-	6,8	6,8	7	6,9	6,9	6,8	6,7	6,8	-	-	-	-	N/A	N/A	SM 4500 O.G/MM-AG-03
Saturación de oxígeno (%)	83,3	60,2	57,6	71,6	-	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	20,3	93,7	>100	5,6	N/A	>80	SM 4500 O.G/MM-AG-03
Sólidos gravimétricos disueltos	147	70	89	45	-	32	31	38	22	<15	36	37	29	538	59	38	544	N/A	N/A	SM 2540 O MM-AG-47B
Total sólidos suspendidos	27	101	12	435	-	73	7	61	<5	<5	<5	<5	<5	32	<5	5	473	N/A	10 % de aumento sobre la condición natural	SM 2540 D/MM-AG-05
<b>Aniones y No Metales</b>																				
Alcalinidad de bicarbonato como carbonato	88	34	29	<6	-	<6	<6	<6	<6	9	<6	<6	<6	71	7	6	123	N/A	N/A	SM 2320/MM-AG-09
Alcalinidad total como carbonato	88	34	29	<5	-	<5	<5	<5	5	9	<5	<5	<5	71	7	6	123	N/A	N/A	SM 2320/MM-AG-09
Bicarbonato	107	41	36	<6	-	<6	<6	<6	6	11	<6	<6	<6	87	9	8	149	N/A	N/A	SM 2320/MM-AG-09
Amoníaco	<0,02	0,03	0,02	0,05	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,04	0,04	0,8	<0,02	0,04	2,3	N/A	N/A	SM 4500 Norg/ MM-AG-15
Cloruro	1,6	0,69	0,27	0,2	-	1,8	4,9	5,2	0,84	0,76	8,7	18	1,6	10	0,27	0,41	93	400	N/A	EPA 300.1/MM-AG-37
Fluoruro	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	<0,05	<0,05	<0,1	4	N/A	EPA 300.1/MM-AG-37
Nitrato	0,23	0,2	0,23	<0,05	-	0,35	0,23	0,22	0,22	0,24	0,22	0,22	0,42	0,19	0,16	0,25	<0,1	N/A	13	EPA 300.1/MM-AG-37
Nitrito	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,1	N/A	0,2	EPA 300.1/MM-AG-37
Sulfato	16	7	21	0,3	-	<0,05	<0,05	0,07	0,06	0,34	<0,05	0,06	<0,05	19	0,25	0,33	150	500	N/A	EPA 300.1/MM-AG-37

<sup>12</sup> Considerando que a nivel nacional no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas, los resultados obtenidos, como se puede observar en la Tabla 6-138, fueron comparados referencialmente con la Tabla 2. Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios y con los parámetros y valores del Perfil II de la NPED, 2004.

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
Cianuro	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	N/A	N/A	SM 4500 CN/MM-AG-28
Cloro residual tota	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N/A	0,01	EPA 330.5 / MM-AG-07
Sulfuro	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	-	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	N/A	N/A	EPA 376.2/MM-AG-33
Sulfuro como sulfuro de hidrógeno	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	-	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	N/A	N/A	EPA 376.2 / MM-AG-33
<b>Producto Químicos Orgánicos</b>																				
Aceites y grasas	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,3	<0,3	<0,3	10	N/A	0,3	EPA 1664/MM-AG/S-32
Demanda bioquímica de oxígeno	2	<2	<2	<2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	<2	<2	123	N/A	20	SM 5210 B.O/MM-AG-19
Demanda química de oxígeno	<5	<5	<5	107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	<5	<5	1000	N/A	40	SM 5220 D/MM-AG-18
Fenoles	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	N/A	0,001	EPA 420.1/MM-AG-25
Total de hidrocarburos de petróleo (C8-C40)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	N/A	0,5	EPA 8015 D/MM-AG-23
Tensoactivos	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	N/A	0,5	SM 5540/MM-AG-26
<b>Metales en Agua</b>																				
Cromo hexavalente	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	N/A	EPA 3060 A/7196 A / MM-AG-38
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos</b>																				
Benzo (a) pireno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG-22
Benzo (b) fluoranteno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG-22
Benzo (g, h, i) pireno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	N/A	EPA8270 D/MM-AG-22
Benzo (k) fluoranteno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	N/A	EPA 8270 D/MM-AG-22
Fluoranteno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	N/A	EPA 8270 D/MM-AG-22

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
Indene (1, 2, 3-cd) pireno	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	N/A	N/A	EPA8270 D/MM-AG-22
<b>Parámetros Microbiológicos</b>																				
Coliforme fecal (MPN/100 ml)	<30	<30	<30	<30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	N/A	SM 9223 A.B/MM-AG/S-20
Total coliformes (MPN/100 ml)	<30	<30	<30	<30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	N/A	SM 9223 A.B/MM-AG/S-20
<b>Total Metales</b>																				
Aluminio	0,05	3,5	0,01	29	0,62	0,03	0,05	0,14	0,07	0,09	0,03	0,24	0,05	0,07	0,15	0,22	7,4	0,2	0,1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Antimonio	0,0001	0,0005	<0,0001	0,0014	0,0003	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0002	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	0,0006	0,006	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Arsénico	0,0009	0,016	0,0086	0,023	0,0062	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,012	<0,0005	<0,0005	0,044	0,01	0,05	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Azufre	3	<2	5	<2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	10	5	43	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Bario	0,16	0,093	0,055	0,15	0,029	0,012	0,027	0,03	0,0045	0,0027	0,054	0,1	0,0077	0,25	0,016	0,012	0,35	2	1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Berilo	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	0,004	0,1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Boro	<0,02	<0,04	<0,02	<0,04	<0,02	0,03	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,04	N/A	0,75	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cadmio	<0,0001	<0,0002	0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,005	0,001	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Calcio	26	8,6	12	1,3	0,96	0,4	2	2	0,52	1,8	1,5	1,9	0,15	23	1,2	1,1	47	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cerio	<0,0001	0,0024	<0,0001	0,012	0,0014	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,0004	0,0094	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cesio	0,0001	0,0002	0,0012	0,0025	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0005	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0014	<0,0001	<0,0001	0,003	-	N/A	EPA6020 B/MM-AG/S-39
Cobalto	0,0058	0,0028	0,0015	0,0022	0,001	0,0003	0,0008	0,0046	0,0003	0,0047	0,0084	0,0039	0,0002	0,0066	0,0022	0,0023	0,0012	N/A	0,2	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cobre	<0,005	0,025	0,05	0,044	0,007	<0,005	0,007	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	0,027	0,012	0,01	1	0,005	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cromo hexavalente	<0,0002	0,0024	<0,0002	0,0077	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0005	<0,0002	<0,0002	0,048	N/A	0,032	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Disprosio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0008	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0008	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Erbio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 # 1 SURFACE	LLDHG-012 # 2 SURFACE	LLDHG-012 # 3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
Estaño	0,0046	<0,001	0,0007	<0,001	<0,0005	0,041	0,003	0,0018	0,0023	0,0037	0,0035	0,0019	0,0015	0,0035	0,0061	0,0023	0,003	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Estroncio	0,39	0,12	0,13	0,05	0,016	0,01	0,036	0,041	0,0098	0,021	0,028	0,041	0,0026	0,16	0,019	0,017	0,42	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Europio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Fósforo	0,12	<0,1	<0,05	0,25	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,3	0,49	0,14	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Gadolinio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0011	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0008	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Galio	<0,0002	0,001	<0,0002	0,0081	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0023	-	N/A	EPA6020 B/MM-AG/S-39
Germánico	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Hafnio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0007	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Hierro	0,28	2,9	0,59	12	1,5	<0,02	0,09	0,09	<0,02	0,03	1,4	5,4	0,06	6,7	0,25	0,13	4,1	0,6	0,3	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Holmio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Lantano	<0,0001	0,0012	<0,0001	0,0053	0,0004	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0046	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Litio	0,009	<0,001	0,0019	0,0039	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005	0,0013	<0,0005	0,0063	<0,0005	<0,0005	0,038	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Lutecio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Magnesio	3	1,3	2	1,7	0,21	0,03	0,08	0,11	0,05	0,14	0,14	<0,02	<0,02	3,1	0,28	0,3	5,4	150	N/A	EPA6020 B/MM-AG/S-39
Manganeso	0,082	0,27	0,78	0,075	0,045	0,011	0,053	0,078	0,0074	0,012	0,32	0,44	0,013	0,7	0,0025	<0,0005	0,64	0,1	0,1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Mercurio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	0,002	0,0002	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Molibdeno	0,0005	<0,0004	0,0003	0,0044	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,002	0,089	0,041	0,027	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Neodimio	<0,0001	0,0015	<0,0001	0,0071	0,0011	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0002	0,0044	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Niobio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0008	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Níquel	<0,001	<0,002	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	N/A	0,025	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Plata	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0002	0,1	0,01	EPA 6020 B/MM-AG/S-39

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
Plomo	<0,0005	0,0024	<0,0005	0,028	0,0008	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	0,0016	0,0014	0,013	0,015	0,001	EPA6020 B/MM-AG/S-39
Potasio	1,9	0,68	0,84	0,95	0,28	0,52	0,7	0,59	0,31	0,72	0,79	1,1	0,27	1,3	0,16	0,86	4,6	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Praseodimio	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,0015	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0011	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Rubidio	0,0031	0,0014	0,0032	0,0069	0,0007	0,0015	0,0015	0,0013	0,0008	0,0022	0,0019	0,0036	0,0008	0,0047	0,0014	0,0011	0,014	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Samario	<0,0001	0,0004	<0,0001	0,0015	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0009	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Selenio	<0,001	<0,002	<0,001	<0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	0,05	0,001	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Silicio	21	10	17	25	4,1	8,2	7,8	7	7	6,9	6,8	7	6,9	5	4,6	4,7	3,9	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Sodio	15	4,3	6,5	0,62	0,46	1,1	1,2	1,1	1,2	1,7	1,3	1	0,64	12	1,1	1,2	89	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Talio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	0,002	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Tantalio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Telurio	<0,0002	<0,0004	<0,0002	0 0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Titanio	<0,0005	0,025	<0,0005	0,3	0,014	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0047	<0,0005	<0,0005	0,0031	0,0048	0,059	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Torio	<0,0001	0,0005	<0,0001	0,0014	<0,0001	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	<0,0001	0,0004	<0,0001	0,0017	0,0017	0,0008	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Tulio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Uranio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Vanadio	<0,0002	0,083	<0,0002	0,13	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	N/A	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Tungsteno	0,001	0,0072	0,0025	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0018	0,0002	<0,0002	0,0067	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Iterbio	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Zinc	0,011	0,011	0,02	0,035	0,007	0,008	0,016	0,007	<0,005	0,01	0,023	0,013	<0,005	0,017	0,15	0,038	0,15	5	0,03	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Circonio	<0,0001	0,0005	<0,0001	0,0044	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0007	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Bismuto	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	-	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	-	-	-	-	-	N/A	EPA 6020 B/MM-AG/S-39

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
<b>Pesticidas Organoclorados</b>																				
a-BHC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
a-Clordano	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Alacloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Aldrin	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
b-BHC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Butaclor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Clorotalonil	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Cloro-dimetil	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
d-BHC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Dieldrina	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Endosulfan I	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Endosulfan II	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Sulfato de endosulfán	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Endrin	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Endrin Aldehyde	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
g-BHC	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
g-Clordano	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Heptacloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Epóxido de heptacloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Metolacloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
Metoxicloro	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Oxifluorfen	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
p,p' DDD	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
p,p'-DDE	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
p,p'-DDT	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Quintozeno	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Total pesticidas organoclorados	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
<b>Plaguicidas de Organofosfato</b>																				
Acetato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Cadusafos	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Clorpirifos	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Diazinón	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Diclorvos + Triclorfo	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Dimetoato	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Disulfoton	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Paratión etílico	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Etoprop	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Fenclorophos	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Forato	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Malatión	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 #1 SURFACE	LLDHG-012 #2 SURFACE	LLDHG-012 #3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
Metamidofos	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Metil Paratión	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Mevinfós	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Terbufos	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Plaguicidas totales organofosfato	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
<b>Peretrinas</b>																				
Cyhalothrin (mg/L)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Ciflutrina	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Cipermetrina	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Deltametrina	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
Fenvalerato	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Permetrina	<0,00013	<0,00013	<0,00013	<0,00013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8270 D/MM-AG/S/VEG-27
Piretrinas Totales	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 8270 D/MM-AG/SA/EG-27
<b>Clorofenoles-</b>																				
2,4,5-Triclorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/MM-AG/S-52
2,4,6-Triclorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/MM-AG/S-52
2,4-Diclorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/MM-AG/S-52
2-Clorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/MM-AG/S-52
4-Cloro-3 Metilfenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/ MM-AG/S-52
Pentaclorofenol	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	EPA 528/ MM-AG/S-52
<b>Biphenyls Policlorados (PCB)</b>																				
Aroclor 1016	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	N/A	EPA 8082

Nombre de la Muestra	LLDHG-009	LLDHG-009 <sup>a</sup>	LLDHG-010	LLDHG-010A	Dissolved LLDHG-010A	LLDHG-012 #1	LLDHG-012 #2	LLDHG-012 #3	LLDHG-012 #4	LLDHG-012 #5	LLDHG-012 # 1 SURFACE	LLDHG-012 # 2 SURFACE	LLDHG-012 # 3 SURFACE	LLDGT-006	WD-HOSE	WD-PONDS	LLDGT-003C	DPAN Perfil II	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>12</sup> .	Método de Referencia Adoptado/ Método Interno
Datos de la Muestra	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	09-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	17-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17	21-jul-17			
Aroclor 1221	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1232	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1242	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1248	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1254	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1260	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1262	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Aroclor 1268	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A	EPA 8082
Total PCBs	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	EPA 8082
Itasca Note 1: Todas las concentraciones en mg/L, a menos que se especifique lo contrario																				
Grüntec Note 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones se basan en el material e información proporcionado por el cliente para el que se preparó este informe de manera exclusiva y confidencial.																				
Grüntec Note 2: El muestreo fue realizado por el cliente.																				
Nota 1: <span style="color: red;">■</span> Parámetros que sobrepasan los Criterios de Calidad establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1																				
Nota 2: <span style="color: orange;">■</span> Parámetros que sobrepasan los Criterios de Referencia del Perfil II de la División de Protección Ambiental de Nevada (DPAN)																				
Nota 3:-Parámetros que no fueron analizados																				

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2017  
 Recopilación: Entrix, marzo 2022

Página en blanco



hidrogeoquímica por estar circulando en un medio de alta mineralización y en un ambiente muy cercano a una caldera volcánica, como es el caso de la muestra de LLHDG-003C.

#### 6.1.2.4.2 Monitoreo de los Niveles Piezométricos y de Calidad del Agua Subterránea

Como parte del trabajo para la realización de la línea base Hidrogeológica, en el Proyecto Loma Larga se construyeron piezómetros que permitan obtener datos de calidad de agua, nivel freático, datos de frecuencia de piezómetros de cuerda vibrante.

A continuación, se presenta el diseño de construcción de cada uno de los piezómetros, su localización se presentó en la Tabla 6-122 Ubicación y Característica de los Piezómetros.

Contexto:

En el proyecto Loma Larga existen tres tipos de piezómetros:

- > Convencionales: medición de nivel freático.
- > Calidad de agua: medición de nivel freático y datos de calidad de agua subterránea.
- > Cuerda vibrante: datos de frecuencia y temperatura.

#### PIEZÓMETROS CONVENCIONALES:

- > Este tipo de piezómetros fueron construidos con el objetivo de obtener mediciones del nivel freático.
- > Existen 10 piezómetros de este tipo, de los cuales en la actualidad 8 se encuentran activos y con mediciones mensuales (IQD-250, IQD-336 están inactivos por presentar daños en la tubería)

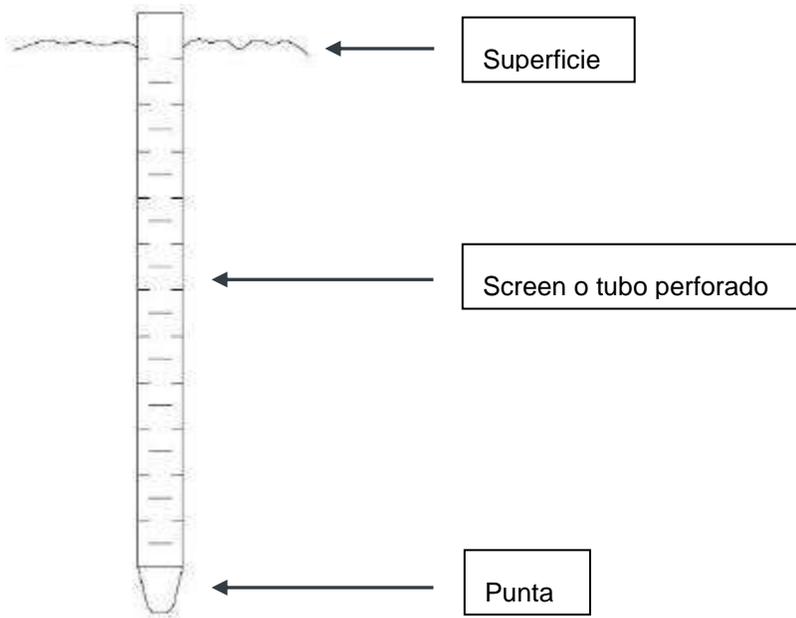
**Tabla 6-139 Características de los Piezómetros Convencionales**

PIEZÓMETROS CONVENCIONALES (PZ)			
Piezómetro	Longitud (m)	Inclinación (°)	Nivel de Agua (m)
IQD-232	201,38	-80	0,99
IQD-270	190,00	-75	15,00
IQD-273	199,64	-80	101,3
IQD-276	161,30	-90	59,25
IQD-291	185,92	-80	5,7
IQD-293	173,30	-80	43,60
IQD-319	193,59	-80	55,00
IQD-357	178,30	-85	46,00

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINECDPMECUADOR SA, 2022

Elaboración: Entrix, marzo 2022

- > Para estos piezómetros se aprovecharon sondajes exploratorios.
- > El diseño consiste en tubería perforada de PVC de 2 pulgadas (como se muestra en la imagen) desde el fondo del sondaje hasta la superficie, esto con el fin de que ingrese agua a la tubería a lo largo de todo el pozo.



Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2022  
Elaboración: Entrix, junio 2022



Tubería perforada (screen) por donde ingresa agua al piezómetro

### Figura 6-201 Diseño de los Piezómetros Convencionales

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2022  
Elaboración: Entrix, junio 2022

- > El mantenimiento se lo realiza mensualmente, consiste en remover el volumen de agua contenido para evitar la acumulación y sedimentación de material particulado, presencia de materia orgánica que pueda afectar el buen funcionamiento del pozo.

#### PIEZÓMETROS DE CALIDAD DE AGUA:

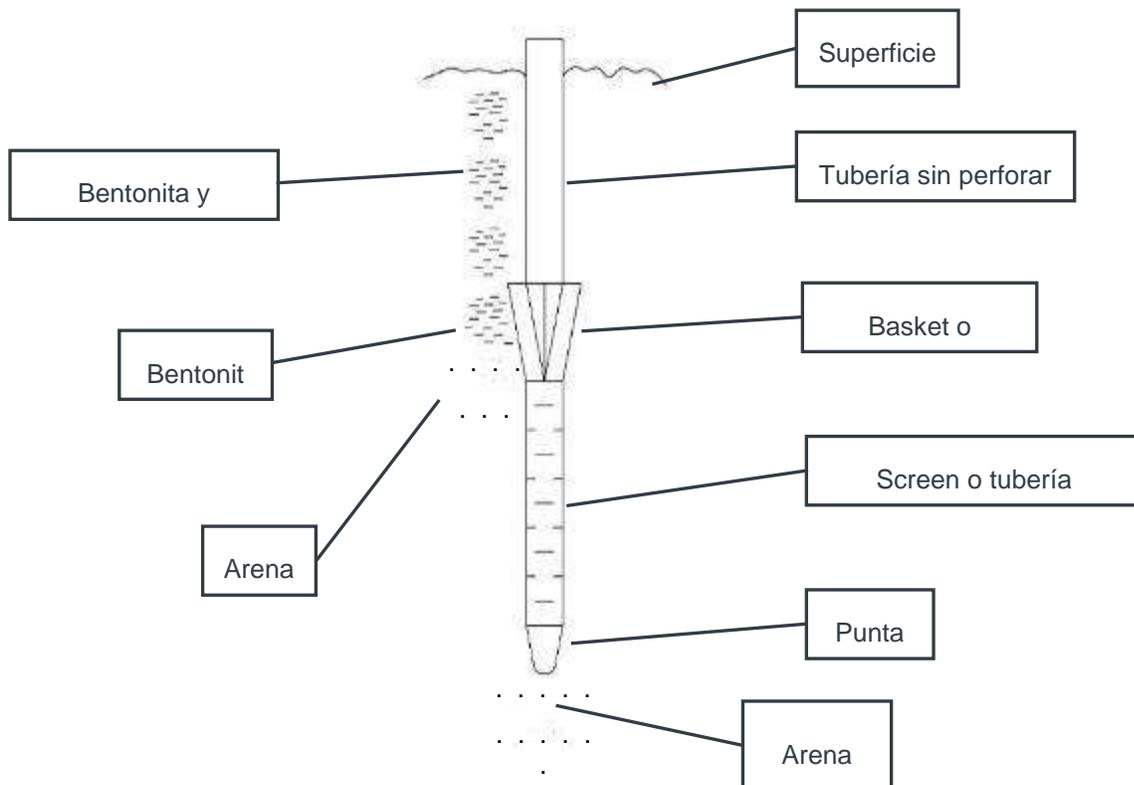
- > El objetivo de estos piezómetros es obtener muestras de calidad de agua subterránea a una profundidad determinada.
- > Existen 8 piezómetros de este tipo, elaborados mediante una campaña de perforación geotécnica e hidrogeológica.

**Tabla 6-140 Características de los Piezómetros de Calidad de Agua**

PIEZÓMETROS DE CALIDAD DE AGUA (WQ)			
Piezómetro	Longitud (m)	Inclinación (°)	Canasta (m)
LLDHG-003C	134,20	-90	60,00
LLDGT-006	231,04	-60	60,00
LLDGT-009	22,86	-90	18,00
LLDGT-009 <sup>a</sup>	12,50	-90	12,00
LLDGT-010	15,24	-90	16,00
LLDGT-010 <sup>a</sup>	2,20	-90	1,00
LLDHG-013	156,98	-75	90,00
LLDHG-014	60,85	-90	35,00

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2022  
Elaboración: Entrix, junio 2022

- > El diseño consiste en una tubería perforada de PVC de 2 pulgadas la misma que se extiende hasta el objetivo a muestrear, una canasta que sirve para dividir el nivel a recolectar agua (para mejor rendimiento y seguridad se instalan 3 canastas consecutivas) y una tubería sin perforar en la parte superior del sistema que impide el acceso de agua de escorrentía o subsuperficial, para sellar este equipo se utiliza una mezcla de bentonita en forma de pasta para expandir la canasta y una mezcla de bentonita, cemento y agua para sellar el pozo.





Canastas de acero



Pasta a base de bentonita

### Figura 6-202 Diseño de los Piezómetros para Calidad de Agua Subterránea

Fuente: DPMECUADOR SA, 2022  
Elaboración: Entrix, marzo 2022

- > El muestreo de este tipo de piezómetros se lo realiza de forma trimestral
- > Previo al muestreo se hace el “lavado del pozo”, consiste en remover 3 veces el volumen de agua contenido en el piezómetro, para esto se utiliza una bomba de 1.8 pulgadas que se introduce en el pozo, la profundidad máxima es de 60 metros, pero con rendimiento efectivo se puede utilizar en pozos donde el nivel freático se encuentre máximo hasta 30 metros de profundidad.
- > También se utilizan bailers plásticos en pozos donde el nivel freático es mayor a 60 metros o cuando las uniones de la tubería del piezómetro impiden que la bomba pueda ser introducida.

**Tabla 6-122 Volumen de Agua promedio a ser removida antes del muestreo**

Hole-ID	Volumen	Volumen	Volumen x3
	(m3)	(L)	(L)
LLDGT-003C	0.251	251.105	753.316
LLDGT-006	1.260	1259.919	3779.758
LLDHG-009	0.064	64.101	192.302
LLDHG-009 <sup>a</sup>	0.056	56.291	168.873
LLDHG-010	0.067	67.226	201.678
LLDHG-010 <sup>a</sup>	0.009	8.694	26.082
LLDHG-013	0.653	653.086	1959.257
LLDHG-014	0.254	254.359	763.077

Fuente: DPMECUADOR SA, 2022  
Elaboración: Entrix, marzo 2022



**Figura 6-203 Muestreo con Bomba y Bailer**

Fuente: DPMECUADOR SA, 2022  
Elaboración: Entrix, junio 2022

**PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE:**

- > El objetivo de estos piezómetros es obtener datos de frecuencia del pozo obtenidos por transductores localizados en diferentes profundidades (generalmente asociado a zonas con movimiento de agua, fallas, fracturas, etc).
- > Estos datos de frecuencia pueden servir para determinar flujos de agua, variación de la tabla de agua, etc.
- > Existen 5 piezómetros de este tipo instalados en el proyecto Loma Larga, en la zona del depósito.

**Tabla 6-122 Características de los Piezómetros de Cuerda Vibrante**

PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE (VW)					
Piezómetro	Longitud (m)	Inclinación (°)	Profundidad (m)		
			XD1	XD2	XD3
LLDGT-005	220,70	-70	183,00	128,00	84,50
LLDGT-007	213,30	-70	185,00	150,00	-
LLDHG-008	231,30	-60	150,00	105,00	67,50
LLDHG-011	208,79	-74	98,79	-	-
LLDHG-012	109,73	-80	106,00	97,00	79,00

Fuente: DPMECUADOR SA, 2022  
Elaboración: Entrix, marzo 2022

- > El diseño consiste en introducir tubería PVC de 1 pulgada al interior del pozo a la cual van amarrados los transductores, que, dependiendo del objetivo, se instalan 1, 2 o 3 transductores. Los datos se

almacenan en un data logger y se descargan mediante una computadora y el software determinado en el cual se calibran y configuran los transductores.



Transductores de cuerda vibrante



Data logger



Instalación de los transductores

### Figura 6-204 Diseño de los Piezómetros de Cuerda Vibrante

Fuente: DPMECUADOR SA, 2022  
Elaboración: Entrix, junio 2022

- > La información de estos piezómetros se descarga mensualmente y se mantiene en una base de datos en Excel.
- > El mantenimiento del Data Logger, que incluye cambio de baterías, se lo realiza trimestralmente, aunque debido a las condiciones climáticas puede ser antes o después del tiempo programado.



**Figura 6-205 Descarga de datos mediante software de Geokon**

Fuente: DPMECUADOR SA, 2022  
Elaboración: Entrix, junio 2020

### **Conclusiones**

Actualmente se cuenta con resultados de análisis químico de agua subterránea por dos años consecutivos, desde julio del 2017 hasta abril del 2019.

En base a la experiencia de este trabajo, la limpieza se la debe llevar a cabo al menos dos semanas antes para garantizar las mejores condiciones de los piezómetros.

Con la instalación de estos tres tipos de piezómetros y la presente metodología descrita se tiene garantizada el control y monitoreo de las aguas subterráneas en el Proyecto Minero Loma Larga



**Figura 6-206 Ubicación de los Piezómetros**

Fuente: DPMECUADOR SA, 2022  
Elaboración: Entrix, junio 2020

#### 6.1.2.4.3 Geoquímica de Rocas y Condiciones de Calidad del Agua Subterránea en el PLL

La composición química del agua subterránea en los sistemas de páramo y roca subyacente en el sitio de estudio está en función de los tipos de roca con los que está en contacto y el período de tiempo que se mantiene dicho contacto. La composición química del agua subterránea en el sistema de páramo es similar al agua de lluvia, teniendo tiempos de contacto muy cortos con la roca. El agua subterránea profunda que se mueve a través de las fracturas y juntas del sistema de roca subyacente más profunda ha tenido un mayor tiempo de contacto con la roca debido a las bajas velocidades de flujo de agua. Por lo tanto, el agua contiene más sales disueltas, metales y otros componentes. Si bien el agua subterránea de la zona de roca madre profunda está en contacto con roca mineralizada, la lixiviación química de la roca mineralizada es limitada debido a la ausencia de oxígeno.

Cuando la mina entre en funcionamiento y las actividades de drenaje den como resultado una disminución de la capa freática en el sistema de roca subyacente, se introducirá oxígeno y se producirán reacciones de oxidación entre el agua subterránea y las rocas mineralizadas del depósito. Estas reacciones pueden aumentar la acidez del agua subterránea que se encuentra en contacto con la roca, lo que puede disolver metales en el agua subterránea que ingrese a las instalaciones de la mina.

La mayoría de los tipos de roca en el área del depósito contienen metales y pirita, que, con la oxidación, dará como resultado una degradación de la química del agua, en el agua que ingrese a la mina durante las operaciones. La excepción de esto son un tipo de roca inerte denominada dacita, que está presente en las afueras del yacimiento y en las zonas montañosas al oeste de la mina y en el cráter y lavas andesíticas

jóvenes que cubren el depósito mineral al norte y noroeste de la mina. Estas rocas no contienen piritita y, por lo tanto, no tienen potencial de generar ácido como resultado de la oxidación de la piritita.

Debido a las reacciones químicas que genera el drenaje ácido de rocas que requieren oxígeno, solo las aguas subterráneas que se filtran activamente durante en el funcionamiento de la mina se verán afectadas. Durante las operaciones de la mina, debido al bombeo y el drenaje, toda el agua subterránea en las proximidades de la mina fluirá hacia las instalaciones de la mina; por lo tanto, cualquier agua afectada será capturada y eliminada de la mina.

Para proporcionar estimaciones de cómo cambiará la química del agua subterránea como resultado de la minería, se realizaron pruebas en cada uno de los tipos de rocas, utilizando métodos sofisticados de laboratorio que predicen las tasas y cantidades de lixiviación de metal y acidificación. Estas pruebas consistieron en dos tipos generales: pruebas estáticas y pruebas cinéticas. La prueba estática es simplista y clasifica la roca como no generadora de ácido o potencialmente generadora de ácido. Esta clasificación se basa en la presencia de minerales generadores de ácido, como la piritita, y la presencia de minerales neutralizantes, como la calcita. Las pruebas cinéticas son más rigurosas y se realizan en un laboratorio donde se permite que las muestras de cada tipo de roca pueden reaccionar con el agua durante muchos ciclos de humedecimiento y secado. A partir de las pruebas cinéticas, las tasas de generación de ácido y la masa total de cada metal liberado en el agua se cuantifican en una tasa de liberación de masa (*mass release rate*). Esta tasa de liberación de masa se determina como una función del área de la superficie total de la muestra y se usa para predecir el potencial de generación de ácido en función del área de la superficie expuesta de las instalaciones mineras.

A partir de las tasas de liberación de masa determinadas mediante las pruebas cinéticas y los resultados del modelo de flujo de agua subterránea, se hicieron predicciones de la composición química del agua que se bombeará fuera de la mina durante la operación. Los valores simulados de la composición química del agua que reaccione con la roca de caja al interior de la mina y que llegaría al sistema de tratamiento como efluente de drenaje no tratado, se muestra en la Tabla 6-141.

**Tabla 6-141 Química Prevista de la Calidad del Agua de Drenaje de la Mina**

Parte 1 de 2				Parte 2 de 2			
Parámetro (mg/L)	Baja	Base	Alta	Parámetro (mg/L)	Baja	Base	Alta
pH	5,5	5,0	4,3	Mg	3,0	4,1	5,2
Ag	0,00010	0,00015	0,00020	Mn	0,78	0,97	1,17
Al	0,073	3,6	7,1	Mo	0,0043	0,017	0,030
Alcalinidad	68	93	120	NH <sub>3</sub>	0,77	1,49	2,21
As	0,016	0,030	0,044	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,050	0,074	0,098
B	0,020	0,030	0,039	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	29	58	87
Ba	0,24	0,29	0,34	Na	12	48	85
Be	0,00028	0,00036	0,00045	Nd	0,00010	0,0022	0,0042
Bi	0,019	0,019	0,019	Ni	0,0013	0,0022	0,0056
Ca	22	34	46	O(0)	0	0	0
Cd	0,00038	0,00047	0,00056	P	0,07	0,13	0,19
Cl	9,6	49	89	Pb	0,002	0,009	0,019
Co	0,0015	0,0044	0,0087	Rb	0,0046	0,0090	0,013

Parte 1 de 2			
Parámetro (mg/L)	Baja	Base	Alta
Cr	0,00073	0,023	0,046
Cu	0,0053	0,0080	0,011
Cs	0,0013	0,0021	0,0029
F	0,10	0,13	0,16
Fe	9,0	20	36
Ga	0,00020	0,0012	0,0022
Gd	0,00010	0,00044	0,00077
Hf	0,00010	0,00020	0,00029
Hg	0,00010	0,00015	0,00020
Ho	0,00010	0,00015	0,00020
K	1,3	2,9	4,4
La	0,00010	0,0023	0,0044
Li	0,0061	0,021	0,036

Parte 2 de 2			
Parámetro (mg/L)	Baja	Base	Alta
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	39	120	210
Sb	0,0090	0,0092	0,0093
Se	0,011	0,0111	0,012
Si	4,3	4,9	5,8
Sn	0,0030	0,0033	0,0036
Sr	0,15	0,28	0,40
Th	0,00016	0,00050	0,00084
Ti	0,0020	0,0021	0,0021
Tl	0,00010	0,00015	0,00020
U	0,00010	0,00053	0,00096
V	0,00020	0,00030	0,00039
Zn	0,019	0,086	0,292
Zr	0,00010	0,00039	0,00068

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2020  
Recopilación: Entrix, julio 2020

Estas predicciones se utilizaron para diseñar la planta de tratamiento de agua y garantizar que toda el agua descargada, producto del drenaje de agua hacia el interior de la mina, cumpla con todos los estándares de calidad de agua aplicables. Estas predicciones también se hicieron para las aguas que ingresarán a la rampa producto del drenaje y se resumen en el estudio de Itasca (2017b). Se determinaron mensualmente para la mina, y las predicciones mensuales finales de la química del agua, simuladas al finalizar la mina, se muestran en la Tabla 6-143. Las predicciones se realizaron en relación al rango de mediciones de química del agua observadas y se muestran como predicciones altas, bajas y de base, que corresponden a los rangos de la química de agua observadas en el muestreo de campo y los resultados de laboratorio.

Cuando la actividad minera se detenga y la mina pueda rellenarse con agua subterránea, el oxígeno ya no estará presente para permitir que estas reacciones de formación de ácido tengan lugar. Además, la mina se rellenará con relaves que se mezclarán con cemento, que neutraliza el ácido. La ausencia de oxígeno y la presencia de cemento neutralizador de ácido detendrá todas las reacciones generadoras de ácido después del cierre de la mina. La potencial descarga de aguas desde las instalaciones de la mina a las aguas subterráneas profundas y el agua superficial se monitoreará de cerca después del cierre de la mina.

### Monitoreo de Calidad del Agua Subterránea

El monitoreo de calidad de agua subterránea se empezó en julio del 2017; hasta abril del 2019, se han completado dos años de muestreos consecutivos.

Se ha tomado muestras en los piezómetros: LLDGT-003C, LLDGT-006, LLDHG-009, LLDHG-009A, LLDHG-010, LLDHG-010A, LLDHG-013 y LLDHG-014. Se obtuvieron parámetros de campo, tales como: pH, conductividad, temperatura y sólidos disueltos.

Página en blanco

#### 6.1.2.4.4 Resultados

**Tabla 6-142 Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2018)**

Nombre de la Muestra	LLDG T-003C	LLDGT-006	LLDH G-009	LLDH G-009A	LLDH G-010	LLDH G-010A	LLDHG-013	LLDH G-014	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>14</sup> .	DPAN* Perfil II
Datos de la Muestra	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18		
<b>Parámetros Físicos</b>										
pH	6,2	6,5	7,3	6,7	6,2	5,2	7,9	8,1	6,5 -9	6,5 – 8,5
Conductividad µS/cm	143	196	183	102	102	14	194	177	N/A	N/A
Oxígeno disuelto mg/L	1,8	1,1	3,9	3,9	3,6	1	4,2	3,5	N/A	-
Oxígeno saturación %	26	15,8	49,4	49,8	41,6	14,1	54,8	39,8	> 80	N/A
Sólidos disueltos gravimétricos mg/L	103	143	338	130	94	35	171	2023	N/A	N/A
Sólidos suspendidos totales mg/L	35	5	7	157	<5	38	26	<5	máx. incremento de 10 % de la condición natural	N/A
<b>Aniones y No Metales</b>										
Alcalinidad de bicarbonatos como CaCO3 mg/L	30	78	78	36	29	<6	98	91	N/A	N/A
Alcalinidad total como CaCO3 mg/L	30	78	78	36	29	<5	98	91	N/A	N/A
Bicarbonato mg/L	37	95	95	43	35	<6	120	111	N/A	N/A
Amonio mg/L	0,49	0,35	0,03	0,03	<0,02	0,05	0,04	<0,02	N/A	N/A
Cloruro mg/L	7,6	1,7	0,59	0,43	0,06	0,06	0,44	1,6	N/A	400
Fluoruro mg/L	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	0,07	N/A	4
Nitrato mg/L	0,07	<0,05	<0,05	0,22	<0,05	<0,05	0,05	0,21	13	N/A
Nitrito mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	N/A

<sup>14</sup> Considerando que a nivel nacional no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas, los resultados obtenidos, como se puede observar en la Tabla 6-142, fueron comparados referencialmente con la Tabla 2. Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. Además, se considera lo establecido por la División de Protección Ambiental de Nevada (DPAN): Parámetros y Valores de referencia del Perfil II.

Nombre de la Muestra	LLDG T-003C	LLDGT-006	LLDH G-009	LLDH G-009A	LLDH G-010	LLDH G-010A	LLDHG-013	LLDH G-014	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>14</sup> .	DPAN* Perfil II
Datos de la Muestra	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18		
Sulfato mg/L	18	20	9,5	9,6	17	0,21	1,5	1,5	N/A	500
Cianuro libre mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	N/A	N/A
Cloro total residual mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	N/A
Sulfuro mg/L	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	N/A	N/A
Sulfuro como sulfuro de hidrógeno mg/L	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	N/A	N/A
<b>Parámetros Orgánicos</b>										
Aceites y grasas mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	N/A
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	<2	18	<2	20	N/A
Demanda química de oxígeno mg/L	10	<4	<4	<4	<4	29	143	<4	40	N/A
Fenoles mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	N/A
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,5	N/A
Sustancias tensoactivas mg/L	0,04	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,5	N/A
<b>Metales Totales</b>										
Aluminio mg/L	0,56	<0,02	0,06	0,2	0,12	0,43	0,07	0,05	0,1	0,2
Antimonio mg/L	0,0005	0,0026	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	N/A	0,006
Arsénico mg/L	0,0028	0,033	0,0011	0,066	0,015	0,0011	0,0019	0,014	0,05	0,01
Bario mg/L	0,062	0,097	0,12	0,046	0,047	0,015	0,12	0,069	1	2
Berilio mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0004	<0,0002	<0,0002	0,1	0,004
Boro mg/L	<0,04	<0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,04	<0,02	<0,02	0,75	N/A
Cadmio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0002	<0,0001	<0,0001	0,001	0,005

Nombre de la Muestra	LLDG T-003C	LLDGT-006	LLDH G-009	LLDH G-009A	LLDH G-010	LLDH G-010A	LLDHG-013	LLDH G-014	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>14</sup> .	DPAN* Perfil II
Datos de la Muestra	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18		
Calcio mg/L	8,7	22	19	10	9,2	0,72	24	18	N/A	N/A
Cobalto mg/L	<0,000 2	<0,0002	0,0004	0,0006	0,0013	0,0006	0,0004	<0,000 1	0,2	N/A
Cobre mg/L	<0,01	<0,01	0,021	0,022	0,061	<0,01	<0,005	0,008	0,005	1
Cromo mg/L	<0,000 4	<0,0004	0,0032	0,0004	0,0002	<0,000 4	<0,0002	0,0048	0,032	N/A
Estaño mg/L	<0,001	<0,001	0,0065	<0,000 5	0,0024	0,005	<0,0005	0,0066	N/A	N/A
Fósforo mg/L	<0,1	0,11	0,11	0,33	0,07	<0,1	<0,05	0,09	N/A	N/A
Hierro mg/L	1,2	3,5	0,14	3,1	1,2	1,3	0,05	<0,02	0,3	0,6
Litio mg/L	<0,001	<0,001	<0,000 5	<0,000 5	<0,000 5	<0,001	<0,0005	<0,000 5	N/A	N/A
Magnesio mg/L	1,2	2,7	2,8	1,1	1,7	0,11	1,7	0,96	N/A	150
Manganeso mg/L	0,13	0,23	0,036	0,076	0,62	0,0065	0,18	0,004	0,1	0,1
Mercurio mg/L	<0,000 2	<0,0002	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 2	<0,0001	<0,000 1	0,0002	0,002
Molibdeno mg/L	0,0034	0,0046	0,0005	0,0003	0,001	<0,000 4	0,0013	0,0007	N/A	N/A
Níquel mg/L	<0,002	<0,002	<0,001	<0,001	0,001	<0,002	<0,001	<0,001	0,025	N/A
Plata mg/L	<0,000 2	<0,0002	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 2	<0,0001	<0,000 1	0,01	0,1
Plomo mg/L	<0,001	0,0069	0,0012	0,001	<0,000 5	<0,001	<0,0005	<0,000 5	0,001	0,015
Potasio mg/L	0,98	0,82	1,2	0,61	0,47	0,24	1,8	2	N/A	N/A
Selenio mg/L	<0,002	<0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	<0,001	<0,001	0,001	0,05
Sodio mg/L	12	8,2	13	7,6	5,9	<0,1	13	17	N/A	N/A

Nombre de la Muestra	LLDG T-003C	LLDGT-006	LLDH G-009	LLDH G-009A	LLDH G-010	LLDH G-010A	LLDHG-013	LLDH G-014	Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 Tabla 2 <sup>14</sup> .	DPAN* Perfil II
Datos de la Muestra	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18	oct-18		
Talio mg/L	<0,000 2	<0,0002	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 2	<0,0001	<0,000 1	N/A	0,002
Torio mg/L	<0,000 2	<0,0002	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 2	<0,0001	<0,000 1	N/A	N/A
Tulio mg/L	<0,000 2	<0,0002	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 2	<0,0001	<0,000 1	N/A	N/A
Uranio mg/L	<0,000 2	<0,0002	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 1	<0,000 2	<0,0001	<0,000 1	N/A	N/A
Vanadio mg/L	0,0028	0,0022	0,0004	0,0008	0,0009	0,0045	0,0015	0,0097	N/A	N/A
Zinc mg/L	0,043	0,017	0,021	0,01	0,015	<0,01	0,014	0,007	0,03	5
<p>Nota 1: <span style="color: red;">■</span> Parámetros que sobrepasan los Criterios de Calidad establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1</p> <p>Nota 2: <span style="color: orange;">■</span> Parámetros que sobrepasan los Criterios de Referencia del Perfil II de la División de Protección Ambiental de Nevada (DPAN)</p>										

Fuente: INV MINERALES ECUADOR S.A. INVMINEC, 2018

Recopilación: Entrix, marzo 2022

**Tabla 6-143 Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2019)**

Nombre de la Muestra	LLDGT-003C		LLDGT-006		LLDHG-009		LLDHG-009A		LLDHG-010		LLDHG-010A		LLDHG-013		LLDHG-014		A.M. 097-A, Anexo 1	DPAN Perfil II
	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	Tabla 2 <sup>15</sup> .	
<b>Parámetros Físicos</b>																		
pH	6,2	6	6,5	6,8	6,7	6,7	6,7	6,4	6,4	6,1	5,1	5	7,5	7,5	8,2	7,9	6,5-9	6,5 – 8,5
Conductividad µS/cm	137	122	193	85	171	174	143	121	90	86	14	15	186	192	184	183	N/A	N/A
Oxígeno disuelto mg/L	1,9	1,9	1,4	5,8	2,5	2	3	3,8	3,8	3,3	1,5	2,4	4,5	3,9	2,9	2,9	N/A	-
Oxígeno saturación %	22,7	26,4	15,9	82,8	30	27,3	48	53,5	45,9	47,7	16	34,3	55	54,8	35	40,9	> 80	N/A
Sólidos disueltos gravimétricos mg/L	99	54	134	61	135	132	117	94	92	82	33	49	113	120	142	134	N/A	N/A
Sólidos suspendidos totales mg/L	10	18	10	5	18	<5	301	172	114	<5	14	30	20	<5	<5	11	máx. incremento de 10 % de la condición natural	N/A
<b>Aniones y No Metales</b>																		
Alcalinidad de bicarbonatos como CaCO3 mg/L	31	28	67	40	76	76	61	48	23	21	<6	<6	105	99	95	89	N/A	N/A
Alcalinidad total como CaCO3 mg/L	31	28	67	40	76	76	61	48	23	21	<5	<5	105	99	95	89	N/A	N/A
Bicarbonato mg/L	37	34	81	49	93	93	75	59	28	26	<6	<6	128	121	116	108	N/A	N/A
Amonio mg/L	0,45	0,25	0,4	0,03	<0,02	0,08	0,05	0,04	<0,02	0,09	0,04	0,22	<0,02	0,04	0,03	0,02	N/A	N/A
Cloruro mg/L	8,4	7,3	3	0,54	0,61	0,61	0,17	0,28	0,1	0,16	<0,05	0,07	0,25	0,25	0,73	0,93	N/A	400
Fluoruro mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	0,06	0,07	N/A	4
Nitrato mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	1,4	<0,05	<0,05	0,12	0,32	0,07	0,11	<0,05	<0,05	0,22	0,3	0,58	0,91	13	N/A
Nitrito mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	N/A
Sulfato mg/L	19	20	25	1,6	12	13	13	13	19	20	0,1	0,18	0,67	0,9	2	3,3	N/A	500
Cianuro libre mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	N/A	N/A
Cloro total residual mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	N/A
Sulfuro mg/L	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	N/A	N/A
Sulfuro como sulfuro de hidrógeno mg/L	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	N/A	N/A
<b>Parámetros Orgánicos</b>																		
Aceites y grasas mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	N/A
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	4	<2	<2	<2	<2	20	N/A
Demanda química de oxígeno mg/L	<5	<5	<5	<5	6	<5	10	<5	<5	<5	32	55	11	<5	<5	<5	40	N/A
Fenoles mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	N/A

<sup>15</sup> Considerando que a nivel nacional no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas, los resultados obtenidos, como se puede observar en la Tabla 6-143, fueron comparados referencialmente con la Tabla 2. Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios y con los parámetros y valores del Perfil de la NPED, 2004.

Nombre de la Muestra	LLDGT-003C		LLDGT-006		LLDHG-009		LLDHG-009A		LLDHG-010		LLDHG-010A		LLDHG-013		LLDHG-014		A.M. 097-A, Anexo 1	DPAN
Datos de la Muestra	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	Tabla 2 <sup>15</sup> .	Perfil II
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,5	N/A
Sustancias tensoactivas mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,5	N/A
<b>Metales Totales</b>																		
Aluminio mg/L	<0,01	0,03	<0,01	0,09	0,02	0,02	1,2	0,23	0,07	0,1	0,37	0,81	0,02	0,03	<0,01	0,12	0,1	0,2
Antimonio mg/L	<0,0001	<0,0001	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A	0,006
Arsénico mg/L	<0,0005	0,0026	0,0031	0,0016	0,0012	<0,0005	0,019	0,009	0,0035	0,006	0,0018	0,0008	0,0015	<0,0005	0,021	0,031	0,05	0,01
Bario mg/L	0,025	0,059	0,062	0,024	0,078	0,11	0,036	0,103	0,014	0,032	0,016	0,012	0,14	0,17	0,026	0,067	1	2
Berilio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,1	0,004
Boro mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,75	N/A
Cadmio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001	0,005
Calcio mg/L	5,8	9,1	15	13	17	23	12	27	4,6	7,3	0,86	1,6	24	27	15	25	N/A	N/A
Cobalto mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0012	0,0002	0,0008	0,001	0,0012	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,2	N/A
Cobre mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,021	<0,005	0,01	<0,005	0,095	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,012	0,005	1
Cromo mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0019	<0,0002	<0,0002	0,0033	0,0035	0,032	N/A	N/A
Estaño mg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0071	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0035	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,018	N/A	N/A
Fósforo mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	0,11	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	N/A	N/A
Hierro mg/L	0,04	2	0,76	0,07	<0,02	<0,02	0,72	<0,02	0,17	0,63	1,7	1,7	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,3	0,6
Litio mg/L	0,0046	0,0056	0,0013	<0,0005	0,0046	0,0047	<0,0005	<0,0005	0,0006	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0007	<0,0005	0,0023	0,0019	N/A	N/A
Magnesio mg/L	0,8	1,1	2,4	0,15	3,9	3,4	2	2,6	1,2	1,5	0,24	0,26	1,8	1,7	1,3	1,5	N/A	150
Manganeso mg/L	0,054	0,18	0,15	0,045	0,022	0,025	0,013	0,13	0,15	0,52	0,027	0,027	0,068	0,18	0,01	0,0026	0,1	0,1
Mercurio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,002
Molibdeno mg/L	0,0015	0,0024	0,0023	<0,0002	0,0007	<0,0002	0,0008	<0,0002	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0013	<0,0002	0,0016	<0,0002	N/A	N/A
Níquel mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,025	N/A
Plata mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,01	0,1
Plomo mg/L	<0,0005	0,002	<0,0005	<0,0005	0,0009	<0,0005	0,0062	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	0,015
Potasio mg/L	0,93	2,6	1,3	1,8	2,1	2,5	1,8	0,72	0,37	1,3	0,36	0,45	2,3	2,6	2,9	3,2	N/A	N/A
Selenio mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,001	0,05
Sodio mg/L	9,9	13	8,9	3,8	20	15	17	9,3	4,5	5,9	1,9	<0,05	16	14	15	18	N/A	N/A
Talio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A	0,002
Torio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A	N/A
Tulio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A	N/A
Uranio mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	N/A	N/A
Vanadio mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0008	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0014	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	N/A	N/A
Zinc mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,03	<0,005	0,019	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,03	5

Nombre de la Muestra	LLDGT-003C		LLDGT-006		LLDHG-009		LLDHG-009A		LLDHG-010		LLDHG-010A		LLDHG-013		LLDHG-014		A.M. 097-A, Anexo 1	DPAN
Datos de la Muestra	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	ene-19	abr-19	Tabla 2 <sup>15</sup> .	Perfil II
Nota 1: <span style="color: red;">■</span> Parámetros que sobrepasan los Criterios de Calidad establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1																		
Nota 2: <span style="color: orange;">■</span> Parámetros que sobrepasan los Criterios de Referencia del Perfil II de la División de Protección Ambiental de Nevada (DPAN)																		

Fuente: INV Minerales ECUADOR S. A. INVMINEC, 2019  
 Recopilación: Entrix, marzo 2022

Página en blanco

Para octubre del 2019, se realizó un programa de limpieza y mantenimiento de los piezómetros, y se tomaron los siguientes datos:

**Tabla 6-144 Resultados de Campo de los Piezómetros de Loma Larga (2019)**

Piezómetro	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Elevación (msnm)	Inclinación (grados)	Fecha	Nivel de Agua (m)	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (us)	Sólidos Disueltos (ppm)
	Este (m)	Norte (m)								
LLDGT-03C	697701,6149	9663121,924	3784,3	-90	22/10/19	87,96	12,2	6	230	170
LLDGT-006	698203,5275	9663572,551	3750,0	-60	22/10/19	49,2	10,8	6,3	260	191
LLDHG-009	698897,8929	9662947,346	3627,7	-90	29/10/19	3,73	11,4	6,3	210	159
LLDHG-09A	698899,0029	9662949,696	3626,9	-90	29/10/19	1,44	11,7	5,7	130	97
LLDHG-010	698602,2171	9663556,018	3665,69	-90	29/10/19	5,83	12,2	5,8	150	113
LLDHG-10A	698367,4473	9663549,739	3731,04	-90	29/10/19	0,996	9,9	5,3	50	45
LLDHG-013	697620,4841	9662989,155	3799,0	-75	29/10/19	6,98	10,3	6,6	240	173
LLDHG-014	697493,4825	9662732,156	3796,0	-90	29/10/19	1,82	10,2	7	270	198

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2019  
Recopilación: Entrix, junio 2020



**Figura 6-207 Toma de Muestras de Aguas Subterráneas en los Piezómetros de Monitoreo**

Fuente: INV MINERALES Ecuador S. A. INVMINEC, 2019  
Recopilación: Entrix, junio 2020

#### 6.1.2.4.5 Discusión

Los resultados fueron comparados de manera referencial con los Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en aguas Dulces, Marinas y Estuarios (Acuerdo Ministerial

097-A, publicado en el Registro Oficial Edición Especial No. 387 del 04 de noviembre de 2015, Anexo 1, Tabla 2) y los parámetros y valores de referencia del perfil II del DPAN.<sup>16</sup> La calidad del agua se aplicará a los acuíferos de aguas subterráneas con los suelos de arcilla (0-25 %) y materia orgánica (0-10 %). La mayoría de los parámetros cumplen con dicha normativa, con excepción de:

En el piezómetro LLDGT-003C, el valor de hierro va de 1,2 a 2,0 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-006, en oxígeno saturación hay un valor de porcentaje menor que 15,9 %; el valor de hierro va de 0,76 a 3,5 mg/L; el valor de manganeso va de 0,15 a 0,23 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-009, uno de los valores de cobre es de 0,021 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-009A, el valor de manganeso va de 0,013 a 0,13 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-0010, el valor de cobre va de 0,061 a 0,09 mg/L; el valor de hierro va de 0,63 a 1,2 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-010 A, el pH tiene valores de 5,0 a 5,2; en oxígeno saturación hay valores de porcentaje menores de 14,1 a 34,3 %; el valor de aluminio va de 0,37 a 0,81 mg/L; el valor de hierro va de 1,3 a 1,7 mg/L.

En el piezómetro LLDGT-013, en oxígeno saturación hay valores de porcentaje menores de 55,0 a 54,8 %; un valor de demanda química de oxígeno es de 143 mg/L.

En conclusión, las muestras de agua subterránea analizadas cumplen con la norma de calidad ambiental ecuatoriana en referencia.

#### **6.1.2.4.6 Conclusiones**

Las aguas subterráneas se producen en dos sistemas separados, el páramo poco profundo y en el sistema de aguas subterráneas subyacentes más profunda. Estos dos sistemas de aguas subterráneas están separados por una espesa zona insaturada que consiste en *bedrock*.

El sistema de roca profunda tiene una K con un valor de  $4,0 \times 10^{-7}$  m/s. Este flujo de agua subterránea se controla por la densidad de fracturas y el tipo de alteración. La roca silíceo fracturada tiene el más alto valor de K, mientras que la roca alterada argílicamente tiene el más bajo.

Los valores de K de las pruebas de permeabilidad en el sistema de aguas subterráneas subyacentes más profundas están en la gama de muy bajo a bajo, en comparación con los rangos de valores globales de K.

Los niveles de agua dentro del sistema de lecho subyacentes más profundos están aproximadamente 50 m bajo superficie (msnm), con gradientes descendentes.

Los piezómetros instalados servirán de base para un programa de monitoreo de aguas subterráneas.

Los valores determinados de permeabilidad (K), durante esta investigación de campo, sirvieron como base para la construcción de un modelo de aguas subterráneas, que se ajusta a las condiciones hidrogeológicas del sector.

Debido a la presencia de la roca fracturada insaturada, es probable que el cambio de la condición de las aguas subterráneas en el sistema de rocas (es decir, cambios debido al desarrollo de trabajos subterráneos y la deshidratación) tenga poco impacto en el sistema de aguas subterráneas de páramo.

Al comparar los resultados químicos de los piezómetros con la normativa del Ecuador, Directrices para la Calidad de Aguas Subterráneas (libro VI; Anexo 1, cuadro 5, del TULAS) y los parámetros y valores del

---

<sup>16</sup> Actualmente a nivel nacional no se cuenta con legislación ambiental aplicable para criterios de calidad de aguas subterráneas, razón por la cual se ha considerado los parámetros y valores del Perfil II de la División de Protección Ambiental de Nevada (Norma Internacional) y el Acuerdo Ministerial 097-A (Norma Nacional).

Perfil II de la DPAN, la calidad del agua se aplicará a los acuíferos de aguas subterráneas con los suelos de arcilla (0-25 %) y materia orgánica (0-10 %); las aguas subterráneas de las muestras que fueron analizadas en este estudio, todas ellas fueron menores a dichas normativas.

De acuerdo con el gráfico de Piper, la marca química de la muestra LLHDG-003C es una agua sódica-sulfatada clorada, que es un piezómetro profundo para monitorear las aguas de dicho nivel. LLHDG-009 A, LLHDG-010, LLHDG-010A (piezómetros superficiales) y LLHDG-006, son cálcicas-bicarbonatadas; en todo caso, son aguas meteóricas de reciente infiltración, que presentan cierta alteración hidrogeoquímica por estar circulando en un medio de alta mineralización y en un ambiente muy cercano a una caldera volcánica, como es el caso de la muestra de LLHDG-003C, que presenta cierta evolución hidrogeoquímica.

En las muestras de agua subterránea analizadas, durante el levantamiento de esta línea base, la mayoría de los parámetros cumplen con la norma de calidad ambiental ecuatoriana de referencia.

Como el agua subterránea en el sistema de páramo no está conectada al agua subterránea en el sistema de roca subyacentes más profundo, el modelo de flujo de agua subterránea predice que no habrá una disminución en los niveles de agua en el sistema de páramo como resultado de la actividad de drenaje de la mina.

De acuerdo con el modelo 3D elaborado, la tabla de aguas subterráneas deprimida que rodea la mina estará en su mayor extensión en el año 15, cuando los trabajos de la mina estén en su mayor extensión antes del cierre. Después del cierre de la mina, cualquier trabajo restante en la mina subterránea se llenará de relaves cementados, y toda la mina podrá inundarse. Una vez que la mina se llena e inunda, a zona de depresión de la tabla de agua subterránea comenzará a recuperarse y regresar a las condiciones normales experimentadas antes de la minería.

Si bien existe aproximadamente 10 m de reducción en el nivel freático del final de la vida de la mina, cerca del canal Gualay, la reducción se atenúa rápidamente hacia el oeste, mientras las condiciones de agua del final de la vida de la mina y las previas a la mina se superponen en el cráter. Los caudales son desde el oeste hacia el este, lo cual indica que no existe la posibilidad de que el agua de la mina ingresa al área del cráter.

El modelo de flujo de agua subterránea predice que no habrá impacto en el área de Las Tres Lagunas por el drenaje de la mina.

Para proporcionar estimaciones de cómo cambiará la química del agua subterránea como resultado de la minería, se probó cada uno de los tipos de rocas utilizando métodos sofisticados de laboratorio que predicen las tasas y cantidades de liberación de metal y acidificación. Estas pruebas consistieron en dos tipos generales: pruebas estáticas y pruebas cinéticas. Estas predicciones se utilizaron para diseñar la planta de tratamiento de agua y garantizar que toda el agua descargada, por la eliminación del agua o desagüe, cumpla con todos los estándares ambientales.

Página en blanco