

CAPÍTULO 2.3

LÍNEA DE BASE – MEDIO FÍSICO

ÍNDICE

2.3. MEDIO FÍSICO	2.3-1
2.3.1 Clima y Meteorología.....	2.3-1
2.3.1.1 Introducción.....	2.3-1
2.3.1.2 Definición Área de Influencia	2.3-1
2.3.1.3 Metodología	2.3-4
2.3.1.4 Resultados y Análisis	2.3-5
2.3.1.5 Conclusiones.....	2.3-43
2.3.1.6 Referencias Bibliográficas.....	2.3-45
2.3.2 Calidad del Aire	2.3-46
2.3.2.1 Introducción.....	2.3-46
2.3.2.2 Definición Área de Influencia	2.3-46
2.3.2.3 Metodología	2.3-51
2.3.2.4 Resultados y Análisis	2.3-52
2.3.2.5 Conclusiones.....	2.3-72
2.3.2.6 Referencias Bibliográficas.....	2.3-75
2.3.3 Ruido	2.3-76
2.3.3.1 Introducción.....	2.3-76
2.3.3.2 Definición Área de Influencia	2.3-76
2.3.3.3 Metodología	2.3-77
2.3.3.4 Resultados y Análisis	2.3-83
2.3.3.5 Conclusiones.....	2.3-91
2.3.3.6 Referencias Bibliográficas.....	2.3-92
2.3.4 Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales	2.3-93
2.3.4.1 Introducción.....	2.3-93
2.3.4.2 Definición Área de Influencia	2.3-94
2.3.4.3 Metodología	2.3-95
2.3.4.4 Resultados y Análisis	2.3-97
2.3.4.5 Conclusiones.....	2.3-134
2.3.4.6 Referencias Bibliográficas.....	2.3-138
2.3.5 Hidrología, Hidrogeología e Hidroquímica	2.3-140
2.3.5.1 Introducción.....	2.3-140
2.3.5.2 Definición Área de Influencia	2.3-140
2.3.5.3 Metodología	2.3-141
2.3.5.4 Resultados y Análisis	2.3-144
2.3.5.5 Conclusiones.....	2.3-249
2.3.5.6 Referencias Bibliográficas.....	2.3-253
2.3.6 Edafología.....	2.3-254
2.3.6.1. Introducción.....	2.3-254
2.3.6.2. Definición Área de Influencia	2.3-254
2.3.6.3. Metodología	2.3-257

2.3.6.4. Resultados y Análisis	2.3-258
2.3.6.5. Conclusiones.....	2.3-288
2.3.6.6. Referencias Bibliográficas.....	2.3-289

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3-1. Climas según Köeppen en los Sectores de Estudio del Proyecto	2.3-6
Tabla 2.3-2. Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Meteorología – Calama y Chiu Chiu	2.3-7
Tabla 2.3-3. Parámetros Registrados en las Estaciones de Meteorología Superficial – Calama y Chiu Chiu.....	2.3-7
Tabla 2.3-4. Temperatura Media Mensual (°C) – Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu	2.3-8
Tabla 2.3-5. Humedad Relativa Media Mensual (%) – Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu	2.3-9
Tabla 2.3-6. Presión Atmosférica (mbar) – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu.....	2.3-11
Tabla 2.3-7. Velocidad de Viento Promedio y Calmas – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu	2.3-12
Tabla 2.3-8. Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Meteorología – Sierra Gorda	2.3-22
Tabla 2.3-9. Parámetros Registrados en las Estaciones de Meteorología Superficial – Sierra Gorda	2.3-22
Tabla 2.3-10. Temperatura Media Mensual (°C) – Ene 2011 / Dic 2011 – Sierra Gorda.....	2.3-22
Tabla 2.3-11. Humedad Relativa Media Mensual (%) – Ene 2011 / Dic 2011 – Sierra Gorda	2.3-24
Tabla 2.3-12. Velocidad de Viento Promedio y Calmas – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Sierra Gorda	2.3-24
Tabla 2.3-13. Ubicación de Estación de Monitoreo de Meteorología – Antofagasta	2.3-28
Tabla 2.3-14. Parámetros Registrados en las Estación de Meteorología Superficial – Antofagasta	2.3-28
Tabla 2.3-15. Temperatura Media Mensual (°C) – Ene 2011 / Dic 2011 – Antofagasta	2.3-28
Tabla 2.3-16. Humedad Relativa Media Mensual (%) – Ene 2011 / Dic 2011 – Antofagasta	2.3-30
Tabla 2.3-17. Presión Atmosférica (mbar) – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Antofagasta.....	2.3-30
Tabla 2.3-18. Velocidad de Viento Promedio y Calmas – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Antofagasta	2.3-31
Tabla 2.3-19. Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Meteorología – Mejillones	2.3-34
Tabla 2.3-20. Parámetros Registrados en las Estaciones de Meteorología Superficial– Mejillones	2.3-34
Tabla 2.3-21. Temperatura Media Mensual (°C) – Ene 2011 / Dic 2011 – Mejillones	2.3-34
Tabla 2.3-22. Humedad Relativa Media Mensual (%) – Ene 2011/ Dic 2011 – Mejillones ...	2.3-35
Tabla 2.3-23. Velocidad de Viento Promedio y Calmas – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Mejillones	2.3-36
Tabla 2.3-24. Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Meteorología – Tocopilla	2.3-36
Tabla 2.3-25. Parámetros Registrados en la Estación de Meteorología Superficial – Tocopilla	2.3-37
Tabla 2.3-26. Velocidad de Viento Promedio – Tocopilla	2.3-37
Tabla 2.3-27. Climas según Köeppen en los Sectores de Estudio del Proyecto	2.3-43
Tabla 2.3-28. Área de Influencia del Proyecto – Calidad del Aire	2.3-48
Tabla 2.3-29. Contaminantes que Constituyen la Línea de Base de Calidad del Aire.....	2.3-49

Tabla 2.3-30. Normas de Calidad del Aire	2.3-51
Tabla 2.3-31. Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire	2.3-52
Tabla 2.3-32. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-54
Tabla 2.3-33. Concentraciones 24 horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu.....	2.3-55
Tabla 2.3-34. Concentración Media Anual de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-56
Tabla 2.3-35. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-56
Tabla 2.3-36. Concentración Promedio de MPS ($\text{mg}/\text{m}^2\text{-d}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-57
Tabla 2.3-37. Concentración Media Anual de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-58
Tabla 2.3-38. P99 de Concentraciones 24 Horas de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-58
Tabla 2.3-39. Concentración Media Anual de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-59
Tabla 2.3-40. P99,7 de Concentraciones 24 Horas de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-59
Tabla 2.3-41. P99,73 de Concentraciones 1 Hora de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-59
Tabla 2.3-42. Percentil 99 de Concentraciones 1 Hora de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu	2.3-60
Tabla 2.3-43. Concentraciones Anual de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu ...	2.3-60
Tabla 2.3-44. Percentil 99 de Concentraciones 1 Hora de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu.....	2.3-60
Tabla 2.3-45. Percentil 99 de Concentraciones 8 Horas de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu.....	2.3-61
Tabla 2.3-46. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área María Elena	2.3-62
Tabla 2.3-47. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área María Elena	2.3-62
Tabla 2.3-48. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Tocopilla	2.3-63
Tabla 2.3-49. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Tocopilla	2.3-63
Tabla 2.3-50. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Sierra Gorda.....	2.3-64
Tabla 2.3-51. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Sierra Gorda	2.3-64
Tabla 2.3-52. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Mejillones.....	2.3-65
Tabla 2.3-53. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Mejillones.....	2.3-65
Tabla 2.3-54. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Antofagasta	2.3-66
Tabla 2.3-55. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Antofagasta.....	2.3-66
Tabla 2.3-56. Aporte de Proyectos Aprobados en el SEIA	2.3-67
Tabla 2.3-57. Línea de Base Proyectada MP10 Calama y Chiu Chiu – Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	2.3-68
Tabla 2.3-58. Línea de Base Proyectada MP10 Calama y Chiu Chiu – P98 Concentraciones 24h ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	2.3-68

Tabla 2.3-59. Línea de Base Proyectada SO ₂ Calama y Chiu Chiu – Media Anual (µg/m ³ N).....	2.3-69
Tabla 2.3-60. Línea de Base Proyectada SO ₂ Calama y Chiu Chiu – P99 Concentraciones 24h (µg/m ³ N).....	2.3-69
Tabla 2.3-61. Línea de Base Proyectada SO ₂ Calama y Chiu Chiu – Media Anual (µg/m ³ N).....	2.3-69
Tabla 2.3-62. Línea de Base Proyectada SO ₂ Calama y Chiu Chiu – P99,7 Concentraciones 24h (µg/m ³ N).....	2.3-70
Tabla 2.3-63. Línea de Base Proyectada SO ₂ Calama y Chiu Chiu – P99,73 Concentraciones 24h (µg/m ³ N).....	2.3-70
Tabla 2.3-64. Línea de Base Proyectada NO ₂ Calama y Chiu Chiu – Media Anual (µg/m ³ N).....	2.3-71
Tabla 2.3-65. Línea de Base Proyectada NO ₂ Calama y Chiu Chiu – P99 Concentraciones 1h (µg/m ³ N).....	2.3-71
Tabla 2.3-66. Línea de Base Proyectada CO Calama y Chiu Chiu – Percentil 99 Concentraciones 1h (µg/m ³ N).....	2.3-72
Tabla 2.3-67. Línea de Base Proyectada CO Calama y Chiu Chiu – Percentil 99 Concentraciones 8h (µg/m ³ N).....	2.3-72
Tabla 2.3-68. Puntos de Medición de Ruido Basal.....	2.3-79
Tabla 2.3-69. Niveles de Ruido Basal – Día Hábil.....	2.3-84
Tabla 2.3-70. Niveles de Ruido Basal – Día No Hábil.....	2.3-84
Tabla 2.3-71. Niveles de Ruido Basal – Sector Vial. Niveles en dBA.....	2.3-88
Tabla 2.3-72. Unidades Geológicas Presentes en Sector Planta Desaladora-RT.....	2.3-107
Tabla 2.3-73. Unidades Geomorfológicas Sector Línea de Impulsión.....	2.3-118
Tabla 2.3-74. Identificación Áreas con Riesgo de Remoción en Masa en el Sector RT.....	2.3-120
Tabla 2.3-75. Coordenadas Zonas de Riesgo de Remoción.....	2.3-123
Tabla 2.3-76. Tasas de Precipitaciones Extremas Periodo de Retorno 100 Años.....	2.3-125
Tabla 2.3-77. Registro Histórico Terremotos de Magnitud Mayor a 5 en Norte de Chile....	2.3-126
Tabla 2.3-78. Observaciones de Ocurrencia de Maremoto en Norte de Chile.....	2.3-132
Tabla 2.3-79. Estaciones Pluviométricas.....	2.3-145
Tabla 2.3-80. Disponibilidad Estadística Meteorológica.....	2.3-146
Tabla 2.3-81. Precipitaciones Anuales.....	2.3-149
Tabla 2.3-82. Precipitaciones Diarias Máximas Anuales.....	2.3-153
Tabla 2.3-83. Precipitaciones Máximas Diarias (mm).....	2.3-155
Tabla 2.3-84. Coeficiente de Frecuencia P.Max.....	2.3-156
Tabla 2.3-85. Estaciones Fluviométricas Río Loa.....	2.3-157
Tabla 2.3-86. Caudal Medio Mensual Río Loa en Estación Yalquincha (m ³ /s).....	2.3-159
Tabla 2.3-87. Caudal Medio Mensual Río Loa en Estación La Finca (m ³ /s).....	2.3-159
Tabla 2.3-88. Caudal Medio Mensual Río Loa en Desembocadura (m ³ /s).....	2.3-159
Tabla 2.3-89. Geomorfología Cuencas Afluentes Área Mina.....	2.3-163
Tabla 2.3-90. Caudal Máximo Cuencas Afluente Área Mina.....	2.3-163
Tabla 2.3-91. Ubicación Puntos de Atraveso y Áreas Aportante.....	2.3-165
Tabla 2.3-92. Caudales Puntos de Atraveso Canaleta Relaves.....	2.3-167
Tabla 2.3-93. Caudal Máximo Río Loa en Yalquincha.....	2.3-169
Tabla 2.3-94. Caudal Máximo Quebrada Afluente Sector Planta Desaladora.....	2.3-171
Tabla 2.3-95. Ubicación Quebradas y Área Cuencas Aportantes.....	2.3-172
Tabla 2.3-96. Geomorfología Quebradas que cruzan Sector Planta Desaladora RT.....	2.3-176
Tabla 2.3-97. Caudal Máximo Método Fórmula Racional.....	2.3-177
Tabla 2.3-98. Caudal Máximo Método Hidrograma Triangular.....	2.3-178

Tabla 2.3-99. Río Loa en Calama	2.3-179
Tabla 2.3-100. Río Loa después junta Río San Salvador	2.3-180
Tabla 2.3-101. Unidades Hidrogeológicas Cuenca de Calama	2.3-187
Tabla 2.3-102. Balance Hídrico Calibración Régimen Permanente (2003) Modelo Talabre	2.3-207
Tabla 2.3-103. Unidades Hidrogeológicas Línea de Impulsión.....	2.3-217
Tabla 2.3-104. Estadística Análisis Aguas Subterráneas de los Subsectores.....	2.3-220
Tabla 2.3-105. Resultados Químicos de las Soluciones de Procesos Mineros	2.3-224
Tabla 2.3-106. Resultados Químicos Aguas Subterráneas rajo RT	2.3-225
Tabla 2.3-107. Análisis Químicos Sector Talabre	2.3-233
Tabla 2.3-108. Valores Promedio de los Resultados Químicos Estaciones DGA	2.3-234
Tabla 2.3-109. Procedimientos y Fuentes de Información Empleadas.....	2.3-257
Tabla 2.3-110. Ubicación de los Puntos de Muestreo de Suelos en Coordenadas UTM (Datum: WGS 84; Huso: 19S).....	2.3-259
Tabla 2.3-111. Características del Pedón - Calicata Sector RT-Tranque Talabre.....	2.3-260
Tabla 2.3-112. Capacidad de Uso -Sector RT-Tranque Talabre	2.3-262
Tabla 2.3-113. Características del Pedón - Calicata Talabre 1.....	2.3-262
Tabla 2.3-114. Capacidad de Uso -Calicata Talabre 1	2.3-264
Tabla 2.3-115. Características del Pedón - Calicata Talabre 2.....	2.3-264
Tabla 2.3-116. Capacidad de Uso - Calicata Talabre 2	2.3-266
Tabla 2.3-117. Características del Pedón - Calicata Posición Ladera	2.3-266
Tabla 2.3-118. Capacidad de Uso -Calicata Posición Ladera.....	2.3-268
Tabla 2.3-119. Características del Pedón - Calicata Posición Cárcava.....	2.3-268
Tabla 2.3-120. Capacidad de Uso -Calicata Posición Cárcava	2.3-270
Tabla 2.3-121. Características del Pedón - Calicata A1	2.3-270
Tabla 2.3-122. Capacidad de Uso- Calicata A1	2.3-272
Tabla 2.3-123. Características del Pedón - Calicata A2	2.3-272
Tabla 2.3-124. Capacidad de Uso - Calicata A2	2.3-274
Tabla 2.3-125. Características del Pedón - Calicata A3	2.3-274
Tabla 2.3-126. Capacidad de Uso -Calicata A3	2.3-276
Tabla 2.3-127. Características del Pedón- Calicata Río Loa	2.3-277
Tabla 2.3-128. Capacidad de Uso -Calicata Río Loa.....	2.3-278
Tabla 2.3-129. Características del Pedón - Calicata A4	2.3-279
Tabla 2.3-130. Capacidad de Uso -Calicata A4	2.3-280
Tabla 2.3-131. Características del Pedón - Calicata A5	2.3-281
Tabla 2.3-132. Capacidad de Uso -Calicata A5.....	2.3-282
Tabla 2.3-133. Características del Pedón - Calicata A6	2.3-283
Tabla 2.3-134. Capacidad de Uso -Calicata A6	2.3-284
Tabla 2.3-135. Características del Pedón - Calicata A7	2.3-285
Tabla 2.3-136. Capacidad de Uso -Calicata A7	2.3-286

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.3-1. Área de Influencia y Ubicación de Estaciones de Monitoreo Meteorológicas – Calama y Chiu Chiu	2.3-3
Figura 2.3-2. Temperatura Día Promedio – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu.....	2.3-8
Figura 2.3-3. Promedio Mensual de Radiación Solar - Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu	2.3-10

Figura 2.3-4. Radiación Solar Promedio en Ciclo Diario – Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu	2.3-10
Figura 2.3-5. Distribución Velocidad de Vientos – Ene 2011 - Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu	2.3-13
Figura 2.3-6. Rosa de Vientos de Estaciones Meteorológicas – Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu.....	2.3-15
Figura 2.3-7. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2010 ~ Dic 2010 – Calama y Chiu Chiu (Est. Hospital El Cobre).....	2.3-17
Figura 2.3-8. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu (Est. Chiu Chiu).....	2.3-18
Figura 2.3-9. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2010 ~ Dic 2010 – Calama y Chiu Chiu (Est. C.Ecológico).....	2.3-19
Figura 2.3-10. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu (Est. Mina RT).....	2.3-20
Figura 2.3-11. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu (Est. San José)	2.3-21
Figura 2.3-12. Temperatura Día Promedio – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Sierra Gorda	2.3-23
Figura 2.3-13. Distribución Velocidad de Vientos – Ene 2011 - Dic 2011 – Sierra Gorda... ..	2.3-25
Figura 2.3-14. Rosa de Vientos de Estación Meteorológica – Ene 2011 / Dic 2011 – Sierra Gorda	2.3-26
Figura 2.3-15. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Sierra Gorda	2.3-27
Figura 2.3-16. Temperatura Día Promedio – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Antofagasta.....	2.3-29
Figura 2.3-17. Distribución Velocidad de Vientos – Ene 2011 - Dic 2011 – Antofagasta	2.3-31
Figura 2.3-18. Rosa de Vientos de Estaciones Meteorológicas – Ene 2011 / Dic 2011 – Antofagasta	2.3-32
Figura 2.3-19. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Antofagasta ..	2.3-33
Figura 2.3-20. Distribución Velocidad de Vientos – Ene 2008 ~ Dic 2008 – Tocopilla	2.3-38
Figura 2.3-21. Rosa de Vientos de Estaciones Meteorológicas – Tocopilla	2.3-39
Figura 2.3-22. Velocidad de Vientos Promedio (m/s) – Ene 2008 ~ Dic 2008 – Tocopilla....	2.3-40
Figura 2.3-23. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2008 ~ Dic 2008 – Tocopilla	2.3-41
Figura 2.3-24. Frecuencia y Rosa de Viento– Ene 2010 ~ Dic 2010 – María Elena.....	2.3-42
Figura 2.3-25. Estaciones de Calidad del Aire Consideradas en el Área de Influencia del Proyecto – Calidad del Aire.....	2.3-50
Figura 2.3-26. Niveles Basales de Ruido en Día Hábil	2.3-85
Figura 2.3-27. Niveles Basales de Ruido en Día No Hábil.....	2.3-86
Figura 2.3-28. Niveles Basales de Ruido Diurnos - Sector Vial	2.3-89
Figura 2.3-29. Niveles Basales de Ruido Nocturnos - Sector Vial	2.3-90
Figura 2.3-30. Mapa Geológico Sectores RT y Tranque Talabre	2.3-103
Figura 2.3-31. Perfiles Geológicos en Sector RT.....	2.3-104
Figura 2.3-32. Mapa Geológico y Estructural Sector Planta Desaladora y Sector Planta Desaladora-RT	2.3-106
Figura 2.3-33. Geomorfología Región de Antofagasta.....	2.3-112
Figura 2.3-34. Unidades Geomorfológicas de los Sectores RT y Tranque Talabre.....	2.3-114
Figura 2.3-35. Unidades Geomorfológicas Sector Planta Desaladora.....	2.3-116
Figura 2.3-36. Unidades Geomorfológicas Sector Línea de Impulsión.....	2.3-119
Figura 2.3-37. Sectores de Riesgo de Remoción en Masa asociados a Flujos Aluviales en Canaleta de Relaves	2.3-121
Figura 2.3-38. Identificación Zonas de Riesgo de Remoción en Masa Línea Impulsión	2.3-123
Figura 2.3-39. Probabilidad de Ocurrencia de Terremoto de Magnitud Mayor a 7 – 7,5 entre 2004-2024 (MINVU, 2011)	2.3-128

Figura 2.3-40. Ubicación Volcanes Activos en Área de Estudio	2.3-129
Figura 2.3-41. Perfil Batimétrico frente a Costas de Tocopilla	2.3-131
Figura 2.3-42. Área Inundación Potencial por Riesgo de Maremoto Sector Planta Desaladora	2.3-134
Figura 2.3-43. Delimitación DGA Cuencas Hidrográficas	2.3-142
Figura 2.3-44. Ubicación Estaciones Pluviométricas	2.3-147
Figura 2.3-45. Mapa Isoyetas de Precipitación Anual	2.3-151
Figura 2.3-46. Curvas de Variación Estacional	2.3-152
Figura 2.3-47. Mapa Isoyetas Precipitaciones Máximas T=10 Años	2.3-156
Figura 2.3-48. Ubicación Estaciones Fluviométricas	2.3-158
Figura 2.3-49. Curva Estacional Caudal Río Loa	2.3-160
Figura 2.3-50. Escorrentía Área Mina	2.3-162
Figura 2.3-51. Hidrología Canaleta de Relaves	2.3-164
Figura 2.3-52. Cuencas Hidrográficas Afluentes Canaleta Relaves	2.3-166
Figura 2.3-53. Hidrología Sector Talabre	2.3-168
Figura 2.3-54. Cuenca Quebrada Afluente Sector Planta Desaladora	2.3-170
Figura 2.3-55. Vista Cuenca Sector Planta Desaladora	2.3-170
Figura 2.3-56. Quebradas que Atraviesa Línea de Impulsión	2.3-174
Figura 2.3-57. Quebradas que Atraviesa Línea de Impulsión (Sector Oriente)	2.3-175
Figura 2.3-58. Áreas de Acuíferos Protegidos y Obras del Proyecto RT Sulfuros	2.3-181
Figura 2.3-59. Mapa Hidrogeológico Unidades Hidrogeológicas de los Sectores RT y Talabre	2.3-189
Figura 2.3-60. Perfiles Hidrogeológicos Sector RT-Pampa Cere	2.3-190
Figura 2.3-61. Perfil Hidrogeológico C-C' Sector Tranque Talabre	2.3-191
Figura 2.3-62. Perfil Hidrogeológico D-D'-D'' Sector Tranque Talabre	2.3-192
Figura 2.3-63. Perfil Hidrogeológico E-E'-E'' Sector Tranque Talabre	2.3-193
Figura 2.3-64. Perfil Hidrogeológico F-F'' Sector Tranque Talabre	2.3-194
Figura 2.3-65. Curvas Isofreáticas Acuífero Superior	2.3-196
Figura 2.3-66. Curvas Isofreáticas Acuífero Inferior	2.3-197
Figura 2.3-67. Piezometría Acuífero Inferior en Torno al Rajo RT Año 2010	2.3-198
Figura 2.3-68. Hidrogramas Niveles en el Rajo RT (Geohidrología, 2011)	2.3-199
Figura 2.3-69. Interacción Río - Acuífero	2.3-202
Figura 2.3-70. Balance Hídrico Tranque Talabre	2.3-204
Figura 2.3-71. Área Modelo Numérico Talabre	2.3-206
Figura 2.3-72. Esquema Balance Hídrico Calibración Régimen Permanente (2003)	2.3-207
Figura 2.3-73. Balance Hídrico Calibración Régimen Permanente (2003) Modelo Talabre	2.3-208
Figura 2.3-74. Permeabilidad Acuíferos Superior e Intermedio Área Modelo Talabre (m/d)	2.3-209
Figura 2.3-75. Permeabilidad Acuífero Inferior Área Modelo Talabre (m/d) (cont.)	2.3-210
Figura 2.3-76. Pozos Calibración Modelo de Transporte	2.3-212
Figura 2.3-77. Isoconcentración Sulfato Simulación Condición Actual	2.3-213
Figura 2.3-78. Unidades Hidrogeológicas Planta Desaladora	2.3-215
Figura 2.3-79. Unidades Hidrogeológicas de la Línea de Impulsión y el Sistema de Suministro Eléctrico	2.3-218
Figura 2.3-80. División Sector RT por Subsectores de Análisis	2.3-226
Figura 2.3-81. Diagrama de Piper composición Química promedio Aguas Subterráneas y Efluentes de Procesos Mineros	2.3-228
Figura 2.3-82. Diagrama Piper composición Química Agua Subterránea en Rajo RT	2.3-229
Figura 2.3-83. Extensión estimada Pluma de Dispersión de Sulfato	2.3-230
Figura 2.3-84. Extensión estimada Pluma de Dispersión del Cloruro	2.3-230

Figura 2.3-85. Extensión estimada Pluma de Dispersión del Sodio	2.3-231
Figura 2.3-86. Ubicación Puntos de Monitoreo Químico.....	2.3-232
Figura 2.3-87. Diagrama de Piper Aguas Superficiales sector Talabre	2.3-235
Figura 2.3-88. Diagrama de Piper Acuífero Superior sector Oeste Tranque Talabre	2.3-237
Figura 2.3-89. Diagrama de Piper Acuífero Superior Sector Este Tranque Talabre.....	2.3-238
Figura 2.3-90. Diagrama de Piper Acuífero Inferior	2.3-239
Figura 2.3-91. Simulación Condición Actual Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Superior en Sector Tranque.....	2.3-242
Figura 2.3-92. Detalle Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Superior al Este del Tranque	2.3-243
Figura 2.3-93. Detalle Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Superior al Oeste del Tranque	2.3-244
Figura 2.3-94. Simulación Condición Actual Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Inferior Sector Tranque.....	2.3-246
Figura 2.3-95. Detalle Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Inferior al Este del Tranque.....	2.3-247
Figura 2.3-96. Detalle Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Inferior al Oeste del Tranque	2.3-248
Figura 2.3-97. Área de Influencia Edafología.....	2.3-256
Figura 2.3-98. Unidades Homogéneas de Suelo	2.3-287

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.3-1. Entorno Sector RT-Tranque Talabre	2.3-261
Fotografía 2.3-2. Calicata Sector RT-Tranque Talabre.....	2.3-261
Fotografía 2.3-3. Entorno Calicata Talabre 1	2.3-263
Fotografía 2.3-4. Calicata Talabre 1.....	2.3-263
Fotografía 2.3-5. Entorno Calicata Talabre2	2.3-265
Fotografía 2.3-6. Calicata Talabre2.....	2.3-265
Fotografía 2.3-7. Entorno Calicata Posición Ladera	2.3-267
Fotografía 2.3-8. Calicata Posición Ladera	2.3-267
Fotografía 2.3-9. Entorno Calicata Posición Cárcava	2.3-269
Fotografía 2.3-10. Calicata Posición Cárcava.....	2.3-269
Fotografía 2.3-11. Superficie Calicata A1	2.3-271
Fotografía 2.3-12. Calicata A1	2.3-271
Fotografía 2.3-13. Entorno Calicata A2.....	2.3-273
Fotografía 2.3-14. Calicata A2	2.3-273
Fotografía 2.3-15. Entorno Calicata A3.....	2.3-275
Fotografía 2.3-16. Calicata A3	2.3-275
Fotografía 2.3-17. Lamela de Sal Observada en Calicata A3.....	2.3-276
Fotografía 2.3-18. Entorno Calicata Río Loa.....	2.3-277
Fotografía 2.3-19. Calicata Río Loa	2.3-278
Fotografía 2.3-20. Entorno Calicata A4.....	2.3-279
Fotografía 2.3-21. Calicata A4	2.3-280
Fotografía 2.3-22. Entorno Calicata A5.....	2.3-281
Fotografía 2.3-23. Calicata A5	2.3-282
Fotografía 2.3-24. Entorno Calicata A6.....	2.3-283
Fotografía 2.3-25. Calicata A6	2.3-284

Fotografía 2.3-26. Superficie Calicata A7	2.3-285
Fotografía 2.3-27. Calicata A7	2.3-286

ANEXOS

Anexo 2.3–1: Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de Meteorología.	
Anexo 2.3–2: Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire.	
Anexo 2.3-3: Puntos de Medición de Ruido	
Anexo 2.3-4: Fichas de Medición de Ruido	
Anexo 2.3-5: Área de Influencia del Proyecto – Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales	
Anexo 2.3-6: Área de Influencia de la Componente Hidrología.	
Anexo 2.3-7: Área de Influencia de la Componente Hidrogeología e Hidroquímica.	
Anexo 2.3-8: Estudio Hidrológico de Quebradas Trazado Canaleta de Relaves (Conic-BF - Codelco, 2013)	
Anexo 2.3-9: Estudio Hidrológico de Quebradas Impulsión Radomiro Tomic (Codelco, 2012)	
Anexo 2.3-10: Línea de Base Aguas Subterráneas Calama – Tranque Talabre (Codelco, 2013)	
Anexo 2.3-11: Concentraciones Promedios de Parámetros Comprometidos RCA 311/2005	
Anexo 2.3–12: Puntos de Muestreo Edafología.	
Anexo 2.3–13: Mapa Unidades Homogéneas de Suelo	

2.3. MEDIO FÍSICO

2.3.1 Clima y Meteorología

2.3.1.1 Introducción

En la siguiente sección se describe el clima y la meteorología del área de influencia. En primer lugar se presentan los diferentes elementos climáticos de la región de Antofagasta y posteriormente se detalla el clima a nivel local en relación con las actividades asociadas a las etapas del Proyecto. La caracterización meteorológica se realizó utilizando los registros de estaciones meteorológicas presentes en el área de influencia, de tal manera de entender cómo se desarrollan e interactúan los diferentes elementos climáticos y la influencia que éstos puedan tener ya sea sobre el Proyecto, o sobre las otras componentes ambientales.

Objetivo

El objetivo de este acápite es establecer una caracterización de la climatología y meteorología del área de emplazamiento del proyecto RT Sulfuros con el fin de establecer el tipo de clima que impera en el área de interés y conocer los valores y variaciones de las principales variables meteorológicas, tales como: Velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y precipitación.

2.3.1.2 Definición Área de Influencia

Si bien el proyecto no genera efectos directos sobre este componente ambiental, la inclusión de éste se justifica ya que constituye el marco de desarrollo para otros componentes ambientales como calidad del aire, flora y vegetación.

El área de influencia sobre el clima está definida por la Región de Antofagasta, mientras que el área de influencia de meteorología se define por la presencia de las estaciones meteorológicas en la ciudad de Calama, San Francisco de Chiu Chiu, Tocopilla y Mejillones. Como no es posible contar con información meteorológica en toda la extensión del Proyecto, se presentará información de las estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de monitoreo de CODELCO.

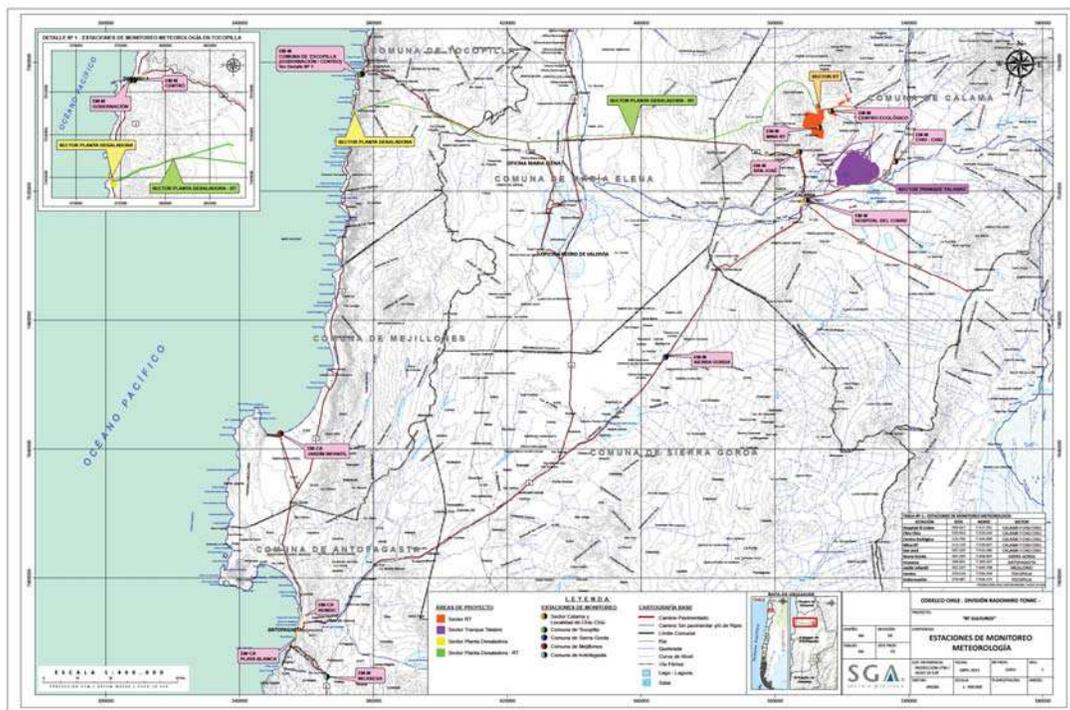
Los sectores considerados para caracterizar la Línea de Base de Clima y Meteorología son los siguientes:

1. Sector RT: considera las obras asociadas a la operación minera y la nueva planta concentradora, incluyendo las instalaciones requeridas para su funcionamiento. Además, considera las obras asociadas al transporte de relaves mediante canaleta desde la planta concentradora hasta Sector Tranque Talabre y a la recirculación de aguas de reproceso hasta la planta concentradora.
2. Sector Tranque Talabre: considera las obras necesarias para incorporar los relaves que generará el proyecto en el tranque Talabre. En una primera etapa, éstas corresponden a las conducciones de relaves desde una nueva cámara y el sistema de recuperación de aguas de reproceso desde el tranque Talabre, y en una segunda etapa, corresponde a la infraestructura necesaria para la implementación del sistema de relaves espesados.

3. Sector Planta Desaladora: considera una nueva planta desaladora con sus obras marítimas y la infraestructura requerida para su funcionamiento.
4. Sector Planta Desaladora – RT: constituido por el sistema de impulsión que transporta el agua desalada desde la nueva planta desaladora hasta el Sector RT, y la infraestructura requerida para su funcionamiento.

El área de influencia se presenta a continuación en la Figura 2.3-1. Además en el Anexo 2.3-1 se encuentra el plano con la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Figura 2.3-1. Área de Influencia y Ubicación de Estaciones de Monitoreo Meteorológicas – Calama y Chiu Chiu



2.3.1.3 Metodología

Para la caracterización del clima a nivel regional, se realizó una recopilación bibliográfica la cual consideró los antecedentes climáticos descriptivos de la Dirección General de Aeronáutica Civil, Dirección Meteorológica de Chile, la Bioclimatología de Chile de DiCatri, F. y E. Hajek. 1976 y otros textos que tratan sobre el clima en la Región de Antofagasta. En particular, la determinación del clima se realizó utilizando la clasificación climática de Köeppen.

La caracterización meteorológica se realizó distinguiendo tres sub-áreas (Tocopilla, María Elena y Calama) utilizando la información meteorológica registrada por estaciones pertenecientes a la red de monitoreo de meteorología y calidad del aire de CODELCO, registros de estaciones publicados en el SINCA¹ y registros de estaciones proporcionadas por la SEREMI de Salud de la Región de Antofagasta.

Posteriormente, se realiza un análisis estadístico de las variables meteorológicas que consistió básicamente en establecer valores medios para cada una de los parámetros analizados, así como también sus rangos de variación (valores mínimos y máximos).

Las variables meteorológicas consideradas fueron:

- Temperatura
- Velocidad y dirección del viento
- Temperatura,
- Humedad relativa
- Presión atmosférica y
- Precipitación.

Adicionalmente, la información recopilada por las fuentes antes mencionadas fue complementada con información presentada en Estudios de Impacto Ambiental de proyectos sometidos a evaluación ambiental (en el SEIA) en la Región.

Por su parte, en el caso de la Línea Base de Meteorología los sectores mencionados anteriormente se asociarán a comunas que cuentan con red de monitoreo meteorológico, agrupándolas en las siguientes sub áreas:

- Sub área Calama y *Chiu Chiu*: Sector RT; Sector Tranque Talabre
- Sub área Sierra Gorda: Sector Tranque Talabre
- Sub área Antofagasta: Sector Tranque Talabre
- Sub área Mejillones: Sector Tranque Talabre
- Sub área Tocopilla: Sector Planta Desaladora
- Sub área María Elena: Sector Planta Desaladora – RT

¹ Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire

2.3.1.4 Resultados y Análisis

2.3.1.4.1. Clima

La Región de Antofagasta presenta características de una extrema aridez, que se manifiesta especialmente en la depresión intermedia y en las cuencas intermontañosas. En la costa, por el contrario, la cercanía al mar y las alturas del interior contribuyen a crear mayores variaciones climáticas que se manifiestan en franjas longitudinales, cruzando la región de norte a sur.

A continuación, se caracterizan los tipos de clima de la región, según la clasificación de Köeppen, presentes en el área de influencia del proyecto:

- Clima Desértico con Nublados Abundantes (BWN).
- Clima Desértico Normal (BW).
- Clima Desértico Marginal de Altura (BWH).

Las características de estos tres climas se describen a continuación:

- Clima Desértico con Nublados Abundantes (BWN).

Se presenta en todo el sector costero de la región (<1.000 m.s.n.m.), caracterizándose por la nubosidad estratocumuliforme de limitado espesor que se presenta en horas de la noche disipándose en el transcurso de la mañana. Esta nubosidad se manifiesta como nieblas o camanchacas en sectores ubicados en el nivel de la capa de nubes, las que se forman cuando las masas húmedas procedentes del mar chocan con la cordillera de la Costa ascendiendo bruscamente y produciendo la condensación de la humedad.

Otra característica de este clima es la escasa diferencia entre las temperaturas extremas diarias, así como entre los meses más cálidos y más fríos, que sólo alcanza a unos 6° a 7° C; la relativamente alta humedad y las casi inexistentes precipitaciones completan los patrones generales de este clima.

La influencia oceánica no alcanza más allá de unos 40 o 50 Km. hacia el interior desde la costa y el régimen pluviométrico está dado por algunas lloviznas y, ocasionalmente, por algún sistema frontal que logra alcanzar estas latitudes. El nivel de precipitaciones tiene un aumento a medida que se avanza hacia el sur, es así como en Tocopilla se registran aproximadamente 2 mm anuales, mientras que en Taltal se puede alcanzar hasta los 8 mm anuales.

- Clima Desértico Normal (BW).

Avanzando de poniente a oriente de la Región, en la zona denominada como Pampa, se encuentra el Clima Desértico Normal. Este clima se presenta por sobre los 1000 m.s.n.m. y se caracteriza por una muy baja humedad relativa, puesto que la influencia oceánica disminuye rápidamente, sobre todo a partir de los 40 o 50 km de distancia desde la costa. Las masas de aire son muy estables y secas, lo que origina una gran aridez, cielos despejados todo el año y una alta oscilación térmica diaria que puede llegar a unos 25° C.

- Clima Desértico Marginal de Altura (BWH).

Este clima se presenta en la zona central de la región (al ir avanzado de poniente a oriente), en donde las alturas están entre los 2.000 y los 3.000 m.s.n.m. Se caracteriza por tener un régimen de precipitaciones mezclado, en donde se observan precipitaciones estivales y también de origen ciclónico, aunque en ambos casos los niveles de precipitación son más bien bajos. Las precipitaciones de origen ciclónal se presentan con intervalos de varios años, cuando suceden

inviernos pluviométricamente rigurosos en la zona central del país. En estos casos las precipitaciones suelen ser mayores a las de los meses de verano.

Debido a la altura, las temperaturas son más frías y la misma altura atenúa las oscilaciones térmicas anuales, pero aumenta las diarias. En este contexto Calama presenta 6,5 °C de diferencia entre las temperaturas medias del más cálido y el mes más frío y de solo 3,8 °C en las temperaturas máximas. En cambio presenta hasta 22 °C de diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas, pero en días particulares pueden registrarse hasta 30 °C de diferencia. Por último la zona dominada por el Clima Desértico Marginal de Altura presenta una humedad relativa muy baja.

En la siguiente tabla (Tabla 2.3-1) se resumen los tipos de climas presentes en cada sector definido en el Proyecto, de acuerdo a la descripción de climas según köeppen presentados anteriormente.

Tabla 2.3-1. Climas según Köeppen en los Sectores de Estudio del Proyecto

Sector	Clima
Sector RT	BWH
Sector Tranque Talabre	BWH
Sector Planta Desaladora	BWN
Sector Planta Desaladora - RT	BWN-BW-BWH

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.4.2. Meteorología

1. Caracterización Sub área Calama y Chiu Chiu

La caracterización meteorológica de Calama y Chiu Chiu se basó en las mediciones de temperatura, precipitaciones, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica y vientos, efectuadas entre el 1 de Enero del año 2011 y el 31 de Diciembre del mismo año², por estaciones pertenecientes a la red de monitoreo de meteorología y calidad del aire de CODELCO, que se encuentran localizadas al interior del área de influencia.

La Tabla 2.3-2 y Figura 2.3-1 muestran el área de influencia y la ubicación de cada una de las estaciones meteorológicas con las que se caracterizó la meteorología del sector.

² En adelante denominado “período de estudio”

Tabla 2.3-2. Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Meteorología – Calama y Chiu Chiu

Estación	Coordenadas UTM (m) Datum WGS 84 Huso 19	
	Norte	Este
Hospital El Cobre	7.517.291	509.427
Chiu Chiu	7.529.230	535.953
Centro Ecológico*	7.544.986	516.700
Mina RT	7.539.827	513.129
San José	7.532.289	507.229

*Para la estación Centro Ecológico se considera el monitoreo para el periodo entre el 1 de Enero de 2010 y el 31 de Diciembre del mismo año.

Fuente: CODELCO.

A continuación en la Tabla 2.3-3, se presenta el detalle de las variables meteorológicas que registra cada una de las estaciones antes mencionadas.

Tabla 2.3-3. Parámetros Registrados en las Estaciones de Meteorología Superficial – Calama y Chiu Chiu

Estación de Monitoreo	Variables Meteorológicas (*)						
	VV	DV	T°	HR	RS	PA	PP
Hospital El Cobre	X	X	X			X	X
Chiu- Chiu	X	X	X	X		X	
Centro Ecológico	X	X	X	X	X	X	
Mina RT	X	X					
San José	X	X	X			X	X

(*) VV: Velocidad del Viento; DV: Dirección del Viento; T: Temperatura; HR: Humedad Relativa;

RS: Radiación Solar; PA: Presión Atmosférica; PP: Precipitaciones.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan cada una de las variables meteorológicas estudiadas.

- Temperatura

La Tabla 2.3-4 presenta las temperaturas medias mensuales registradas durante el período de estudio en las estaciones meteorológicas ubicadas en el sector. Se observa que la temperatura promedio mensual durante el año 2011 varió entre los 10 °C en la estación Centro Ecológico (en el mes de Julio) y los 16,5 °C en la estación Hospital del Cobre (en el mes de Febrero). La temperatura promedio anual varió entre 12,6 y 14,5 °C en las distintas estaciones ubicadas al interior del área de estudio.

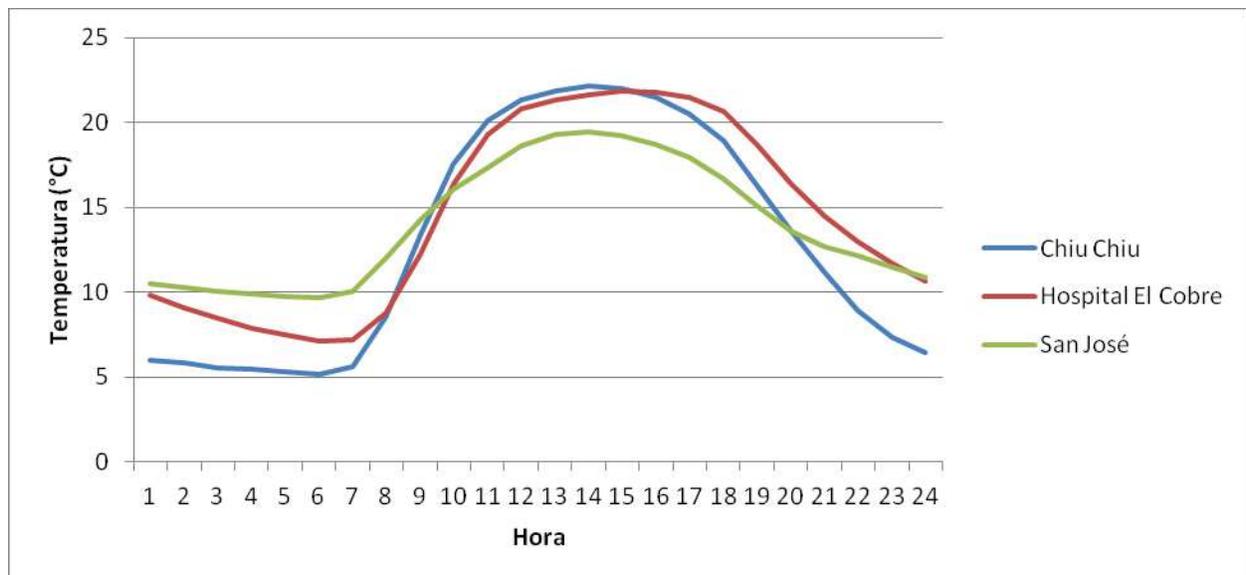
Tabla 2.3-4. Temperatura Media Mensual (°C) – Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu

Mes	C. Ecológico	Chiu Chiu	H. del Cobre	San José
Enero	14,9	14,8	16,5	15,0
Febrero	15,9	15,2	16,5	14,3
Marzo	15,2	13,6	15,4	14,3
Abril	13,7	12,5	14,1	13,7
Mayo	10,8	12,3	14,0	14,2
Junio	10,5	10,3	12,2	12,7
Julio	10,0	10,1	11,5	11,7
Agosto	11,8	11,0	12,5	13,0
Septiembre	11,9	13,1	14,7	14,8
Octubre	11,6	12,2	13,9	13,3
Noviembre	11,8	14,5	16,0	15,6
Diciembre	12,8	15,1	16,5	16,1
Promedio Anual	12,6	12,9	14,5	14,0

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas

Durante el período de estudio, la máxima oscilación térmica para un día promedio sucedió en la estación Chiu Chiu alcanzando una diferencia de hasta 17,0 °C entre el día y la noche (Figura 2.3-2). Esta misma estación es la que registró los mínimos promedio más bajos (a las 5:00) de 5,1 °C y máximos promedio más altos (a las 13:00) de 22,1 °C. Por su parte, la estación que registró la menor oscilación térmica para un día promedio fue la estación San José, alcanzando una diferencia máxima de 9,7 °C entre el día y la noche.

Figura 2.3-2. Temperatura Día Promedio – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas

- Humedad Relativa

La humedad relativa promedio durante el período de estudio fue de 29,6% en la estación C. Ecológico y 29,7% en la estación Chiu Chiu. Tal como se aprecia en la Tabla 2.3-5, la humedad relativa tuvo un comportamiento que concuerda con el clima de la zona.

Tabla 2.3-5. Humedad Relativa Media Mensual (%) – Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu

Mes	C.Ecológico*	Chiu Chiu
Enero	44,8	42,4
Febrero	60,9	57,0
Marzo	55,1	37,1
Abril	n.d.	38,9
Mayo	n.d.	21,1
Junio	n.d.	27,8
Julio	10,0	26,3
Agosto	12,3	16,2
Septiembre	15,2	13,7
Octubre	17,7	19,1
Noviembre	20,1	23,7
Diciembre	30,1	35,6
Promedio Anual	29,6	29,7

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones Chiu Chiu y C. Ecológico. n.d. No Disponible.

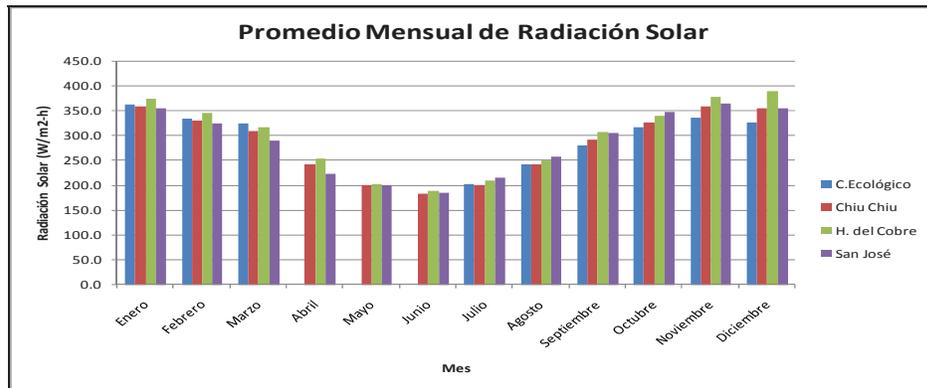
*Considera los datos registrados en el periodo entre Enero y Diciembre de 2010

- Radiación Solar³

La Radiación Solar está ligada con la duración de los períodos de insolación diurno que suceden en las distintas épocas del año. En la Figura 2.3-3 se muestran los promedios mensuales de radiación solar registrados durante el período de estudio en las estaciones meteorológicas ubicadas en la sub-área de Calama y Chiu Chiu.

³ Se consideran los datos registrados durante el periodo entre Enero y Diciembre de 2010.

Figura 2.3-3. Promedio Mensual de Radiación Solar - Ene 2011 / Dic 2011⁴ – Calama y Chiu Chiu



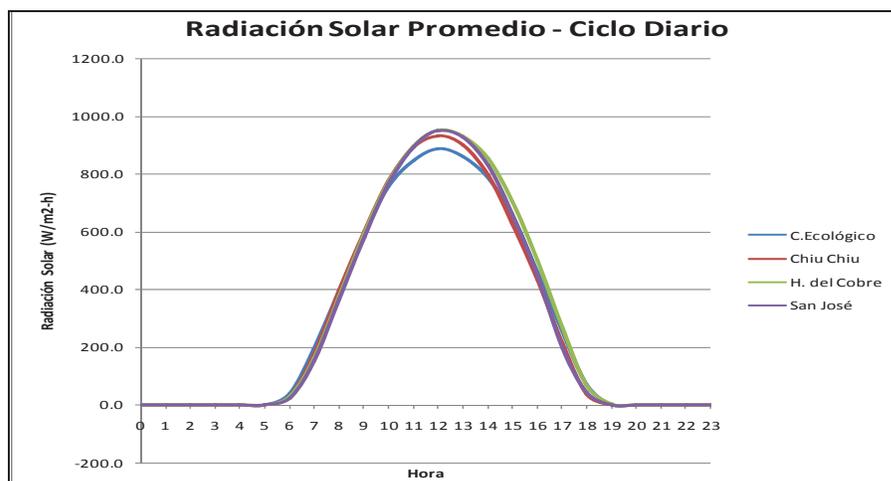
Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas.

Nota: No se incluyeron los meses de Abril, Mayo y Junio registrados en C. Ecológico debido a que no se cuenta con registros completos.

*Considera los datos registrados en el periodo entre Enero y Diciembre de 2010

La Figura 2.3-4 presenta las radiaciones promedio, máximas y mínimas durante un día promedio en las estaciones de monitoreo meteorológico de Calama y Chiu Chiu. Se observa que la radiación máxima promedio del período de estudio sucedió a las 12:00 alcanzando 951 W/m²-h en Hospital del Cobre, 932 W/m²-h en la estación Chiu Chiu, 949 W/m²-h en la estación San José y 886 W/m²-h en la estación C. Ecológico.

Figura 2.3-4. Radiación Solar Promedio en Ciclo Diario – Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas.

*Considera los datos registrados en el periodo entre Enero y Diciembre de 2010

⁴ Promedio 24 horas (incluye día y noche).

- Presión Atmosférica

La presión atmosférica promedio mensual durante el período de estudio fue de 726,5 mbar en la estación C. Ecológico, 756,8 mbar en la estación Chiu Chiu, 778,0 mbar en la estación Hospital del Cobre y 753,6 mbar en la estación San José (Tabla 2.3-6). Se observa que la presión atmosférica tuvo un comportamiento que concuerda con el clima y la altitud de la zona.

Tabla 2.3-6. Presión Atmosférica (mbar) – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu

Mes	C.Ecológico*	Chiu Chiu	H. del Cobre	San José
Enero	725,7	755,6	777,6	755,3
Febrero	725,9	756,3	778,3	755,9
Marzo	726,7	756,6	778,6	756,2
Abril	726,9	757,1	778,1	756,7
Mayo	726,6	757,6	778,5	757,3
Junio	727,2	757,1	779,1	721,1
Julio	726,3	756,7	775,7	756,4
Agosto	727,3	757,2	779,4	757,0
Septiembre	726,8	757,7	779,8	757,4
Octubre	726,6	756,6	776,9	756,3
Noviembre	726,2	756,5	777,4	756,1
Diciembre	725,8	756,2	776,9	755,9
Promedio Anual	726,5	756,8	778,0	753,6

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas.

*Considera los datos registrados en el periodo entre Enero y Diciembre de 2010

- Precipitaciones

Durante el periodo de estudio, Enero a Diciembre de 2011, la estación San José registró un nivel de agua caída de 12,7 mm, los cuales se concentraron principalmente en los meses de Junio y Julio (10,8 y 1,25 mm respectivamente) y una leve precipitación estival de 0,65 mm en el mes de Diciembre. Por su parte, en la estación Hospital del Cobre se registraron 8,25 mm de agua caída, presentes en los meses de Julio y Febrero con 6 mm y 2,25 mm de agua caída, respectivamente.

- Régimen de Vientos

La mayor velocidad de viento promedio en el periodo estudiado se registró en la estación Centro Ecológico, con 4,85 m/s (Tabla 2.3-7). Por su parte, se observa que la estación que registra mayor cantidad de vientos calmos (velocidad de vientos menores a 0,5 m/s) fue la estación Chiu Chiu, durante un 1,69% del tiempo.

Tabla 2.3-7. Velocidad de Viento Promedio y Calmas – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu

Estación	Velocidad Promedio (m/s)	% de Calmas
H. del Cobre	3,46	0,16%
Chiu Chiu	4,05	1,69%
C. Ecológico*	4,85	0,1%
Mina RT	4,27	0,0%
San José	2,87	1,48%

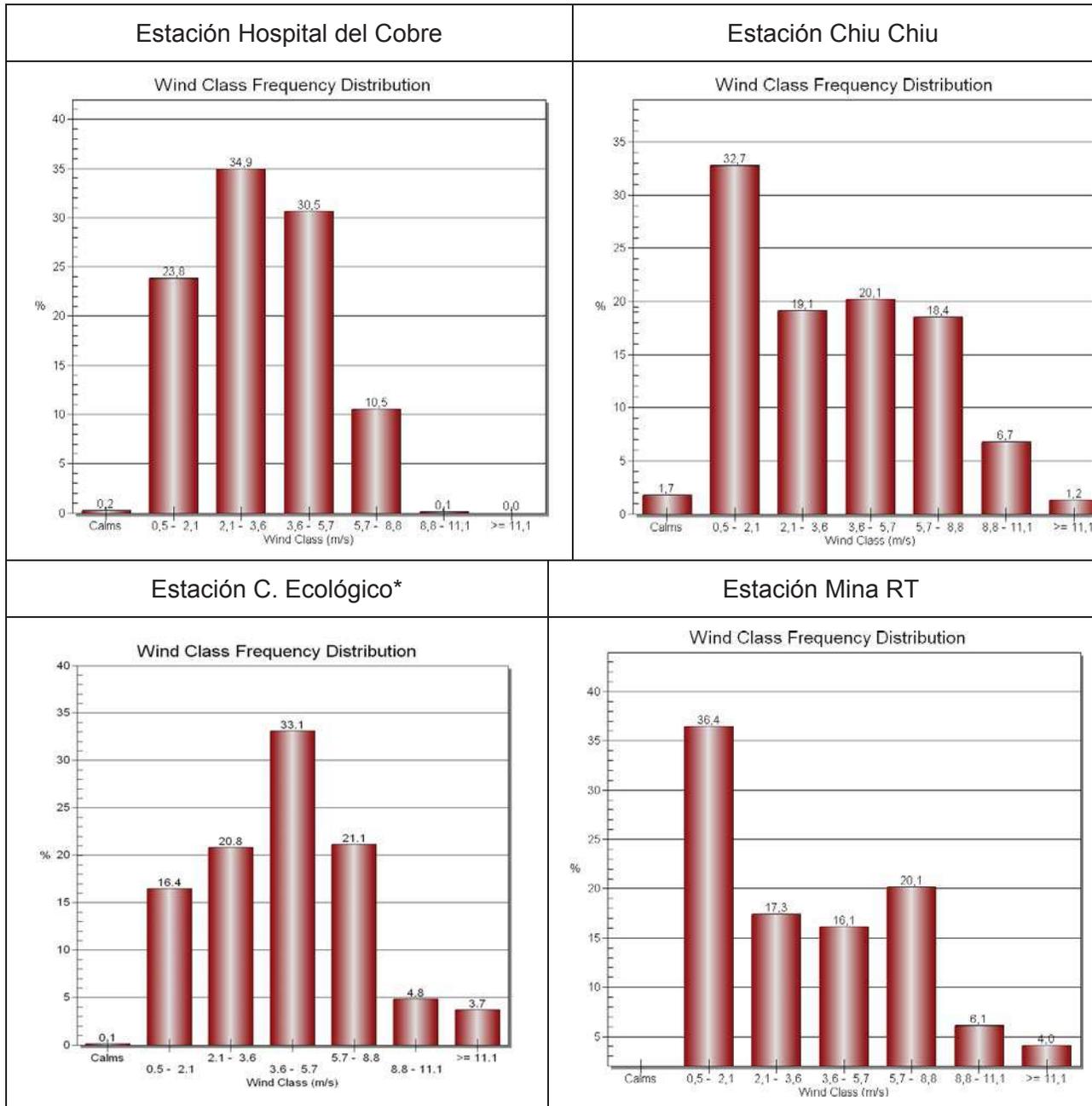
Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones meteorológicas

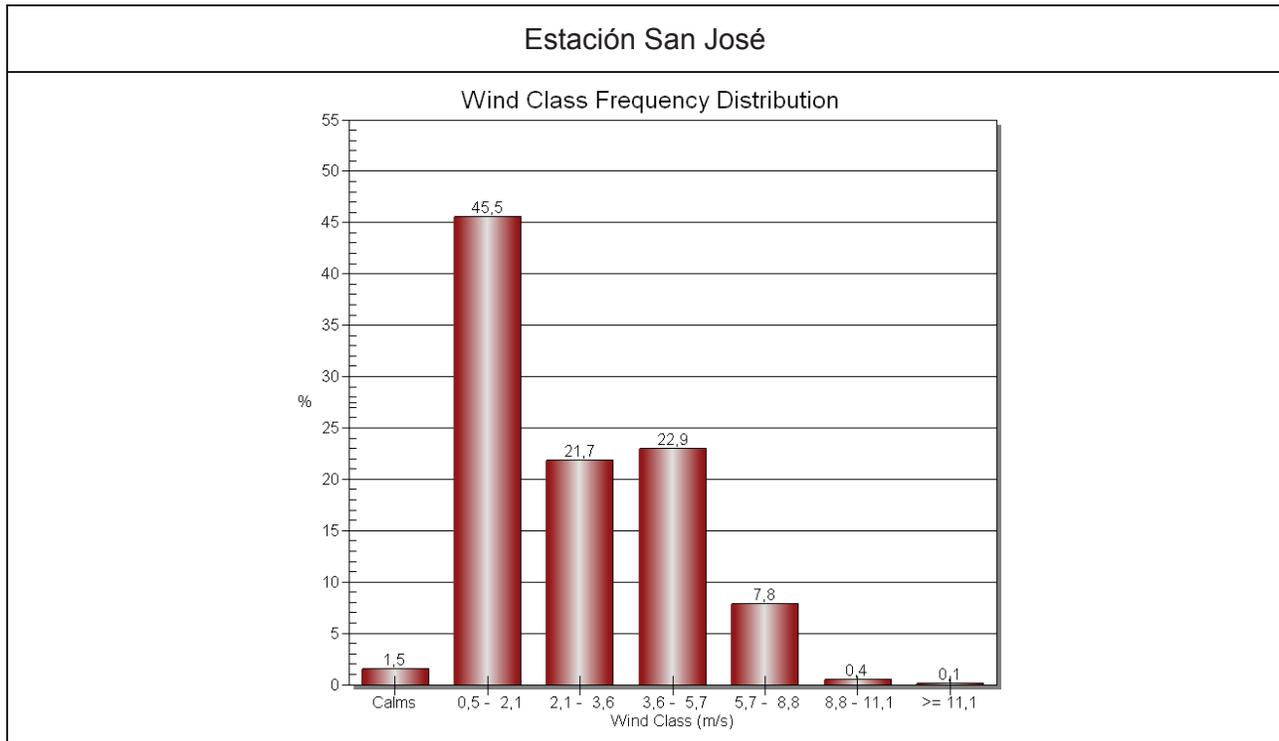
*Considera los datos registrados en el periodo entre Enero y Diciembre de 2010

A continuación, la Figura 2.3-5 presenta las distribuciones de velocidades de viento del período de estudio.

Durante el 2011, la estación Hospital el Cobre registró velocidades de viento principalmente entre 2,1 y 3,6 m/s durante un 34,9% del tiempo; en la estación Chiu Chiu, entre los 0,5-2,1 m/s durante un 32,7% del tiempo; en la estación C. Ecológico (durante el 2010), entre 3,6-5,7 m/s durante un 33,1% del tiempo; en la estación Mina RT, entre los 0,5-2,1 m/s durante un 36,4% del tiempo; y finalmente en la estación San José, las velocidades de viento se registraron principalmente entre 0,5-2,1 m/s durante un 45,5% del tiempo.

Figura 2.3-5. Distribución Velocidad de Vientos – Ene 2011 - Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu





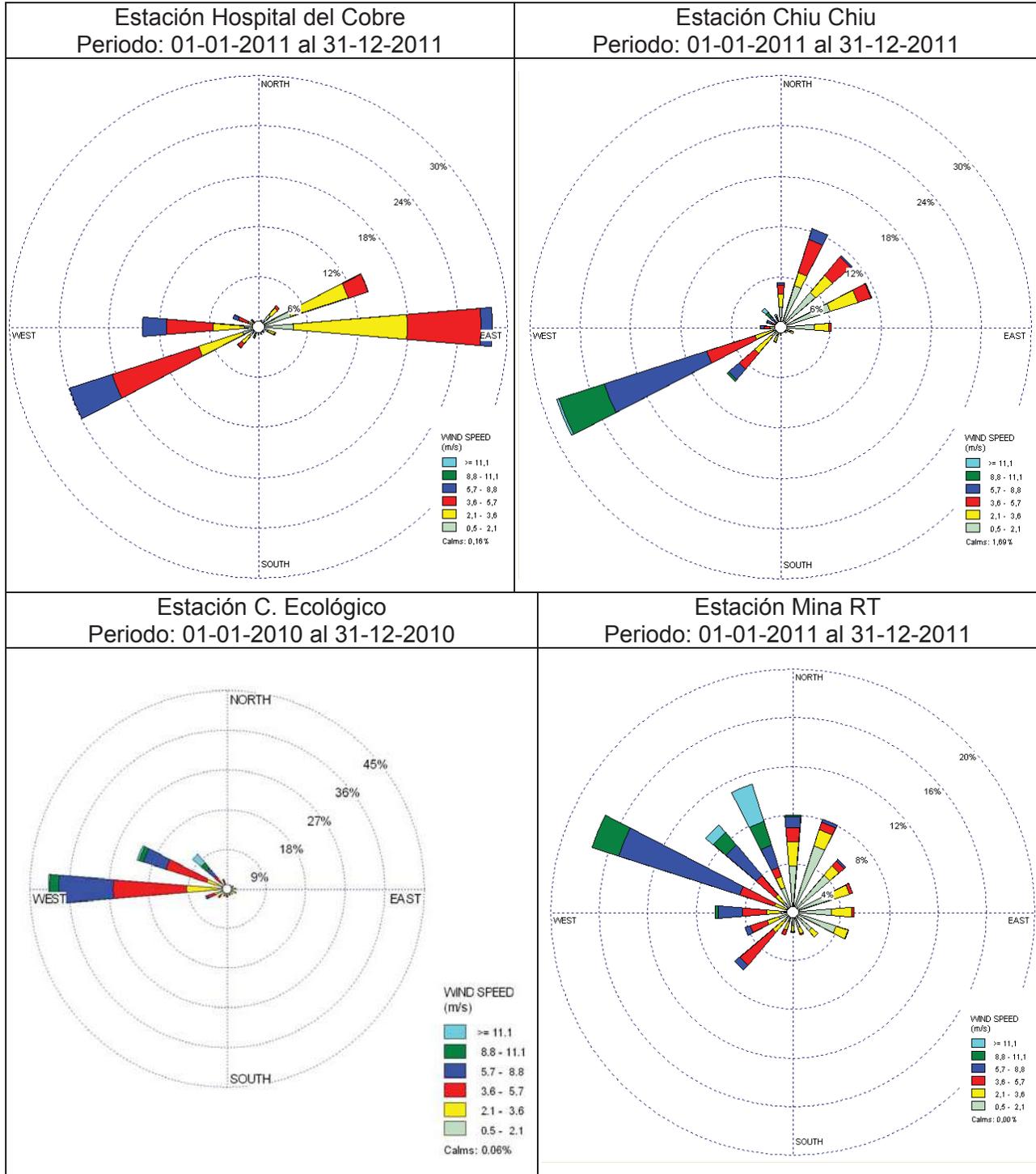
Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

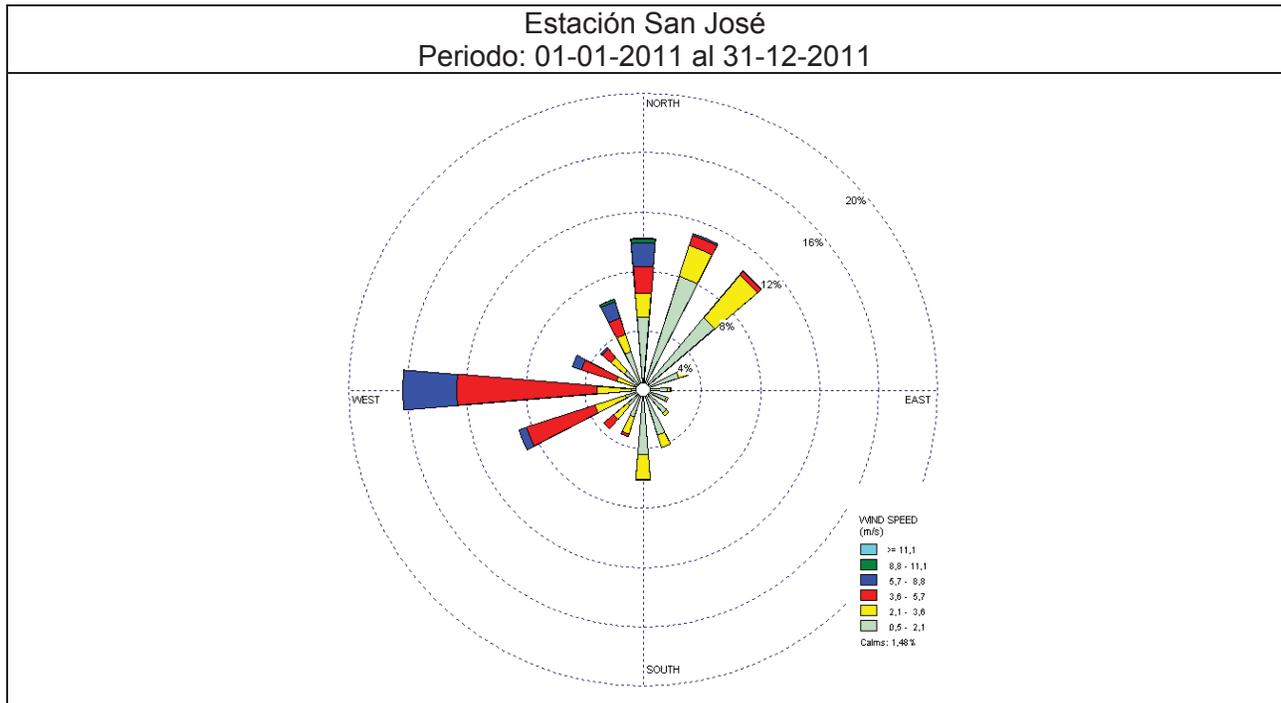
*Considera los datos registrados en el periodo entre Enero y Diciembre de 2010

En cuanto a la dirección y velocidad de los vientos registrados en cada una de las estaciones durante el período de estudio, la Figura 2.3-6 presenta las respectivas rosas de viento. En ellas se observa que:

- En la estación Hospital El Cobre presentó vientos que provinieron principalmente desde el Este (E) y desde el Oeste (W) con intensidades que llegaron hasta los 8,8 m/s.
- En la estación Chiu Chiu, los vientos provinieron principalmente desde el Sur-Oeste (SW) y desde el Nor-Este (NE), con intensidades de hasta 11,1 m/s en el primer caso y 8,8 m/s en el segundo.
- En la estación C. Ecológico, los vientos provinieron principalmente desde el Oeste (W) con intensidades que llegaron hasta los 11,1 m/s.
- En la estación Mina RT, los vientos se comportaron de manera más heterogénea en cuanto a su dirección, registrando una tendencia a presentar vientos provenientes del el Nor-Oeste (NW) con intensidades que superaron los 11,1 m/s.
- En la estación San José, los vientos provinieron principalmente desde el Oeste-Noroeste (WNW), con intensidades de hasta 8,8 m/s.

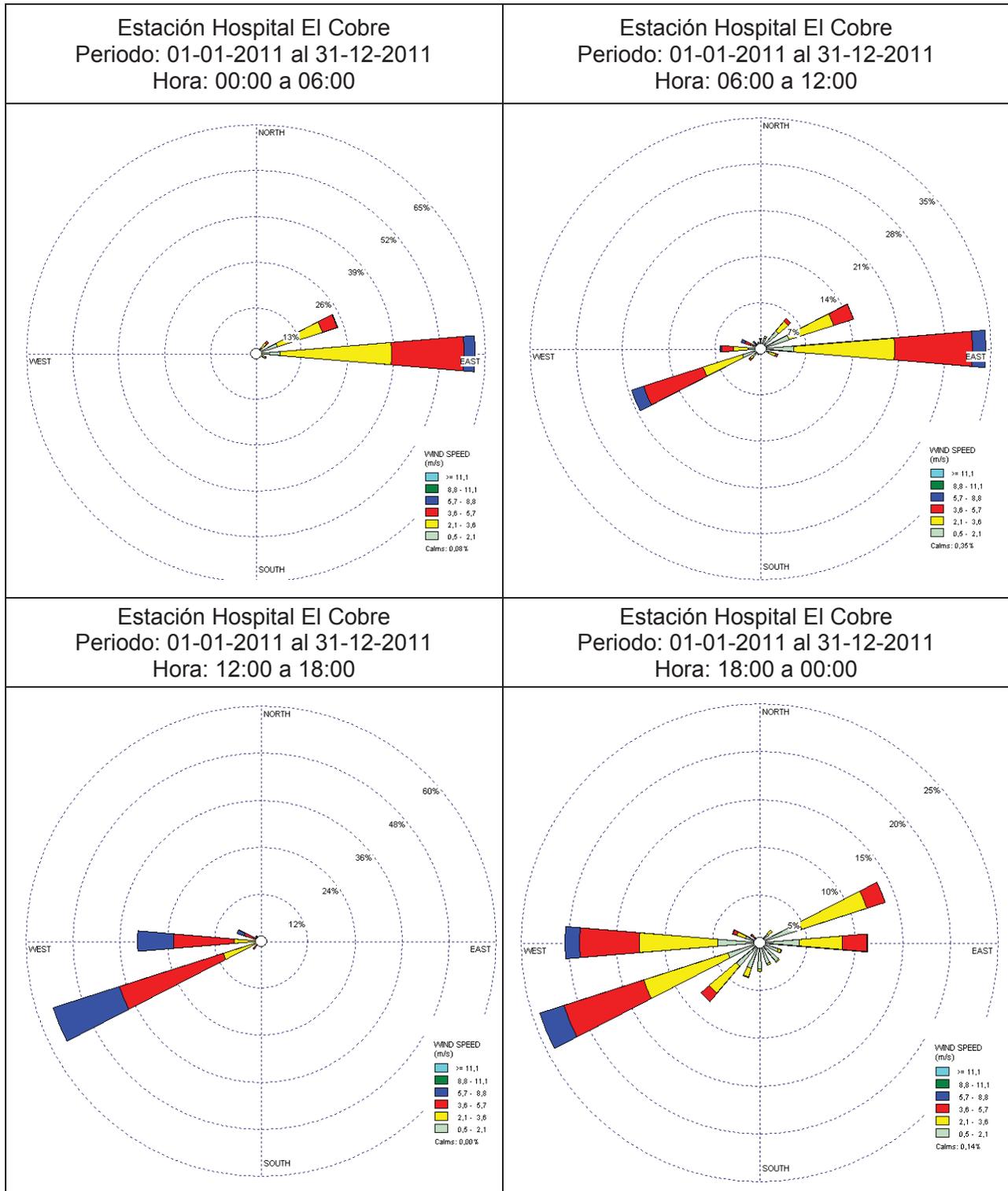
Figura 2.3-6. Rosa de Vientos de Estaciones Meteorológicas – Ene 2011 / Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu





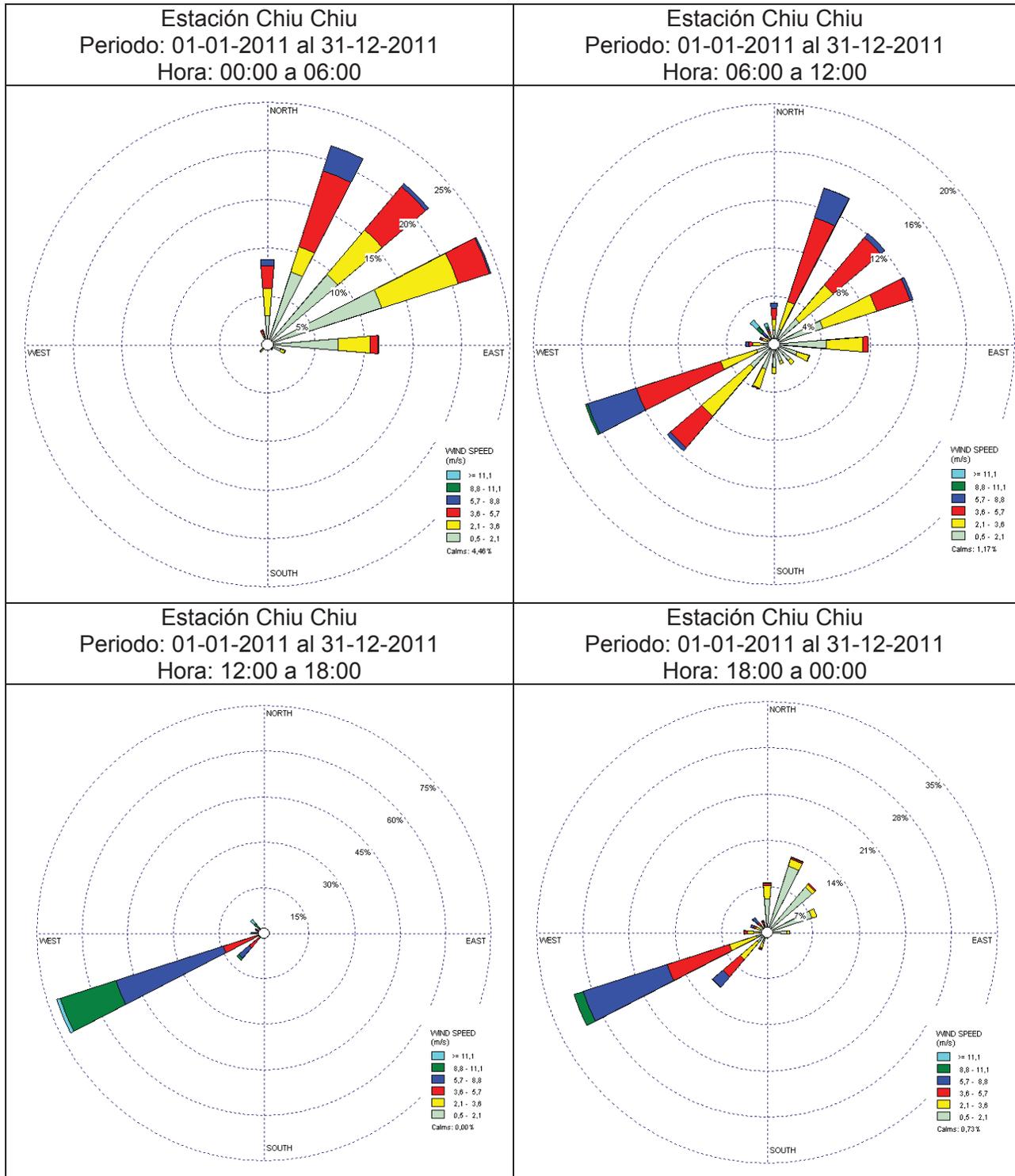
Las siguientes figuras (Figura 2.3-7 a Figura 2.3-11) presentan los campos de viento representativos de cada período del día, registrados en las distintas estaciones meteorológicas del sector durante el año 2011.

Figura 2.3-7. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2010 ~ Dic 2010 – Calama y Chiu Chiu (Est. Hospital El Cobre)



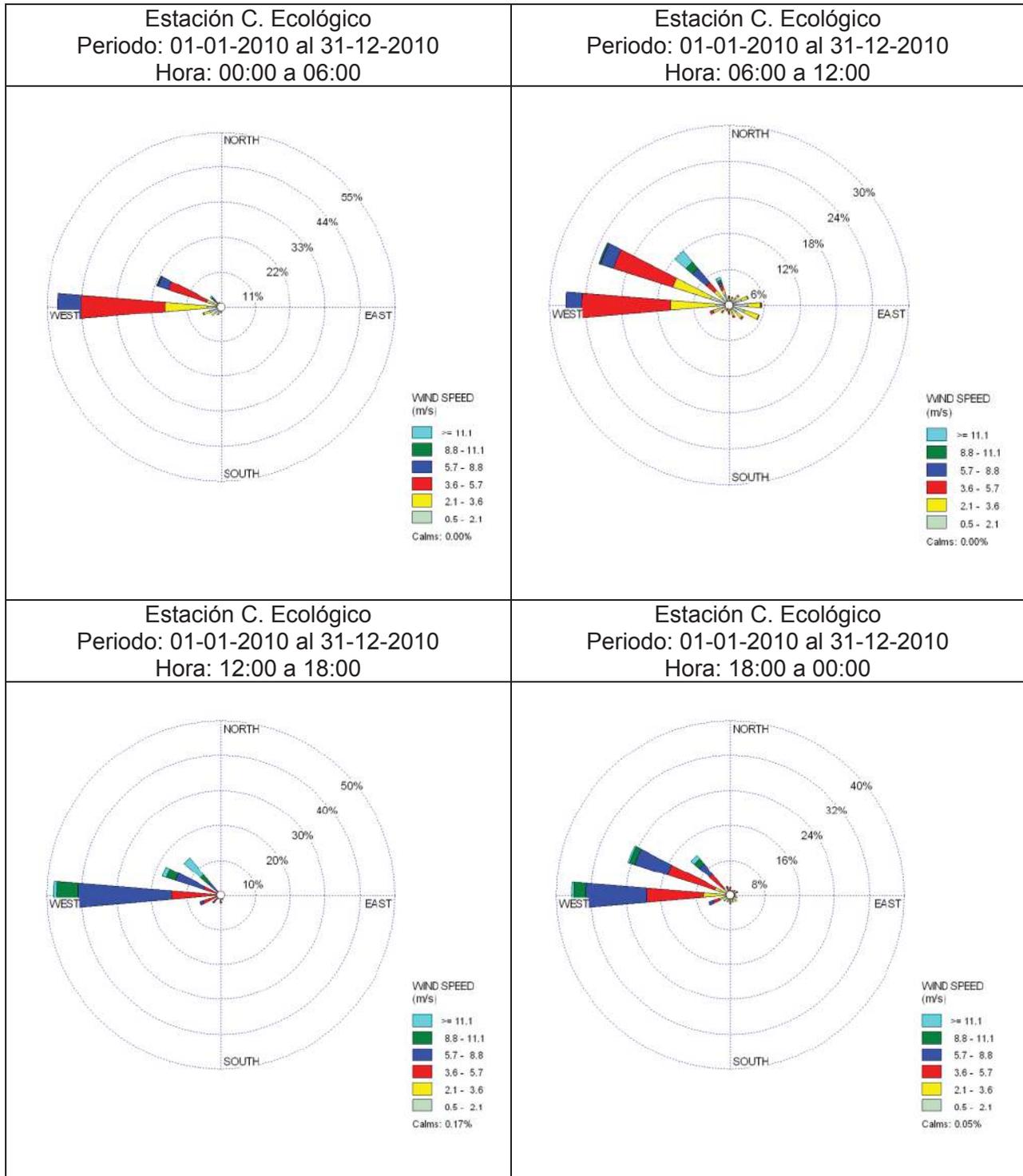
Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

Figura 2.3-8. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu (Est. Chiu Chiu)



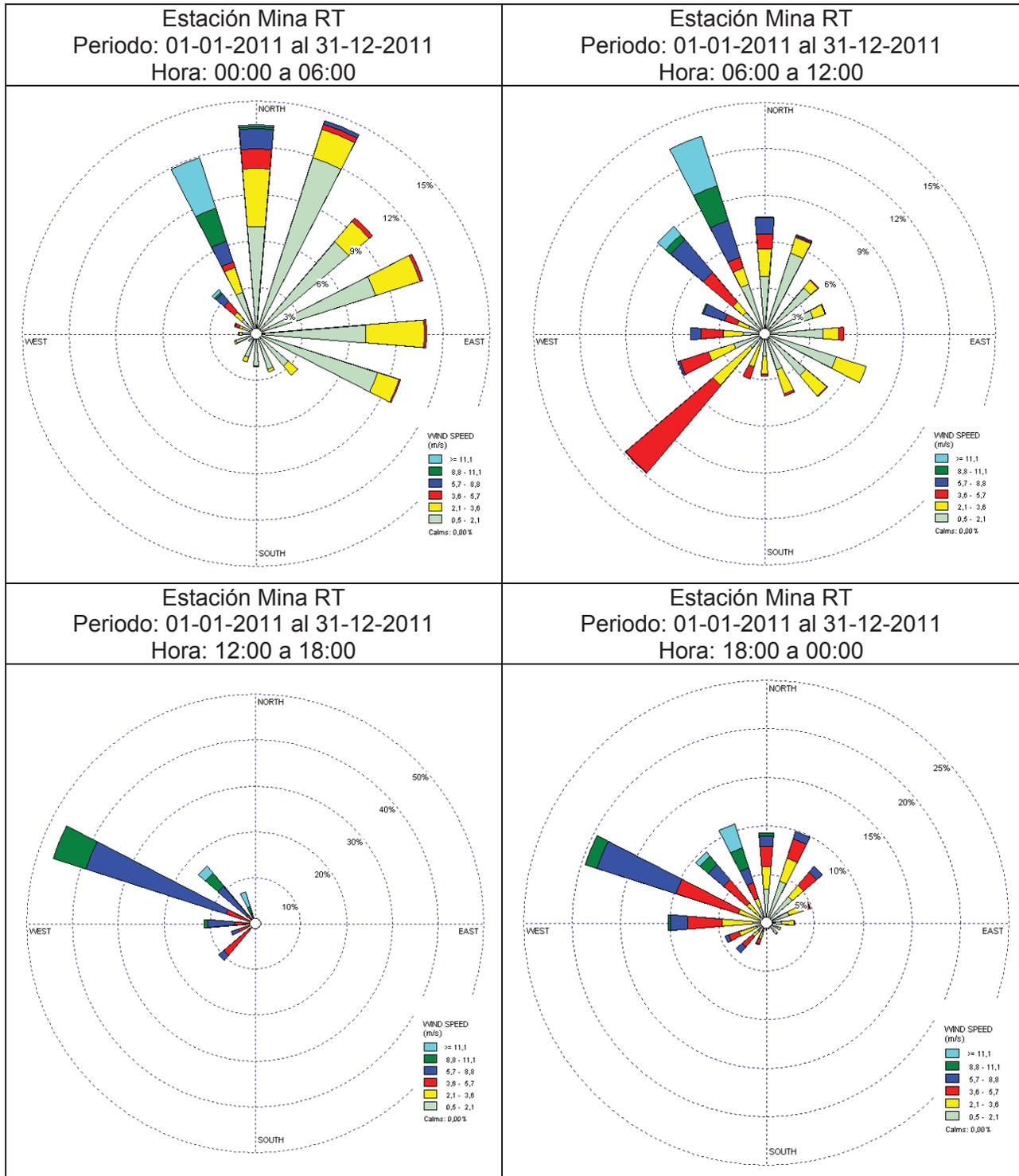
Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

Figura 2.3-9. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2010 ~ Dic 2010 – Calama y Chiu Chiu (Est. C.Ecológico)



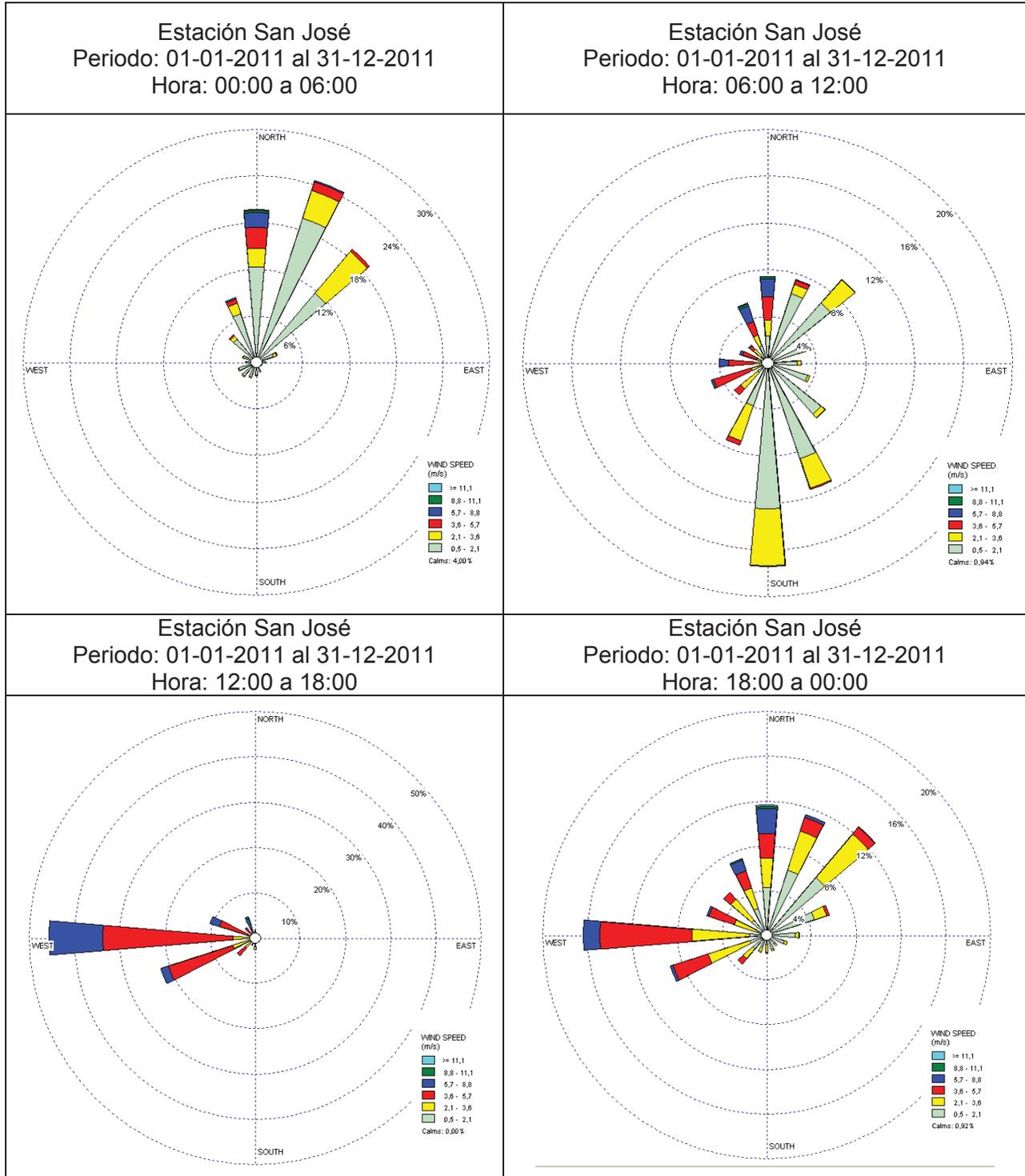
Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

Figura 2.3-10. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu (Est. Mina RT)



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

Figura 2.3-11. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Calama y Chiu Chiu (Est. San José)



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

2. Caracterización Sub área Sierra Gorda

La caracterización meteorológica de la comuna de Sierra Gorda se basó en las mediciones de temperatura, humedad relativa y vientos, efectuadas entre el 1 de Enero del año 2011 y el 31 de Diciembre del mismo año⁵, por la estación meteorológica Sierra Gorda. Estos registros forman parte del sistema de seguimiento y fiscalización del proyecto “Spence”⁶ y han sido obtenidas al interior del área de estudio.

La Tabla 2.3-8 muestra las coordenadas de la estación meteorológica Sierra Gorda.

Tabla 2.3-8. Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Meteorología – Sierra Gorda

Estación	Coordenadas UTM (m) Datum WGS84 Huso 19	
	Norte	Este
Sierra Gorda	7.468.607	467.299

A continuación en la Tabla 2.3-9 se presenta el detalle de las variables meteorológicas que registra esta estación.

Tabla 2.3-9. Parámetros Registrados en las Estaciones de Meteorología Superficial – Sierra Gorda

Estación de Monitoreo	Variables Meteorológicas (*)						
	VV	DV	T°	HR	RS	PA	PP
Sierra Gorda	X	X	X	X			

(*) VV: Velocidad del Viento; DV: Dirección del Viento; T: Temperatura; HR: Humedad Relativa; RS: Radiación Solar; PA: Presión Atmosférica; PP: Precipitaciones.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan cada una de las variables meteorológicas estudiadas.

- Temperatura

La Tabla 2.3-10 presenta las temperaturas medias mensuales registradas durante el período de estudio en la estación meteorológica ubicada en el sector. Se observa que la temperatura promedio mensual durante el año 2011 fue de 17,2 °C.

Tabla 2.3-10. Temperatura Media Mensual (°C) – Ene 2011 / Dic 2011 – Sierra Gorda

Mes	Sierra Gorda
Enero	19,7
Febrero	19,8
Marzo	18,5
Abril	14,1

⁵ En adelante denominado “período de estudio”

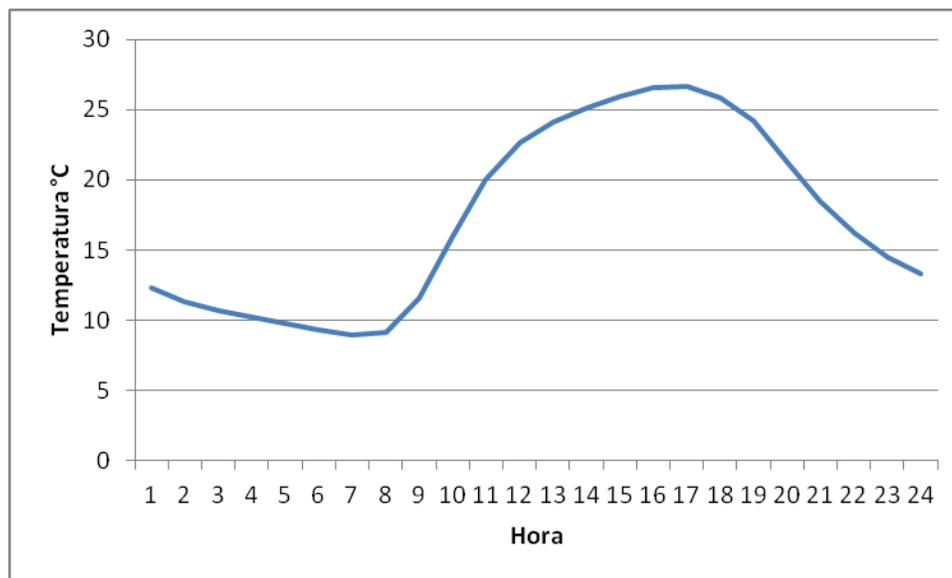
⁶ http://seia.sea.gob.cl/seia-web/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=5309

Mes	Sierra Gorda
Mayo	17,1
Junio	14,9
Julio	14,3
Agosto	15,4
Septiembre	17,5
Octubre	16,7
Noviembre	19,0
Diciembre	19,6
Promedio Anual	17,2

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas

Durante el período de estudio, la oscilación térmica para un día promedio alcanzó una diferencia de hasta 17,0 °C entre el día y la noche (Figura 2.3-12). El registro de los mínimos promedio diarios fue a las 5:00 con una temperatura de 9,3 °C y el máximo promedio más alto (a las 17:00) alcanzó los 26,6 °C.

Figura 2.3-12. Temperatura Día Promedio – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Sierra Gorda



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas

- Humedad Relativa

La humedad relativa promedio durante el período de estudio fue de 22,7% en la estación Sierra Gorda. Tal como se aprecia en la Tabla 2.3-11, la humedad relativa tuvo un comportamiento que concuerda con el clima de la zona y la ubicación de esta estación.

Tabla 2.3-11. Humedad Relativa Media Mensual (%) – Ene 2011 / Dic 2011 – Sierra Gorda

Mes	Sierra Gorda
Enero	29,5
Febrero	40,6
Marzo	27,7
Abril	34,0
Mayo	15,7
Junio	23,0
Julio	23,5
Agosto	12,6
Septiembre	10,2
Octubre	14,5
Noviembre	17,4
Diciembre	25,6
Promedio Anual	22,7

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones

- Régimen de Vientos

La velocidad de viento promedio en el periodo estudiado registrado en la estación Sierra Gorda, fue de 2,98 m/s (Tabla 2.3-12). Por su parte, se observa que la estación registra un 2,01% de vientos calmos (velocidad de vientos menores a 0,5 m/s).

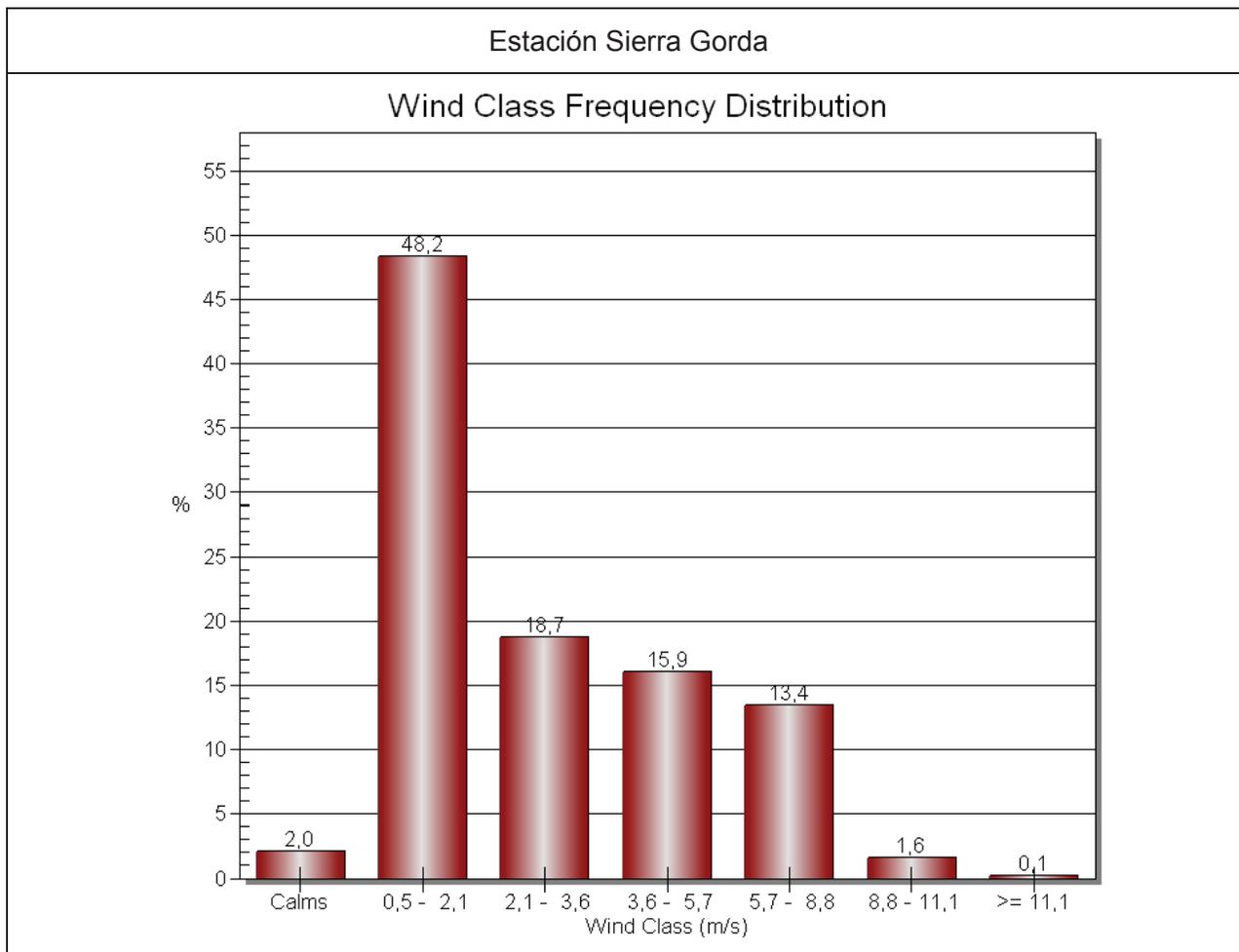
Tabla 2.3-12. Velocidad de Viento Promedio y Calmas – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Sierra Gorda

Estación	Velocidad Promedio (m/s)	% de Calmas
Sierra Gorda	2,98	2,01%

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones meteorológicas

A continuación, la Figura 2.3-13 presenta las distribuciones de velocidades de viento del período de estudio. Durante el 2011, la estación Sierra Gorda registró velocidades de viento principalmente entre 0,5 y 2,1 m/s durante un 48,2% del tiempo.

Figura 2.3-13. Distribución Velocidad de Vientos – Ene 2011 - Dic 2011 – Sierra Gorda

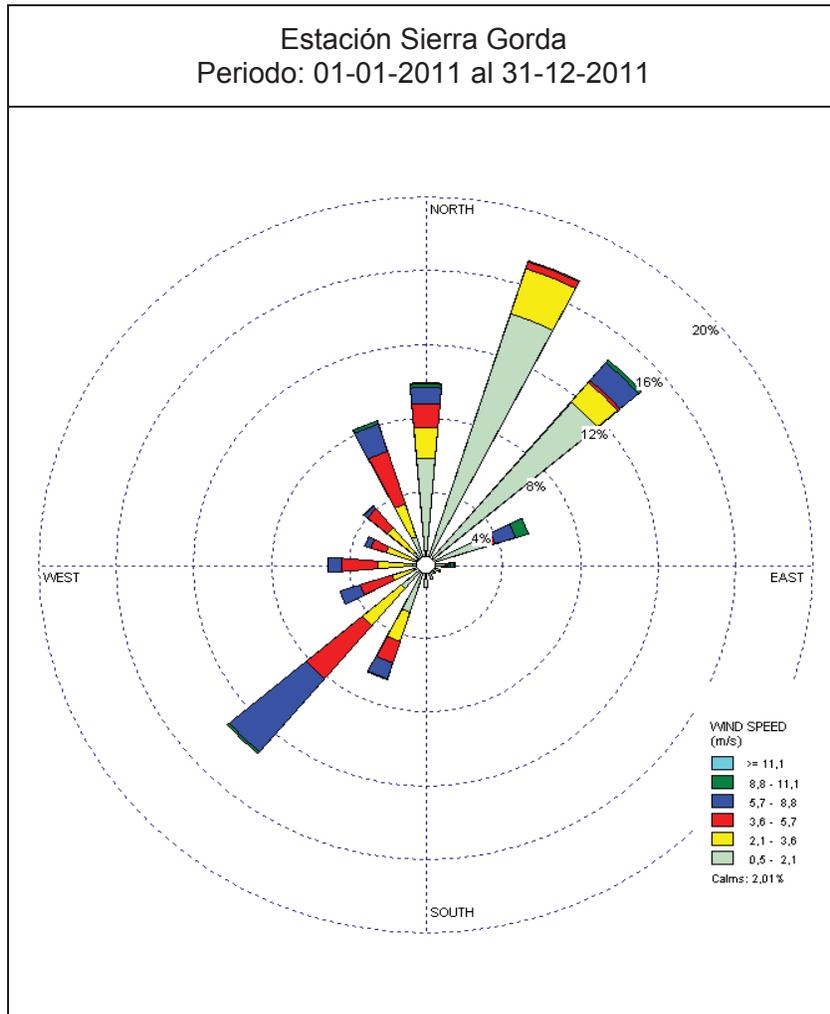


Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

En cuanto a la dirección y velocidad de los vientos registrados en la estación durante el período de estudio, la Figura 2.3-14 presenta la respectiva rosa de viento. En ella se observa que:

- La estación Sierra Gorda presentó vientos que provinieron principalmente desde el NorEste (NE) y desde el SurOeste (SW) con intensidades que llegaron hasta los 5,7 m/s.

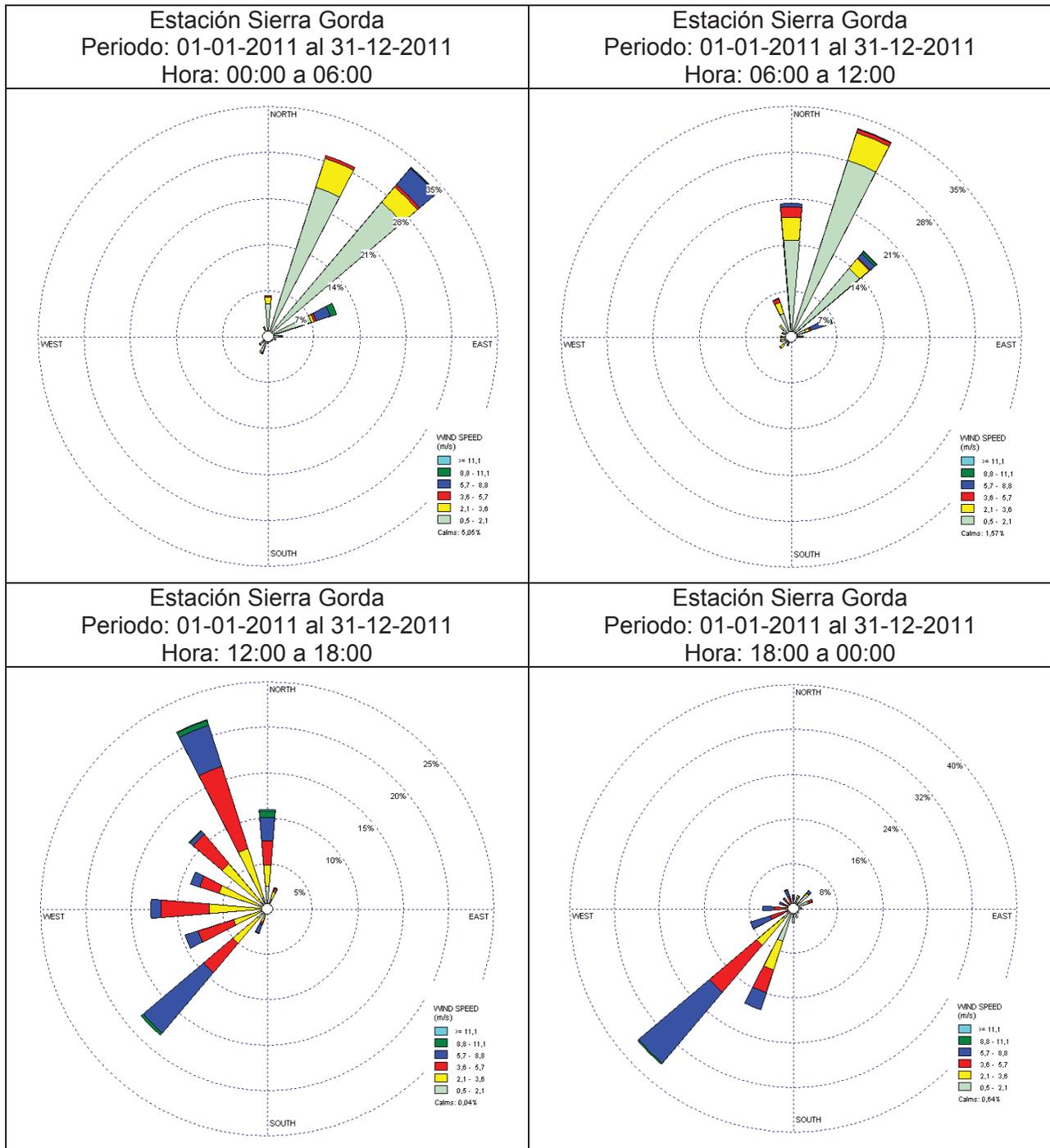
Figura 2.3-14. Rosa de Vientos de Estación Meteorológica – Ene 2011 / Dic 2011 – Sierra Gorda



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

La siguiente Figura 2.3-15 presenta los campos de viento representativos de cada período del día, registrados en la estación meteorológica del sector durante el año 2011.

Figura 2.3-15. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Sierra Gorda



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

3. Caracterización Sub área Antofagasta

La caracterización meteorológica de Antofagasta se basó en las mediciones de temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y vientos, efectuadas entre el 1 de Enero del año 2011 y el 31 de Diciembre del mismo año⁷, por la estación de Monitoreo Incacesa⁸.

La Tabla 2.3-13 muestra la ubicación de la estación meteorológica con las que se caracterizó la meteorología del sector.

Tabla 2.3-13. Ubicación de Estación de Monitoreo de Meteorología – Antofagasta

Estación	Coordenadas UTM (m) Datum WGS84 Huso 19	
	Norte	Este
Incacesa	7.369.267	366.001

A continuación en la Tabla 2.3-14, se presenta el detalle de las variables meteorológicas que registra esta estación

Tabla 2.3-14. Parámetros Registrados en las Estación de Meteorología Superficial – Antofagasta

Estación de Monitoreo	Variables Meteorológicas (*)						
	VV	DV	T°	HR	RS	PA	PP
Incacesa	X	X	X	X		X	

(*) VV: Velocidad del Viento; DV: Dirección del Viento; T: Temperatura; HR: Humedad Relativa; RS: Radiación Solar; PA: Presión Atmosférica; PP: Precipitaciones.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan cada una de las variables meteorológicas estudiadas.

- Temperatura

La Tabla 2.3-15 presenta las temperaturas medias mensuales registradas durante el período de estudio en la estación meteorológica ubicada en el sector. Se observa que la temperatura promedio mensual durante el año 2011 en la estación Incacesa fue de 14,9 °C.

Tabla 2.3-15. Temperatura Media Mensual (°C) – Ene 2011 / Dic 2011 – Antofagasta

Mes	Incacesa
Enero	18,3
Febrero	20,1
Marzo	17,4
Abril	15,4
Mayo	12,8
Junio	12,3

⁷ En adelante denominado “período de estudio”

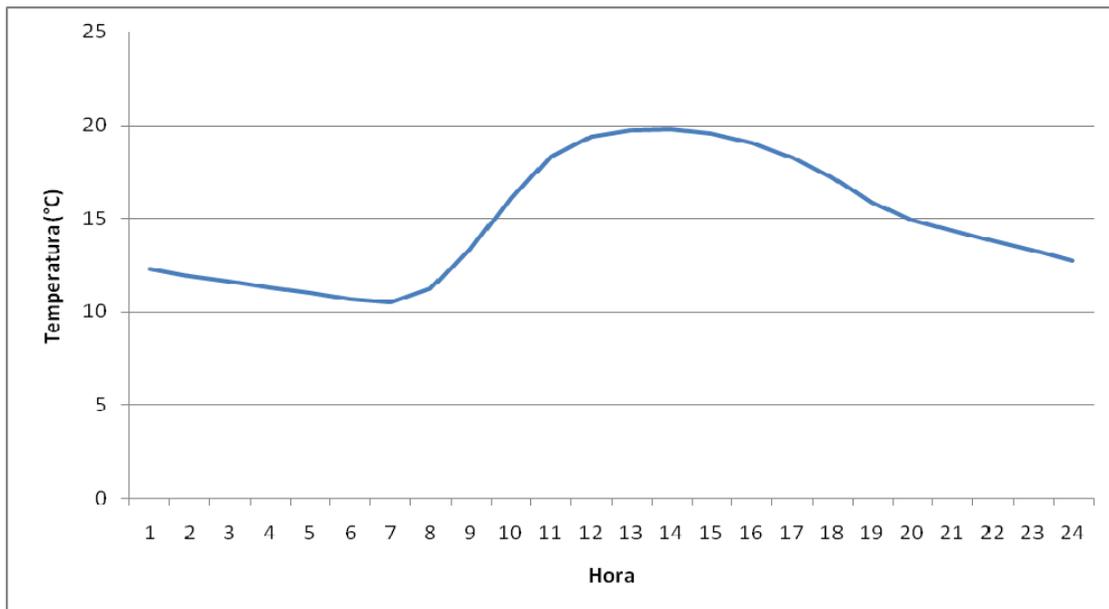
⁸ Fuente: Presentación Adenda N° 1 Proyecto “Ampliación Planta de Carbonato de Litio – la Negra”

Mes	Incacesa
Julio	11,2
Agosto	11,3
Septiembre	12,6
Octubre	13,9
Noviembre	15,2
Diciembre	17,9
Promedio Anual	14,9

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas

Durante el período de estudio, la máxima oscilación térmica para un día promedio es de hasta 9,0 °C entre el día y la noche (Figura 2.3-16). Esta estación registró mínimas promedio (a las 7:00) de 10,5 °C y máximo promedio (a las 13:00) de 19,8 °C.

Figura 2.3-16. Temperatura Día Promedio – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Antofagasta



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas

- Humedad Relativa

La humedad relativa promedio durante el período de estudio fue de 68,6% en la estación Incacesa. Tal como se aprecia en la Tabla 2.3-16, la humedad relativa tuvo un comportamiento que concuerda con el clima de la zona y la ubicación de la estación.

Tabla 2.3-16. Humedad Relativa Media Mensual (%) – Ene 2011 / Dic 2011 – Antofagasta

Mes	Incacesa
Enero	64,9
Febrero	60,8
Marzo	64,7
Abril	70,9
Mayo	72,8
Junio	74,3
Julio	74,6
Agosto	69,6
Septiembre	73,1
Octubre	63,9
Noviembre	67,9
Diciembre	64,9
Promedio Anual	68,6

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones

- Presión Atmosférica

La presión atmosférica promedio mensual durante el período de estudio fue de 724,4 mbar en la estación Incacesa. (ver Tabla 2.3-17)

Tabla 2.3-17. Presión Atmosférica (mbar) – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Antofagasta

Mes	Incacesa
Enero	722,7
Febrero	723,1
Marzo	723,5
Abril	724,3
Mayo	724,5
Junio	725,2
Julio	725,3
Agosto	725,4
Septiembre	725,5
Octubre	725,3
Noviembre	724,4
Diciembre	723,8
Promedio Anual	724,4

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas

- Régimen de Vientos

La velocidad de viento promedio en el periodo estudiado que se registró en la estación Incacesa fue de 2,81 m/s (Tabla 2.3-18). Por su parte, se observa que la estación registra un 3,4% de vientos calmos (velocidad de vientos menores a 0,5 m/s).

Tabla 2.3-18. Velocidad de Viento Promedio y Calmas – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Antofagasta

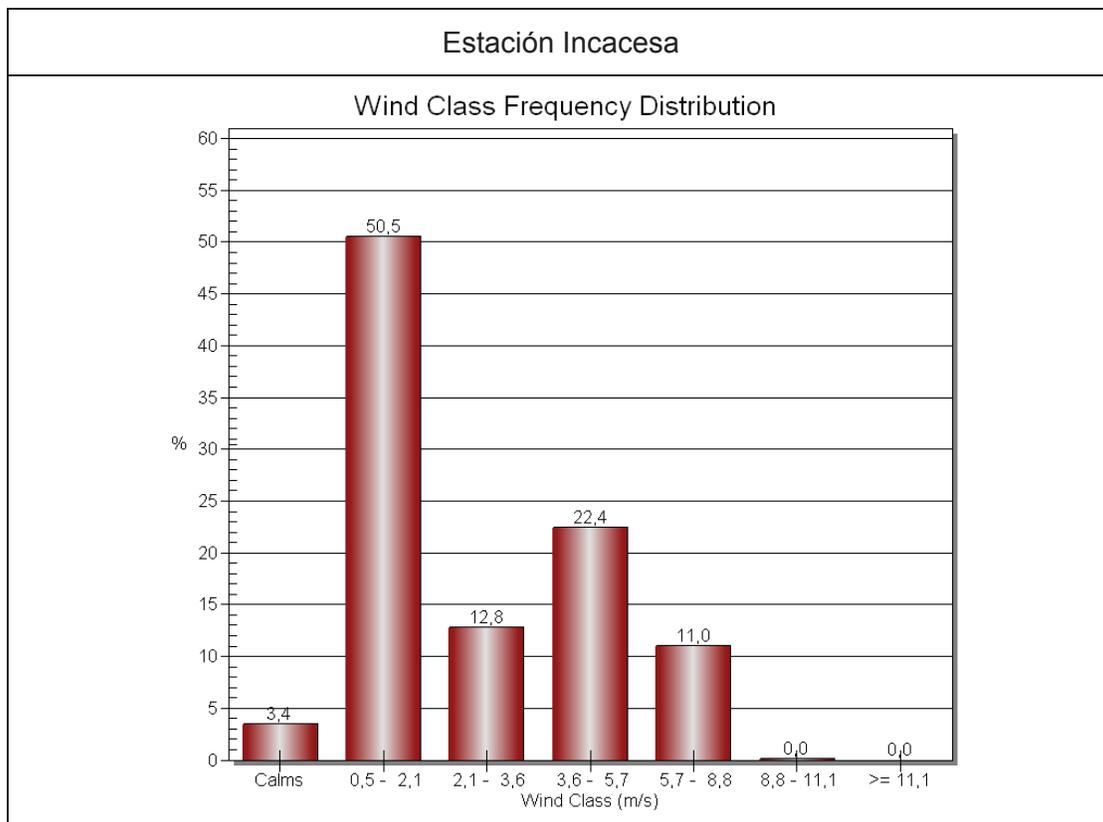
Estación	Velocidad Promedio (m/s)	% de Calmas
Incacesa	2,81	3,4%

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones meteorológicas

A continuación, la Figura 2.3-17 presenta las distribuciones de velocidades de viento del período de estudio.

Durante el 2011, la estación Incacesa registró velocidades de viento principalmente entre 0,5 y 2,1 m/s durante un 50,5% del tiempo.

Figura 2.3-17. Distribución Velocidad de Vientos – Ene 2011 - Dic 2011 – Antofagasta

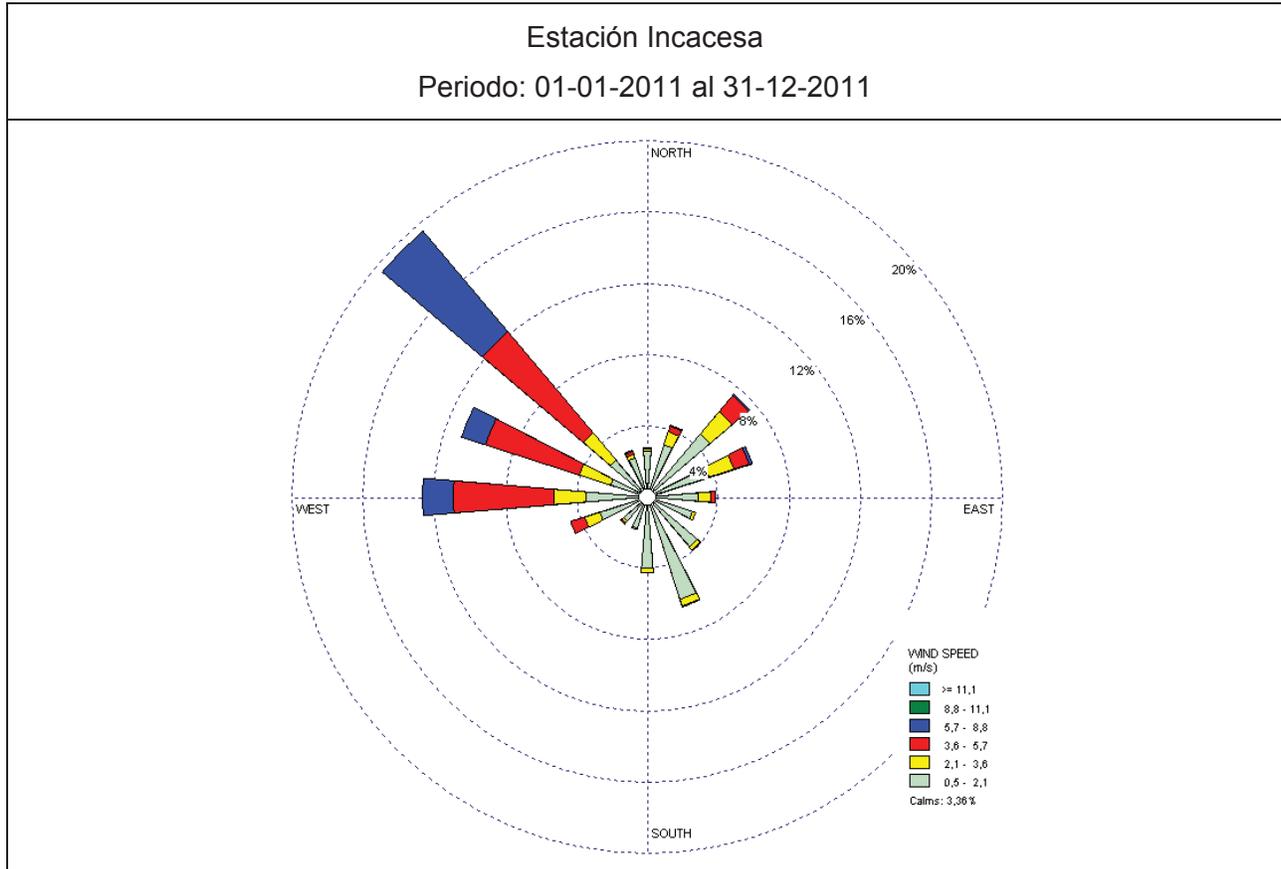


Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

En cuanto a la dirección y velocidad de los vientos registrados en la estación durante el período de estudio, la Figura 2.3-18 presenta las respectivas rosas de viento. En ella se observa que:

- La estación Incacesa presentó vientos que provinieron principalmente desde el NorOeste con intensidades que llegaron hasta los 8,8 m/s.

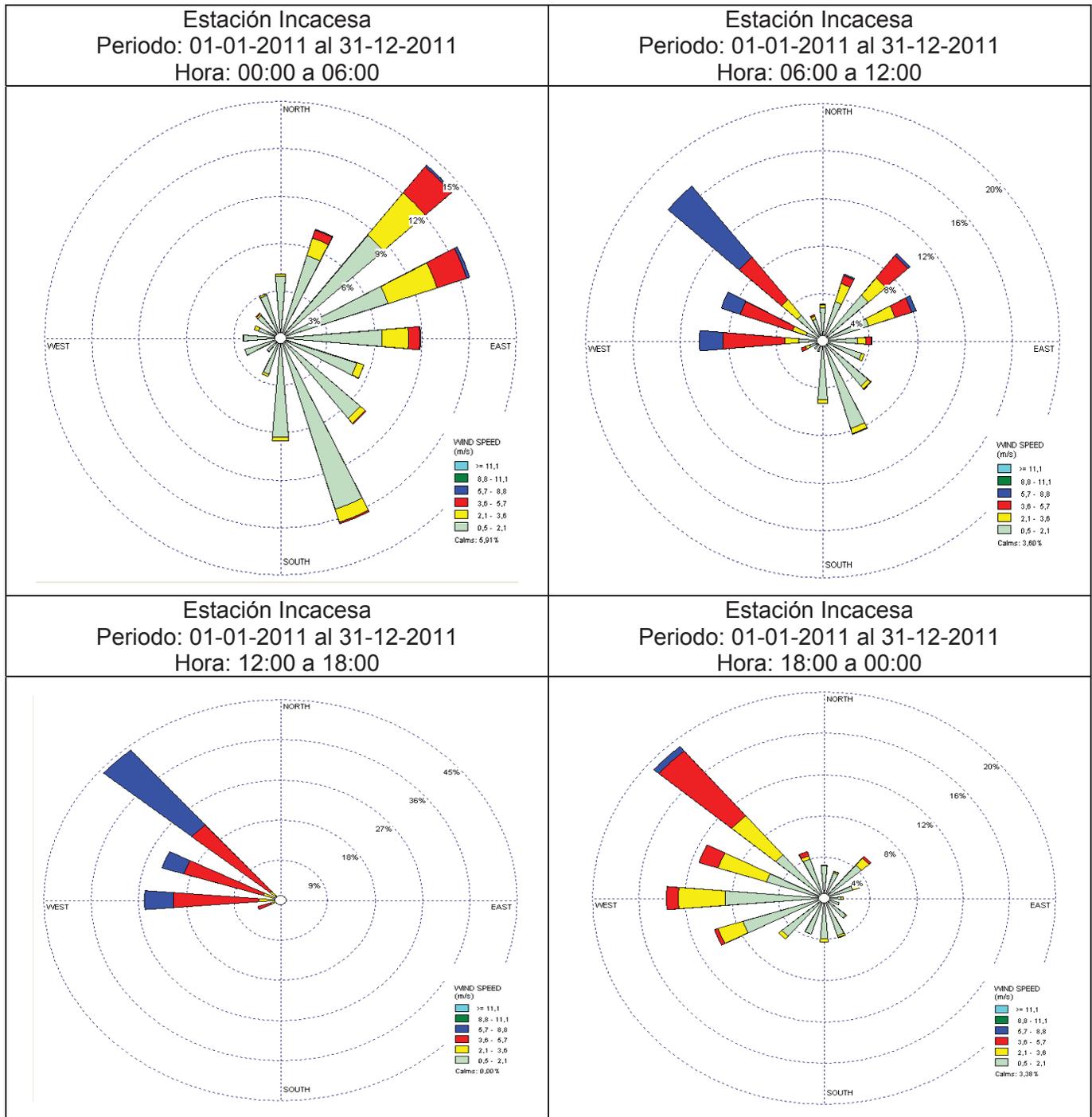
Figura 2.3-18. Rosa de Vientos de Estaciones Meteorológicas – Ene 2011 / Dic 2011 – Antofagasta



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

La Figura 2.3-19 presenta los campos de viento representativos de cada período del día, registrados en la estación meteorológica del sector durante el año 2011.

Figura 2.3-19. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Antofagasta



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

4. Caracterización Sub área Mejillones

La caracterización meteorológica de Mejillones se basó en las mediciones de temperatura, precipitaciones, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica y vientos, efectuadas entre el 1 de Enero del año 2011 y el 31 de Diciembre del mismo año⁹.

La Tabla 2.3-19 y Figura 2.3-1 muestran las coordenadas de la estación meteorológica con las que se caracterizó la meteorología del sector.

Tabla 2.3-19. Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Meteorología – Mejillones

Estación	Coordenadas UTM (m) Datum WGS84 Huso 19	
	Norte	Este
Jardín Infantil	7.444.798	352.237

A continuación en la Tabla 2.3-20 se presenta el detalle de las variables meteorológicas que registra esta estación.

Tabla 2.3-20. Parámetros Registrados en las Estaciones de Meteorología Superficial– Mejillones

Estación de Monitoreo	Variables Meteorológicas (*)						
	VV	DV	T°	HR	RS	PA	PP
Jardín Infantil	X	X	X	X			

(*) VV: Velocidad del Viento; DV: Dirección del Viento; T: Temperatura; HR: Humedad Relativa; RS: Radiación Solar; PA: Presión Atmosférica; PP: Precipitaciones.
 Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan cada una de las variables meteorológicas estudiadas.

- Temperatura

La Tabla 2.3-21 presenta las temperaturas medias mensuales registradas durante el período de estudio en la estación meteorológica ubicada en el sector. Se observa que la temperatura promedio mensual durante el año 2011 fue de 18,4 °C en la estación Jardín Infantil.

Tabla 2.3-21. Temperatura Media Mensual (°C) – Ene 2011 / Dic 2011 – Mejillones

Mes	Jardín Infantil
Enero	22,3
Febrero	22,8
Marzo	20,2
Abril	18,7
Mayo	16,4
Junio	16,3

⁹ En adelante denominado “período de estudio”

Mes	Jardín Infantil
Julio	14,8
Agosto	15,1
Septiembre	15,7
Octubre	n.d.
Noviembre	18,9
Diciembre	21,3
Promedio Anual	18,4

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas. n.d.: no disponible.

- Humedad Relativa

La humedad relativa promedio durante el período de estudio fue de 65,9% en la estación Jardín Infantil. Tal como se aprecia en la Tabla 2.3-22, la humedad relativa tuvo un comportamiento que concuerda con el clima de la zona y la ubicación de las estaciones.

Tabla 2.3-22. Humedad Relativa Media Mensual (%) – Ene 2011/ Dic 2011 – Mejillones

Mes	Jardín Infantil
Enero	64,3
Febrero	61,8
Marzo	66,4
Abril	68,7
Mayo	69,8
Junio	67,5
Julio	68,8
Agosto	66,9
Septiembre	65,2
Octubre	n.d.
Noviembre	64,1
Diciembre	62,2
Promedio Anual	65,9

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones. n.d. No Disponible

- Régimen de Vientos

La velocidad de viento promedio en el periodo estudiado que se registró en la estación Jardín Infantil, fue 3,5 m/s (Tabla 2.3-23). Por su parte, se observa que la dirección predominante para el periodo de estudio corresponde a campos de viento provenientes desde el Sur-suroeste (SSW).

Tabla 2.3-23. Velocidad de Viento Promedio y Calmas – Ene 2011 ~ Dic 2011 – Mejillones

Mes	Velocidad Promedio (m/s)	Dirección Predominante
Enero	4,0	SSW
Febrero	4,0	SSW
Marzo	4,1	SSW
Abril	3,5	SSW
Mayo	3,0	SSW
Junio	2,6	SSW
Julio	3,0	SSW
Agosto	3,2	SSW
Septiembre	4,1	S
Octubre	n.d	n.d.
Noviembre	3,4	SSW
Diciembre	3,4	SSW

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones meteorológicas. n.d. No Disponible

5. Caracterización Sub área Tocopilla

La caracterización meteorológica de Tocopilla se basó los registros de la estación meteorológica “Centro”, propiedad de Electroandina S.A. Para los efectos de la caracterización meteorológica en esta sub-área, se consideraron los datos monitoreados durante el año 2008, de las variables velocidad y dirección del viento. Adicionalmente, se complementó la información con los registros de velocidad y dirección de vientos diarios del año 2010 obtenidos de la estación Gobernación, propiedad de Norgener S.A. (ver Tabla 2.3-24).

Tabla 2.3-24. Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Meteorología – Tocopilla

Estación	Coordenadas UTM (m) Datum WGS84 Huso 19	
	Norte	Este
Centro	7.556.334	376.516
Gobernación	7.556.373	376.087

A continuación, en la Tabla 2.3-25 se presenta el detalle de las variables meteorológicas que registra cada una de las estaciones ante mencionadas. En las siguientes secciones se presentan cada una de las variables meteorológicas estudiadas.

Tabla 2.3-25. Parámetros Registrados en la Estación de Meteorología Superficial – Tocopilla

Estación de Monitoreo	Período de Medición Considerado	Variables Meteorológicas (*)						
		VV	DV	T°	HR	RS	PA	PP
Centro	Año 2008	X	X					
Gobernación	Año 2010	X	X					

(*) VV: Velocidad del Viento; DV: Dirección del Viento; T: Temperatura; HR: Humedad Relativa; RS: Radiación Solar; PA: Presión Atmosférica; PP: Precipitaciones.

Fuente: Elaboración propia

- Régimen de Vientos

La Tabla 2.3-26 presenta la velocidad de viento promedio registrada en las estaciones meteorológicas ubicadas en el sector. Se observa que la mayor velocidad de viento promedio se registró en la estación Gobernación, con 2,63 m/s.

Tabla 2.3-26. Velocidad de Viento Promedio – Tocopilla

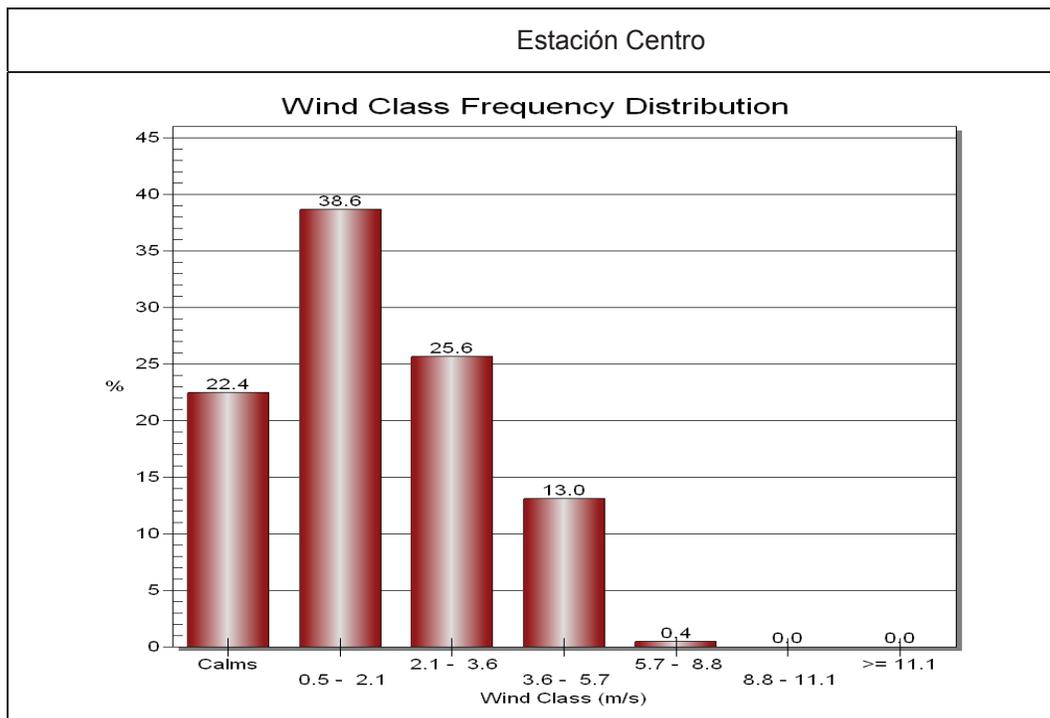
Estación	Velocidad Promedio (m/s)
Centro (2008)	1,8
Gobernación (2010)	2,63

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en las estaciones meteorológicas

A continuación, presenta las distribuciones de velocidades de viento durante el año 2008 en la estación Centro¹⁰ (Figura 2.3-20). Se observa que en la estación Gobernación se registraron velocidades de viento principalmente entre el rango 0,5 y 2,1 m/s, durante 38,6% del tiempo.

10 No se consideró la estación Gobernación debido a que el SINCA proporcionó únicamente las velocidades de viento promedio diario.

Figura 2.3-20. Distribución Velocidad de Vientos – Ene 2008 ~ Dic 2008 – Tocopilla

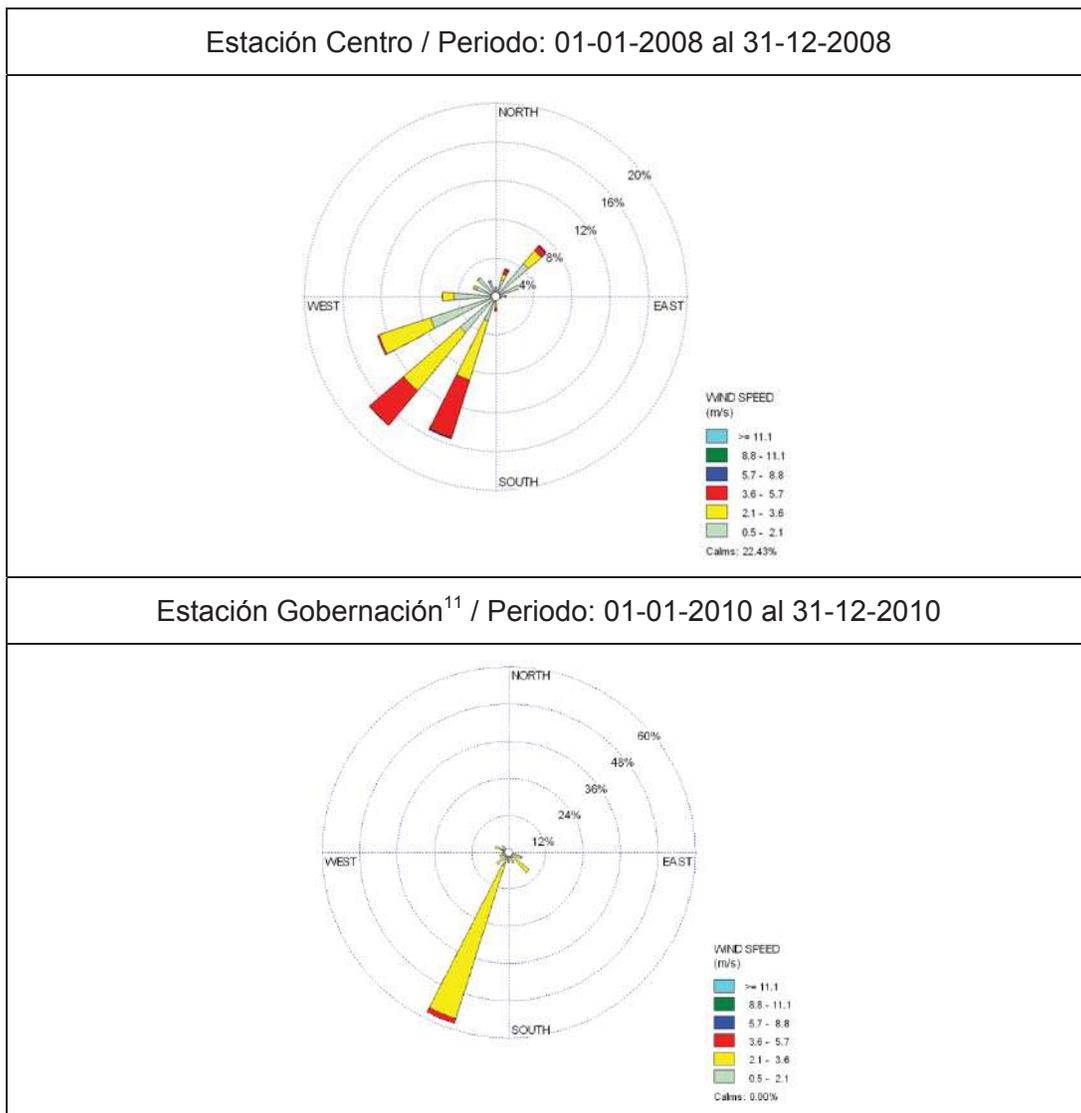


Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

En cuanto a la dirección y velocidad de los vientos registrados en cada una de las estaciones consideradas para esta sub-área (Figura 2.3-21), se observa que:

- Durante el año 2008, la estación Centro presentó vientos que provinieron principalmente desde el Sur-Oeste (SW) con intensidades que llegaron hasta los 5,7 m/s.
- En la estación Gobernación, los vientos registrados durante el año 2010 provinieron principalmente desde el Sur-Suroeste (SSW), con intensidades promedio diario de hasta 5,7 m/s.

Figura 2.3-21. Rosa de Vientos de Estaciones Meteorológicas – Tocopilla

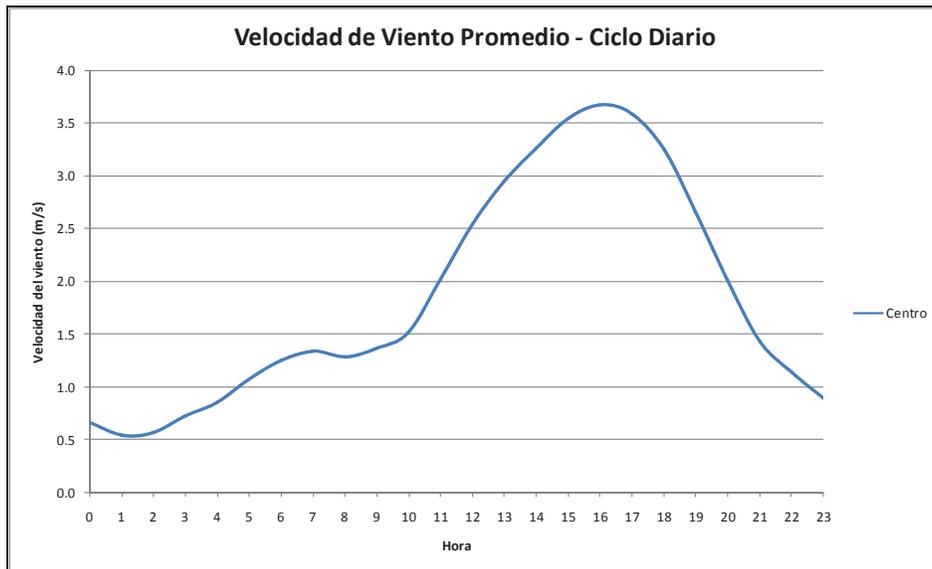


Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

Respecto a las velocidades de viento en la estación Centro en un día promedio durante el año 2008 (Figura 2.3-22), se observa un aumento considerable en la velocidad del viento en el período diurno respecto del nocturno, alcanzando un promedio de 3,7 m/s a las 16:00. Por su parte, a la 01:00 se registraron los vientos más calmos con una velocidad mínima promedio de 0,5 m/s.

¹¹ Cabe señalar que la rosa de los vientos de la estación Gobernación fue elaborada a partir de registros diarios, sin la información desagregada hora a hora.

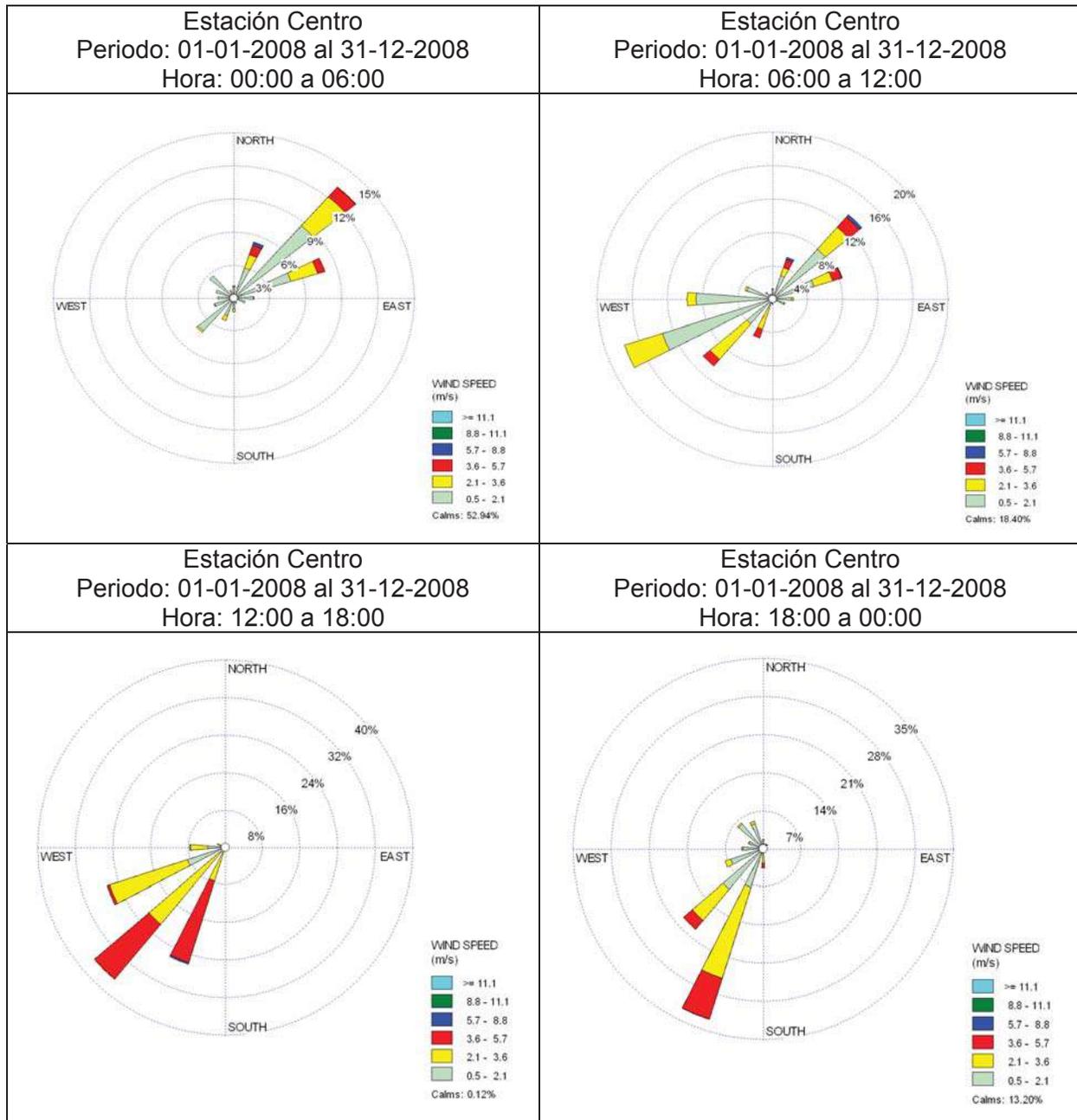
Figura 2.3-22. Velocidad de Vientos Promedio (m/s) – Ene 2008 ~ Dic 2008 – Tocopilla



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estación meteorológica Centro

La Figura 2.3-23 presenta los campos de viento representativos de cada período del día, monitoreados durante el año 2008 en la estación Centro. En ella se observa que durante la noche y la mañana del año 2008, se registraron vientos predominantemente desde el Oeste-Suroeste (WSW) y desde el NE (NE); mientras que a partir de las 12:00 del día y hasta la media noche, los vientos predominaron sólo en la dirección Sur-oeste (SW).

Figura 2.3-23. Rosa de Viento por Período del Día – Ene 2008 ~ Dic 2008 – Tocopilla



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones en estaciones meteorológicas y procesamiento con software WRPlot

6. Caracterización Sub área María Elena

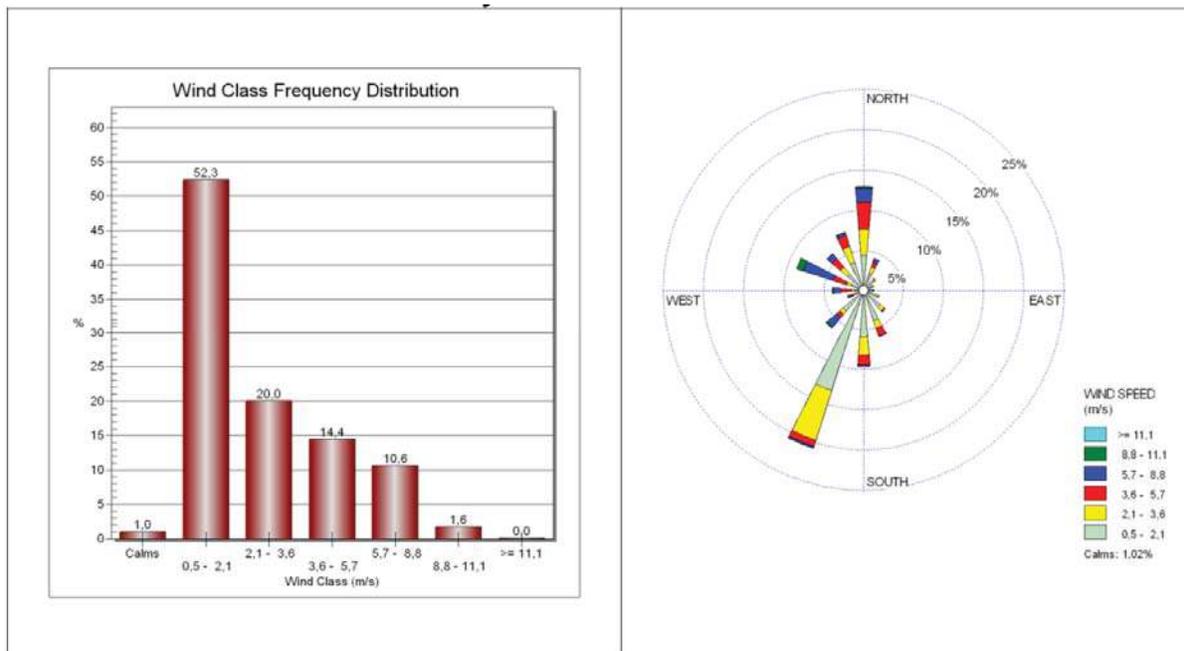
El proyecto contempla que en la comuna de María Elena se desarrollen obras civiles que conectarán la planta desaladora con el reservorio de agua fresca ubicado en la DRT (División Radomiro Tomic) cruzando el desierto interior en donde no se dispone de estaciones meteorológicas que permitan una caracterización precisa de las variables meteorológicas. No

obstante, conviene considerar que tales variables responden a un gradiente climático entre las ubicaciones descritas en la Caracterización de Calama y las localidades costeras, para las cuales sí se dispone de una caracterización en este informe de Línea Base.

Una caracterización de los campos de viento se presenta en las siguientes figuras, que representa la frecuencia de velocidades y la rosa de viento para el periodo comprendido entre Enero y Diciembre de 2011 (fuente: Proceso de Evaluación Ambiental DIA Proyecto “Nueva Zona de Mina Pedro de Valdivia”) correspondiente a la estación meteorológica Coya Sur propiedad de SQM.

El campo de viento predominante en el sector proviene desde la dirección SurOeste (SW) y en menor medida desde el Norte (N), con una velocidad media de 2,9 m/s y registrándose periodos de calma durante un 1% del tiempo (vientos con velocidades menores a 0,5 m/s). Sobre las frecuencias registrada, el 52,3% del tiempo se presentan velocidades en el rango entre 0,5 – 2,1 m/s.

Figura 2.3-24. Frecuencia y Rosa de Viento– Ene 2010 ~ Dic 2010 – María Elena



Fuente: Anexo EA-2 Modelación de Calidad de Aire – DIA “Nueva Zona de Mina Pedro de Valdivia”

2.3.1.5 Conclusiones

El área de estudio presenta características de extrema aridez, la que se manifiesta especialmente en la depresión intermedia y en las cuencas intermontañosas. En la costa, por el contrario, la cercanía al mar y los cordones montañosos contribuyen a crear mayores variaciones climáticas que se expresan en franjas longitudinales, cruzando la región de norte a sur.

Las áreas de ocupación del Proyecto están representados tres climas, según la clasificación de Köeppen: Clima Desértico con Nublados Abundantes (BWN) (< 1.000 msnm), Clima Desértico Normal (BW) (pampas entre 1.000 y 2.000 msnm) y Clima Desértico Marginal de Altura (BWH) (zona central de la región entre los 2000 y 3000 msnm). La relación entre los sectores asociados al Proyecto y los tipos de clima presentes en el área se resumen en la siguiente tabla (Tabla 2.3-27):

Tabla 2.3-27. Climas según Köeppen en los Sectores de Estudio del Proyecto

Sector	Clima
Sector RT	BWH
Sector Tranque Talabre	BWH
Sector Planta Desaladora	BWN
Sector Planta Desaladora - RT	BWN-BW-BWH

Fuente: Elaboración propia

Las características meteorológicas descritas para las sub áreas analizadas son las siguientes:

Las características de la meteorología en los sectores mencionados anteriormente, los cuales fueron asociados a comunas que cuentan con red de monitoreo meteorológico, se agrupan y se describen a continuación:

- Sub área Calama y *Chiu Chiu*: Esta comuna presenta una temperatura promedio de 17,1 °C, con una oscilación térmica de hasta 17,0 °C entre el día y la noche, se presentan velocidades de 2,98 m/s con una componente predominantes desde el Noreste (NE) y el Suroeste (SW).
- Sub área Sierra Gorda: Esta comuna presenta una temperatura promedio de 14,9 °C, con una oscilación térmica de hasta 9,0 °C entre el día y la noche, se presentan velocidades de 2,81 m/s con una componente predominantes desde el Noroeste (NW).
- Sub área Antofagasta: Esta comuna presenta una temperatura promedio de 14,9 °C, con una oscilación térmica de hasta 9,0 °C entre el día y la noche, se presentan velocidades de 2,81 m/s con una componente predominantes desde el Noroeste (NW).
- Sub área Mejillones: La comuna presenta temperaturas promedio cercana a los 18,4 °C, una humedad relativa promedio de 65,9% y velocidades de viento promedio de 3,5 m/s provenientes desde el Sur-suroeste (SSW).
- Sub área Tocopilla: La comuna presenta vientos promedio entre 1,8 y 2,6 m/s con vientos predominantes provenientes desde el Suroeste (SW).

- Sub área María Elena: Las variables responden a un gradiente climático entre las ubicaciones descritas en la Caracterización de Calama y las localidades costeras, con campos de viento predominantes provenientes desde el SurOeste (SW) con una velocidad promedio de 2,9 m/s.

2.3.1.6 Referencias Bibliográficas

- Web Dirección Meteorológica de Chile, www.meteochile.cl.
- Web Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire – www.sinca.conama.cl
- Di Castri, Franceso & Hajek, Ernst; Bioclimatología de Chile.
- EIA Proyecto Spence
- Adenda N° 1 Proyecto “Ampliación Planta de Carbonato de Litio – la Negra”
- DIA “Nueva Zona de Mina Pedro de Valdivia”

2.3.2 Calidad del Aire

2.3.2.1 Introducción

En la siguiente sección se describe la calidad del aire del área de influencia del proyecto. La caracterización de este componente se realizó utilizando los registros de estaciones monitoras presentes en el área de influencia del Proyecto.

Objetivo

El objetivo de este acápite es establecer una caracterización de la calidad del aire en el área de emplazamiento del proyecto RT Sulfuros con el fin de establecer los niveles de concentraciones para los contaminantes normados según la disponibilidad de información (MP10, MP2,5, MPS, SO₂, NO₂ y CO).

2.3.2.2 Definición Área de Influencia

El área de influencia para la componente calidad del aire se conforma por seis sub-áreas principales, se han identificado tres áreas con alta sensibilidad, a saber, la zona saturada de Calama (considerando además la localidad aledaña de Chiu Chiu), la zona saturada de María Elena y la zona saturada de Tocopilla (si bien las actividades del Proyecto no se encuentran al interior de esta última, si generan efectos sobre la red de monitoreo presente en la zona saturada). Además de las mencionadas anteriormente, se consideran tres áreas por donde se desarrolla el transporte de vehículos asociados al Proyecto, estas son Sierra Gorda, Antofagasta y Mejillones. A continuación se listan las sub-áreas incluidas en la línea base y sus principales características:

- Sub-área Zona Saturada de Calama y localidad de Chiu Chiu
- Sub-área Zona Saturada de María Elena
- Sub-área Zona Saturada de Tocopilla
- Sub-área de Sierra Gorda
- Sub-área de Antofagasta
- Sub-área de Mejillones

A continuación, se entrega una justificación detallada de esta definición:

1. Sub-área Zona Saturada de Calama y localidad de Chiu Chiu

Dentro de la Zona Saturada de Calama y localidad de Chiu Chiu se desarrollan las actividades de construcción y operación para algunas partes específicas de los sectores RT, Tranque Talabre y Planta Desaladora – RT.

La línea de base de calidad del aire se caracterizó en cuanto a las concentraciones atmosféricas de MP10, MP2,5, SO₂, NO₂ y CO registradas al interior de la Zona Saturada de Calama y las concentraciones de MP10 y MPS en Chiu Chiu. Lo anterior toda vez que en esta sub-área:

- Se estima que el Proyecto generará emisiones de material particulado y gases durante la etapa de construcción y operación del Proyecto.

- El Proyecto generará aportes en las concentraciones de contaminantes atmosféricos de Calama y Chiu Chiu, debido a su cercanía con estos centros poblados y de interés natural/agropecuario, respectivamente.
- El Proyecto se encuentra al interior de la Zona Saturada por MP10 de Calama declarada mediante D.S. N° 57/2009 de MINSEGPRES, la cual corresponde a una zona de alta sensibilidad en términos de concentraciones atmosféricas de MP10.
- El Proyecto, intersecta parte del límite superior de la Zona Latente por SO₂ de Chuquicamata (D.S. N° 55/2005 de MINSEGPRES), con uno de sus botaderos.

2. Sub-área Zona Saturada de María Elena

Dentro de la Zona Saturada de María Elena se desarrollan las actividades de construcción y operación para algunas partes específicas del sector Planta Desaladora – RT.

La línea de base de calidad del aire se caracterizó en cuanto a las concentraciones atmosféricas de MP10 registradas en la localidad de María Elena. Lo anterior debido a que:

- El Proyecto considera la construcción de un acueducto y líneas eléctricas, faenas que generarán emisiones de material particulado durante su etapa de construcción.
- El sistema de impulsión a construir se ubicará a 6,5 km de la ciudad de María Elena, cruzando por el interior de la Zona Saturada por MP10 de María Elena (D.S. N° 1162/1993 MINSAL), la cual corresponde a una zona de alta sensibilidad en términos de concentraciones atmosféricas de MP10.

3. Sub-área Zona Saturada de Tocopilla

Las actividades asociadas a la construcción de los sectores Planta Desaladora y Planta Desaladora – RT del Proyecto, se ubican próximas a la Zona Saturada de Tocopilla.

Considerando que la planta desaladora se instalará en el km 14 al sur de Tocopilla, en la línea de base de calidad del aire se caracterizó únicamente las concentraciones atmosféricas de MP10 registradas en la Zona Saturada de Tocopilla. Lo anterior debido a que:

- Se estima que el Proyecto generará emisiones de material particulado durante su etapa de construcción.
- El Proyecto se encuentra en torno a 7 km de la Zona Saturada por MP10 de Tocopilla declarada mediante D.S. N° 50/2007 MINSEGPRES, la cual corresponde a una zona de alta sensibilidad en términos de concentraciones atmosféricas de MP10.

4. Sub-área de Sierra Gorda

En esta sub-área no se desarrollan las actividades constructivas asociadas a algún sector en particular, sin embargo, por ésta transitarán los camiones que transporten concentrado de cobre y molibdeno.

Este sector cuenta con red de monitoreo de Calidad del Aire debido a la actividad minera que se desarrolla en el sector, cabe señalar que el Proyecto en evaluación sólo considera el tránsito de vehículos como fuente emisora por esta sub-área.

5. Sub-área de Antofagasta

En esta sub-área no se desarrollan las actividades constructivas asociadas a algún sector en particular, sin embargo, por ésta transitarán los camiones que transporten concentrado de cobre y molibdeno.

Este sector cuenta con red de monitoreo de Calidad del Aire debido a la actividad industrial y portuaria que se desarrolla en la comuna de Antofagasta, cabe señalar que el Proyecto en evaluación sólo considera el tránsito de vehículos como fuente emisora por esta sub-área.

6. Sub-área de Mejillones

En esta sub-área no se desarrollan actividades constructivas asociadas a algún sector en particular, sin embargo, por ésta transitarán los camiones que transporten concentrado de cobre y molibdeno.

Este sector cuenta con red de monitoreo de Calidad del Aire debido a la actividad industrial y portuaria que se desarrolla en el sector, cabe señalar que el Proyecto en evaluación sólo considera el tránsito de vehículos como fuente emisora por esta sub-área.

Luego, la Tabla 2.3-28 presenta el área de influencia del Proyecto para la componente calidad del aire, en esta definición se considera para las sub-áreas de Calama, Tocopilla y María Elena, los límites de las Zonas Saturadas declaradas en dichos sectores, mientras que para las Sub-áreas de Sierra Gorda, Antofagasta y Mejillones se consideran lo límites comunales.

Tabla 2.3-28. Área de Influencia del Proyecto – Calidad del Aire

Sub-área	Límite Norte UTM-S (m)	Límite Sur UTM-S (m)	Límite Este UTM-E (m)	Límite Oeste UTM-E (m)
Zona Saturada Calama y Localidad Chiu Chiu	7.549.910	7.504.957	539.750	500.068
Zona Saturada Tocopilla	7.563.500	7.551.000	383.000	(*)
Zona Saturada María Elena	7.538.992	7.483.624	448.666	423.000
Comuna de Sierra Gorda	Corresponde a los límites comunales.			
Comuna de Antofagasta	Corresponde a los límites comunales.			
Comuna de Mejillones	Corresponde a los límites comunales.			

Datum: WGS84 – Huso 19

(*) El límite Oeste está dado por la línea de costa

Considerando lo anterior, la Tabla 2.3-29 presenta los contaminantes que permiten caracterizar la línea de base del Proyecto en las distintas sub-áreas que conforman su Área de Influencia.

Tabla 2.3-29. Contaminantes que Constituyen la Línea de Base de Calidad del Aire

Sub-Área	MP10	MP2,5	MPS	SO ₂	NO ₂	CO
Zona Saturada de Tocopilla (a)	X					
Zona Saturada de María Elena	X					
Zona Saturada de Calama – Localidad Chiu Chiu	X	X	X	X	X	X
Sierra Gorda	X					
Antofagasta	X					
Mejillones	X					

X: Contaminante considerado en Línea de Base de Calidad del Aire.

En la Figura 2.3-25 se presentan las Estaciones de Calidad del Aire consideradas en el Área de Influencia del Proyecto.

2.3.2.3 Metodología

Para establecer la línea de base de calidad del aire del Proyecto, se determinó en primer lugar un área de estudio que contenga en su totalidad el área de influencia del proyecto. Para realizar esta definición, se tomaron en consideración las emisiones del Proyecto, los centros poblados y áreas de interés natural o agropecuario que se encuentren cercanos al sitio de emplazamiento del Proyecto y la presencia de zonas latentes y/o saturadas.

Una vez determinado el área de estudio del Proyecto, se realizó una recopilación de información de calidad del aire del sector. En primer lugar, se realizó una revisión de la información disponible en el “Sistema de Información de Calidad del Aire”¹² y posteriormente de registros de estaciones monitoras publicadas en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Adicionalmente se consideró el “Informe de Calidad del Aire” de la Región de Antofagasta, actualizado al 31 de Diciembre del 2010, para obtener los estadísticos oficiales de los distintos contaminantes atmosféricos.

Para el análisis de la calidad del aire en el área de estudio del Proyecto, se realizó la comparación de la información y registros recopilados respecto a las normas de calidad del aire establecidas por la legislación vigente y que corresponden a las presentadas en la Tabla 2.3-30.

Tabla 2.3-30. Normas de Calidad del Aire

Parámetro	Estadístico	Valor límite	Referencia
MP10	Media Anual ¹³	50 µg/m ³ N	D.S. N° 59/98 MINSEGPRES
	Percentil 98 promedio diario	150 µg/m ³ N	D.S. N° 59/98 MINSEGPRES
MP2,5	Media Anual ²	20 µg/m ³ N	D.S. N° 12/11 MMA
	Percentil 98 promedio diario	50 µg/m ³ N	D.S. N° 12/11 MMA
SO ₂	Media Anual ²	80 µg/m ³ N	D.S. N° 113/02 MINSEGPRES
	Percentil 99 promedio diario ¹⁴	250 µg/m ³ N	D.S. N° 113/02 MINSEGPRES
	Media Anual ¹⁵	80 µg/m ³ N	D.S. N° 22/09 MINSEGPRES
	Percentil 99,7 promedio diario ⁴	365 µg/m ³ N	D.S. N° 22/09 MINSEGPRES
	Percentil 99,73 horario ⁴	1.000 µg/m ³ N	D.S. N° 22/09 MINSEGPRES
NO ₂	Promedio Anual ⁴	100 µg/m ³ N	D.S. N° 114/02 MINSEGPRES
	Percentil 99 1 Hora	400 µg/m ³ N	D.S. N° 114/02 MINSEGPRES
CO	Percentil 99 1 Hora	10.000 µg/m ³ N	D.S. N° 115/02 MINSEGPRES
	Percentil 99 8 Horas	30.000 µg/m ³ N	D.S. N° 115/02 MINSEGPRES
MPS	Concentración Mensual	150 mg/m ² -d	D.S. N° 04/92 MINAGRI ¹⁶
	Promedio Anual	100 mg/m ² -d	D.S. N° 04/92 MINAGRI ¹⁷

Fuente: Elaboración propia

¹² SINCA – <http://sinca.conama.cl>

¹³ Aplicable al promedio anual de tres años consecutivos.

¹⁴ Aplicable al promedio de tres años consecutivos, medidas durante cada año calendario.

¹⁵ Valor para la Zona Norte definida en el D.S. 22/09 MINSEGPRES y que corresponde al área del Proyecto

¹⁶ Norma Secundaria de Referencia.

¹⁷ Norma Secundaria de Referencia.

Luego, se identificaron los Proyectos que cuentan con una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) favorable y que se localicen dentro del área de influencia del Proyecto RT Sulfuros para posteriormente analizar la relación e interferencia entre éstos y el Proyecto en términos de aportes declarados sobre las distintas estaciones monitoras de calidad del aire.

Finalmente, se desarrolló un escenario de línea de base proyectado, constituido por los registros de línea de base de las distintas estaciones de monitoreo de calidad del aire y los aportes adicionales declarados por proyectos aprobados, los que en Julio del 2011 no se encontraban aun generando emisiones atmosféricas.

2.3.2.4 Resultados y Análisis

La caracterización de la calidad del aire en el área de influencia del Proyecto, en particular las concentraciones atmosféricas de material particulado respirable (MP10), material particulado fino (MP 2,5), material particulado sedimentable (MPS), anhídrido sulfuroso (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO), se realizó en base a los registros provenientes de 12 estaciones monitoras de calidad del aire, distribuidas en las áreas de influencia. La Tabla 2.3-31 presenta las características y ubicación de cada una de las estaciones monitoras de calidad del aire consideradas en esta línea de base. En el Anexo 2.3-2 se encuentra el plano con las Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire.

Tabla 2.3-31. Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire

Sub-área	Estación	Coordenada UTM WGS84 - Huso 19		Parámetros	Disponibilidad de Información (1)		
		Norte (m)	Este (m)		Año	EMRP ¹⁸ MP10	EMRPG ¹⁹
Zona Saturada Calama y Localidad de Chiu Chiu	Chiu Chiu	7.529.230	535.953	SO ₂ , MP10, MP2,5, (SO ₂ , MPS) ²⁰	2009-2010-2011	Sí	Sí
	Hospital del Cobre	7.517.291	509.427	SO ₂ , MP10, MP2,5, NO ₂ y CO	2009-2010-2011	Sí	Sí
	Servicio Médico Legal	7.516.195	505.383	SO ₂ , MP10	2009-2010-2011	Sí	Sí
	SAG Oasis	7.515.784	508.175	(SO ₂ , MPS) ²¹	2012	No	No
Zona Saturada María Elena	Hospital	7.529.201	431.557	MP10	2009-2010-2011	Sí	-
	Iglesia	7.528.848	431.963	MP10	2009-2010-2011	Sí	-
	Sur	7.529.418	432.191	MP10	2009-2010-	Sí	-

¹⁸ Estación Monitora Representativa Poblacional.

¹⁹ Estación Monitora Representativa Poblacional para Gases.

²⁰ Estación Representativa de Recursos Naturales

²¹ Estación Representativa de Recursos Naturales

Sub-área	Estación	Coordenada UTM WGS84 - Huso 19		Parámetros	Disponibilidad de Información (1)		
		Norte (m)	Este (m)		Año	EMRP ¹⁸ MP10	EMRPG ¹⁹
					2011		
Zona Saturada Tocopilla	Gobernación	7.556.373	376.087	MP10	2009- 2010- 2011	Sí	Sí
	(Escuela E-10) Norte	7.557.230	377.362	MP10	2009- 2010- 2011	Sí	Sí
Comuna Sierra Gorda	Sierra Gorda	7.468.607	467.299	MP10	2009- 2010- 2011	Sí	-
Comuna Mejillones	Compañía de Bomberos	7.444.654	351.468	MP10	2009- 2010- 2011	Sí	-
Comuna Antofagasta	Oncológico	7.383.181	357.923	MP10	2009- 2010- 2011	Sí	-
	Rendic	7.387.995	359.138	MP10	2009- 2010- 2011	Sí	-
	Playa Blanca	7.381.134	356.498	MP10	2009- 2010- 2011	-	-

(1) Informe de calidad del aire de la SEREMI de Medio Ambiente de Antofagasta – año 2010.

Se observa que en todas las sub-áreas que constituyen el área de influencia del Proyecto, existen estaciones monitoras de calidad del aire con representatividad poblacional.

2.3.2.4.1 Caracterización sub-áreas del Proyecto

1. Caracterización Sub-área Zona Saturada de Calama y Localidad de Chiu Chiu

Desde el año 2009 y mediante D.S. N° 57/2009 MINSEGPRES, el sector de Calama se encuentra declarado Zona Saturada por MP10. Posteriormente, el 01 de Agosto del 2009, se publica la Resolución N° 4002, la cual da inicio al proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférico de Calama, sin embargo, aún no se cuenta con dicha regulación.

No obstante lo anterior, existe un Plan de Gestión de la Calidad del Aire de Calama, que contiene una serie de compromisos voluntarios para mejorar la calidad del aire del sector, los que fueron asumidos por servicios públicos y empresas instaladas en el sector. Lo anterior se plasmó en un Convenio, firmado el día 23 de abril de 2011 por todos los actores involucrados y la Seremi del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta.

Por su parte, el campamento minero de Chuquicamata está declarado Zona Saturada por MP10 y estuvo declarada Zona Saturada por SO₂. Sin embargo, debido al mejoramiento de la calidad del aire para dicho contaminante, durante el año 2004 se solicitó la declaración de Zona Latente para SO₂, estableciéndose así en el D.S. N° 55 del 26 de Abril de 2005 de MINSEGPRES.

Posteriormente, la R.E. N° 445, de fecha 03 Marzo de 2006, de la Dirección Ejecutiva de CONAMA, dio inicio al procedimiento de elaboración del Plan de Prevención para SO₂ y a la reformulación del plan de descontaminación para MP10. Luego, en Junio del 2007, mediante R.E. N°1264 la Dirección Ejecutiva de CONAMA, aprobó el Anteproyecto del Plan de Prevención para SO₂, para el área circundante a la Fundición de Chuquicamata de la División CODELCO Norte de CODELCO Chile, ex División Chuquicamata, sin embargo, durante el año 2007 finalizó el traslado de la población de Chuquicamata a la ciudad de Calama, razón por la cual, la SEREMI de Salud de Antofagasta, estableció mediante Resolución N°1572, de fecha 12 de mayo de 2008, que las estaciones de monitoreo Auka Huasi y San José dejaron de ser estaciones con representatividad poblacional.

Considerando lo anterior, la caracterización de la calidad del aire en esta sub-área se realizó sobre las concentraciones atmosféricas de material particulado respirable (MP10), material particulado fino (MP2,5), material particulado sedimentable (MPS), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO) registradas al interior de esta sub-área. En particular, se consideraron los registros de los años 2009, 2010 y 2011 obtenidos de las estaciones monitoras Hospital del Cobre, Servicio Médico Legal y Chiu Chiu. A continuación se presentan los resultados de esta caracterización.

- **Material Particulado Respirable (MP10)**

Según lo indicado anteriormente, Calama se encuentra declarada Zona Saturada por Material Particulado Respirable (MP10) mediante el D.S. N° 57/2009 MINSEGPRES. La concentración media de MP10 registrada en esta sub-área se presenta en la Tabla 2.3-32. En ella se observa que el promedio trianual (2009-2010-2011) de concentraciones de MP10 en las estaciones Servicio Médico Legal y Chiu Chiu, sobrepasa el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 164% y 110% de la norma en cada estación respectivamente. Por su parte, en la estación Hospital del Cobre, se registraron valores correspondientes al 82% de la norma, sobrepasando límite de latencia establecido por la misma norma.

Tabla 2.3-32. Concentración Media Anual de MP10 (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - Media Anual			
Sub-área	Estación de Monitoreo	Valor Norma: 50 (µg/m ³ N)	
		Línea de Base	
		Trianual (a)	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	82	164%
	Hospital del Cobre	41	82%
	Chiu Chiu	55	110%

(a) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) de concentración anual

El percentil 98 de las concentraciones promedio 24 horas de MP10 registradas durante los años 2009, 2010 y 2011 en las estaciones del sector se presenta en la Tabla 2.3-33. Se observa en ella que durante los años 2009, 2010 y 2011, el percentil 98 de las concentraciones 24 horas de MP10 registrado en las estaciones se encuentra bajo el nivel de latencia y saturación según lo establecido por el D.S. N° 59/1998 de MINSEGPRES, a excepción de los registros en la

estación Servicio Médico Legal, que supera los límites de saturación para los periodos 2009 y 2011, mientras que para el año 2010 se encuentra en niveles de latencia.

Tabla 2.3-33. Concentraciones 24 horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - P98 Concentraciones 24 h							
Valor Norma: 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)							
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base					
		2009	2010	2011	% de Norma 2009	% de Norma 2010	% de Norma 2011
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	170	140	156	113%	93%	104%
	Hospital del Cobre	73	60	69	49%	40%	46%
	Chiu Chiu	111	92	77	74%	61%	51%

Respecto a las estaciones ubicadas en la ciudad de Calama, se observa que durante los años 2009, 2010 y 2011, el percentil 98 de las concentraciones 24 horas de MP10 registrado en la estación Hospital del Cobre, presentó valores bajo el nivel de saturación y latencia establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES; mientras que la estación Servicio Médico Legal presentó –para el mismo estadístico– niveles de saturación para el año 2009 y 2011 (113% y 104% respectivamente) y latencia durante el año 2010 (93% de la norma).

En el poblado de Chiu Chiu, se observa que durante los años 2009, 2010 y 2011 el percentil 98 de las concentraciones 24 horas de MP10 registrado en la estación Chiu Chiu, presentó valores bajo el nivel de saturación y latencia establecido por el D.S. N° 59/1998 del MINSEGPRES.

- **Material Particulado Fino (MP2,5)**

El año 2011 se publica en el diario oficial la Norma Primaria de Calidad del Aire que regula las concentraciones de material particulado fino (MP2,5). La mencionada norma entró en vigencia a partir del 1 de Enero del año 2012 y establece límites a las concentraciones anuales y diarias de MP2,5. En vista a lo anterior, a partir del año 2010 se cuenta con mediciones del contaminante MP2,5 en la red de monitoreo de CODELCO, considerando un periodo anual, en particular en las estaciones de Hospital del Cobre y Chiu Chiu, mientras que la estación Servicio Médico Legal cuenta con mediciones a partir del año 2011. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de estas mediciones, las cuales – cabe señalar – corresponden a valores referenciales y no oficiales.

Considerando lo anterior, la concentración media de MP2,5 registrada en esta sub-área se presenta en la Tabla 2.3-34. En ella se observa que el promedio anual de concentraciones de MP2,5 en la estación Hospital del Cobre no sobrepasó el límite de saturación establecido por el D.S. N° 12/2011 MMA durante el 2010 y 2011, mientras que durante el año 2010 registró valores correspondientes al 85% de la norma, sobrepasando límite de latencia establecido por la misma norma. Por su parte, en la estación Servicio Médico Legal el promedio anual de concentraciones de MP2,5 no sobrepasó el límite de saturación y latencia.

En la estación Chiu Chiu, el promedio anual de concentraciones de MP2,5 registrado durante el 2010 y 2011 no sobrepasó el límite de saturación y de latencia establecido por el D.S. N° 12/2011 MMA, alcanzando el 80% y el 50% de la norma en cada año, respectivamente.

Tabla 2.3-34. Concentración Media Anual de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de MP2,5 (D.S. N° 12/11 MMA) - Media Anual							
Sub-área	Estación de Monitoreo	Valor Norma:20 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)					
		Línea de Base					
		2009	2010	2011	% de Norma 2009	% de Norma 2010	% de Norma 2011
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	-	-	13*	-	-	65%
	Hospital del Cobre	-	17	7	-	85%	35%
	Chiu Chiu	-	16	10	-	80%	50%

*: Datos disponibles Periodo Marzo – Diciembre 2011.

Por su parte, el percentil 98 de las concentraciones promedio 24 horas de MP2,5 registradas durante los años 2010 y 2011 en las estaciones Hospital del Cobre, Servicio Médico Legal y Chiu Chiu, se presentan en la Tabla 2.3-35.

Tabla 2.3-35. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de MP2,5 (D.S. N° 12/11 MMA)							
Sub-área	Estación de Monitoreo	Valor Norma:50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)					
		Línea de Base					
		2009	2010	2011	% de Norma 2009	% de Norma 2010	% de Norma 2011
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	-	-	32*	-	-	64%
	Hospital del Cobre	-	36	18	-	72%	36%
	Chiu Chiu	-	38	36	-	76%	72%

*: Datos disponibles Periodo Marzo – Diciembre 2011.

Según se observa, durante los años 2010 y 2011 el percentil 98 de las concentraciones 24 horas de MP2,5 registrado en la estación Hospital del Cobre y Servicio Médico Legal presentó valores bajo el nivel de saturación y latencia, según lo establecido por el D.S. N° 12/2011 MMA.

Por su parte, la estación Chiu Chiu registró valores bajo los límites de saturación y latencia establecidos por el D.S. N° 12/2011 MMA en los años 2010 y 2011.

- **Material Particulado Sedimentable (MPS)**

La caracterización del material particulado sedimentable (MPS) consideró los registros de las estaciones monitoras Servicio Médico Legal y Hospital del Cobre, lo que se contrastó con los valores establecidos en el D.S. N° 4/92 MINAGRI como norma secundaria de referencia. Adicionalmente, se incluyen los registros de la estación monitora Oasis, la cual cuenta con datos de MPS del Periodo Marzo – Junio del 2012 y Chiu Chiu para el Periodo Febrero – Junio del 2012.

La concentración media de MPS registrada en dichas estaciones se presenta en la Tabla 2.3-36. Se observa que la concentración media anual de MPS registrada en las estaciones no supera el 64% del valor de la norma establecida por la norma de referencia (D.S. N° 4/1992 MINAGRI). Mientras que en el promedio mensual los valores se encuentran bajo el valor de referencia de 150 mg/m²día.

Tabla 2.3-36. Concentración Promedio de MPS (mg/m²-d) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Periodo	Estación				Norma D.S. N° 04/92 (mg/m ² - día)
	Servicio Médico Legal	Hospital del Cobre	SAG Calama Oasis	SAG Chiu Chiu	
	Promedio Anual de MPS (mg/m²-día)				
Enero - Diciembre 2011	64	45	-	-	100
Marzo - Junio 2012	-	-	57	-	100
Febrero - Junio 2012	-	-	-	53	100
Periodo	Promedio mensual de MPS (mg/m²-día)				
Enero	120	96	-	-	150
Febrero	71	57	-	66	
Marzo	48	39	62	67	
Abril	49	44	64	66	
Mayo	51	30	55	37	
Junio	63	36	48	29	
Julio	-	83	-	-	
Agosto	72	21	-	-	
Septiembre	43	21	-	-	
Octubre	62	35	-	-	
Noviembre	57	30	-	-	
Diciembre	65	49	-	-	

- **Dióxido de Azufre (SO₂)**

La concentración media de SO₂ registrada en esta sub-área se presenta en la Tabla 2.3-37. Se observa que el promedio trianual (2009-2010-2011) de concentraciones de SO₂ en las estaciones Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, no sobrepasaron el límite de saturación ni latencia establecido por el D.S. N° 113/2002 MINSEGPRES, alcanzando el 3%, 4% y 6% de la norma en cada estación respectivamente.

Tabla 2.3-37. Concentración Media Anual de SO₂ (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de SO ₂ (D.S. N° 113/02 MINSEGPRES) - Media Anual			
		Valor Norma:	80 (µg/m ³ N)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		Trianual (a)	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	2	3%
	Hospital del Cobre	3	4%
	Chiu Chiu	5	6%

(a) Corresponde al promedio trianual del periodo (2009-2010-2011).

Por su parte, el percentil 99 de las concentraciones promedio 24 horas de SO₂ registradas durante los años 2009, 2010 y 2011 en las mismas estaciones se presentan en la Tabla 2.3-38. Se observa que durante los años 2009, 2010 y 2011, el percentil 99 de las concentraciones 24 horas de SO₂ en las estaciones Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, no sobrepasaron el límite de saturación ni latencia establecido por el D.S. N° 113/2002 MINSEGPRES, alcanzando el 6%, 8% y 10% de la norma en cada estación respectivamente.

Tabla 2.3-38. P99 de Concentraciones 24 Horas de SO₂ (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de SO ₂ (D.S. N° 113/02 MINSEGPRES) - P99 Concentraciones 24 h			
		Valor Norma:	250 (µg/m ³ N)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		Trianual (a)	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	15	6%
	Hospital del Cobre	20	8%
	Chiu Chiu	26	10%

(a) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) del P99 de concentraciones 24 h.

Respecto de la norma de calidad secundaria, en las estaciones SAG Calama Oasis y SAG Chiu Chiu, en la Tabla 2.3-39 se presentan los valores correspondiente a la media anual, los cuales alcanzan un 3% y 6% en dichas estaciones, respectivamente. Por su parte, el percentil 99,7 de las concentraciones promedio 24 horas de SO₂ en las mismas estaciones se presentan en la Tabla 2.3-40. Se observa que el percentil 99,7 de las concentraciones 24 horas de SO₂ no sobrepasó el límite de saturación ni latencia establecido por el D.S. N° 22/2009 MINSEGPRES, alcanzando el 4% y 10% de la norma en cada estación respectivamente.

Por último, el percentil 99,73 de las concentraciones promedio de 1 hora de SO₂ registradas en las mismas estaciones se presentan en la Tabla 2.3-41. Se observa que el percentil 99,73 de las concentraciones en 1 hora de SO₂ en dichas estaciones, no sobrepasaron el límite de saturación ni latencia establecido por el D.S. N° 22/2009 MINSEGPRES, alcanzando el 4% y 12% de la norma en cada estación, respectivamente.

Tabla 2.3-39. Concentración Media Anual de SO₂ (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Secundaria de SO ₂ (D.S. N° 22/09 MINSEGPRES) - Media Anual				
		Valor Norma:	80	(µg/m ³ N)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base		
		Trianual	% de Norma	
Calama / Chiu Chiu	SAG Calama Oasis	2 ^(a)	3%	
	SAG Chiu Chiu	5 ^(b)	6%	

(a) Corresponde al periodo Marzo-Julio 2012.

(b) No completa un año de mediciones, por lo que se consideró el promedio 2009-2010-2011 medido en la estación Chiu Chiu.

Tabla 2.3-40. P99,7 de Concentraciones 24 Horas de SO₂ (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Secundaria de SO ₂ (D.S. N° 22/09 MINSEGPRES) - P99,7 Concentraciones 24 h				
		Valor Norma:	365	(µg/m ³ N)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base		
		Trianual	% de Norma	
Calama / Chiu Chiu	SAG Calama Oasis	13 ^(a)	4%	
	SAG Chiu Chiu	37 ^(b)	10%	

(a) Corresponde al periodo Marzo-Julio 2012.

(b) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) del P99,7 de concentraciones 24 h.

Tabla 2.3-41. P99,73 de Concentraciones 1 Hora de SO₂ (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Secundaria de SO ₂ (D.S. N° 22/09 MINSEGPRES) - P99,73 Concentraciones 24 h				
		Valor Norma:	1.000	(µg/m ³ N)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base		
		Trianual	% de Norma	
Calama / Chiu Chiu	SAG Calama Oasis	44 ^(a)	4%	
	SAG Chiu Chiu	120 ^(b)	12%	

(a) Corresponde al periodo Marzo-Julio 2012.

(b) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) del P99,73 de concentraciones 24 h.

- **Dióxido de Nitrógeno (NO₂)**

El percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora de NO₂ registrados en la estación Hospital del Cobre se muestra en la Tabla 2.3-42. Se observa que el percentil 99 de concentración de 1 hora de NO₂ en la estación Hospital del Cobre durante el año 2011, se encuentra bajo los niveles de latencia y saturación con respecto al nivel definido por el D.S. N° 114/02, alcanzando el 18% de la mencionada norma .

Tabla 2.3-42. Percentil 99 de Concentraciones 1 Hora de NO₂ (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de NO ₂ (D.S. N° 114/02 MINSEGPRES) – P99 Concentración 1h			
		Valor Norma:	400 (µg/m ³ N)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		2011 (a)	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Hospital del Cobre	73	18%

(a) Considera los registros entre Febrero y Diciembre de 2011.

Por su parte, el promedio anual de concentración de NO₂ registrado en la estación Hospital del Cobre se muestra en la Tabla 2.3-43. Se observa que el promedio anual de concentración de NO₂ en la estación Hospital del Cobre durante el año 2011 se encuentra bajo los niveles de latencia y saturación con respecto al nivel definido por el D.S. N° 114/02, alcanzando el 8% de la mencionada norma.

Tabla 2.3-43. Concentraciones Anual de NO₂ (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de NO ₂ (D.S. N° 114/02 MINSEGPRES) – Media Anual			
		Valor Norma:	100 (µg/m ³ N)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		2011 (a)	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Hospital del Cobre	8	8%

(a) Considera los registros entre Febrero y Diciembre de 2011.

- **Monóxido de Carbono (CO)**

Se observa que el percentil 99 de concentración de 1 hora de CO en la estación Hospital del Cobre, durante el año 2011, se encuentra bajo los niveles de latencia y saturación con respecto al nivel definido por el D.S. N° 115/02, alcanzando el 21% de la mencionada norma (Tabla 2.3-44).

Tabla 2.3-44. Percentil 99 de Concentraciones 1 Hora de CO (µg/m³N) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de CO (D.S. N° 115/02 MINSEGPRES) – P99 Concentración 1h			
		Valor Norma:	30.000 (µg/m ³ N)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		2011 (a)	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Hospital del Cobre	6.378	21%

(a) Considera los registros entre Febrero y Diciembre de 2011.

Por su parte, observa que el percentil 99 de concentración de 8 horas de CO en la estación Hospital del Cobre durante el año 2011 se encuentra bajo los niveles de latencia y saturación con respecto al nivel definido por el D.S. N° 115/02, alcanzando el 21% de la mencionada norma (Tabla 2.3-45).

Tabla 2.3-45. Percentil 99 de Concentraciones 8 Horas de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de CO (D.S. N° 115/02 MINSEGPRES) – P99 Concentración 8h			
		Valor Norma: 10.000	($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		2011 (a)	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Hospital del Cobre	2.068	21%

(a) Considera los registros entre Febrero y Diciembre de 2011.

2. Caracterización Sub-área Zona Saturada de María Elena

La caracterización de la calidad del aire en esta sub-área se realizó considerando las concentraciones atmosféricas de material particulado respirable (MP10) registradas al interior de la Zona Saturada por MP10 de María Elena.

María Elena fue declarada Zona Saturada por MP10 el año 1993. En el año 1999 fue publicado el primer Plan de Descontaminación Atmosférico (D. S. N°164 de 1998 de MINSEGPRES) para este sector, el cual es posteriormente modificado (año 2004) mediante el D.S. N°37/04. Esta última modificación impone límites de emisión a la compañía SQM S.A. Para el periodo Abril 2009 a Marzo 2010, SQM S.A. cumplió con el límite de emisiones totales y con el límite para las emisiones del sector de chancado y clasificación²². Luego, según lo informado por la empresa, el 23 de febrero de 2010 la faena minera y plantas asociadas a la operación minera El Toco de propiedad de SQM S.A. detuvieron temporalmente sus operaciones.

Para caracterizar la sub-área de María Elena, se consideraron los registros anuales de MP10 de los años 2009, 2010 y 2011 obtenidos de las estaciones Hospital, Iglesia y Sur. A continuación se presentan los resultados de esta caracterización.

- **Material Particulado Respirable (MP10)**

Se observa que el promedio trianual de concentraciones de MP10 en la estación Hospital, Iglesia y Sur sobrepasaron el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 100%, 114% y 138% de la norma en cada estación respectivamente (Tabla 2.3-46).

²² Fuente: SEREMI de Medio Ambiente, Región de Antofagasta.

Tabla 2.3-46. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área María Elena

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - Media Anual						
Valor Norma:		50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)				
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base				
		2009	2010	2011	Triannual (*)	% de Norma
María Elena	Hospital	73	37	41	50	100%
	Iglesia	65	41	66	57	114%
	Sur	106	46	54	69	138%

(*) Corresponde al promedio triannual del periodo (2009-2010-2011).

En relación al percentil 98 de las concentraciones promedio 24 horas de MP10 registradas durante los años 2009, 2010 y 2011, se observa que durante el año 2009, en las estaciones Hospital y Sur se presentaron valores sobre el nivel de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, mientras que la estación Iglesia registró valores sobre el nivel de latencia (ver Tabla 2.3-47).

Por su parte, durante el año 2010 se observa que el mismo estadístico registró valores bajo los niveles de saturación y latencia en las tres estaciones consideradas en esta sub-área. Lo anterior puede ser atribuido al cese en las operaciones de El Toco, propiedad de SQM S.A.

Finalmente, durante el año 2011 las estaciones Hospital y Sur registraron niveles bajo los límites de latencia, mientras que en la estación Iglesia se registró el 85% del valor de la norma, lo que se considera como nivel de latencia.

Tabla 2.3-47. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área María Elena

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - P98 Concentraciones 24 h							
Valor Norma:		150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)					
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base					
		2009	2010	2011	% de Norma 2009	% de Norma 2010	% de Norma 2011
María Elena	Hospital	200	72	81	133%	48%	54%
	Iglesia	139	75	128	93%	50%	85%
	Sur	263	83	97	175%	55%	65%

3. Caracterización Sub-área Zona Saturada de Tocopilla

La caracterización de la calidad del aire en esta sub-área se realizó considerando las concentraciones atmosféricas de material particulado respirable (MP10) registradas al interior de la Zona Saturada por MP10 de Tocopilla (D.S. N° 50/2007 MINSEGPRES).

Como se indica, Tocopilla fue declarada Zona Saturada por MP10 el año 2007. Posteriormente, el 12 de octubre de 2010, entró en vigencia el Plan de Descontaminación Atmosférico de Tocopilla (D.S. 70 de 2010 MINSEGPRES). Este plan identifica distintas fuentes emisoras, de las cuales, las más importantes en términos de participación en las emisiones y aporte a la

calidad del aire son: E-CL S.A., Norgener S.A., SQM S.A., y Lipesed S.A., el polvo resuspendido y en menor magnitud otras fuentes misceláneas, estableciéndose una serie de obligaciones para cada una de ellas.

Para la caracterización de esta sub-área, se consideraron los registros de MP10 de los años 2009, 2010 y 2011 obtenidos de las estaciones Gobernación y Escuela E-10. A continuación, se presentan los resultados de esta caracterización.

Se señala, que si bien el Proyecto se desarrolla fuera de los límites de la zona saturada de Tocopilla, las emisiones generadas por el Proyecto pueden afectarla por la cercanía con la misma, por lo que se ha considerado en el levantamiento de la Línea Base.

- **Material Particulado respirable (MP10)**

La concentración media de MP10 registrada en esta sub-área se presenta en la Tabla 2.3-48. En ella se observa que el promedio trianual de concentraciones de MP10 en la estación Gobernación y Escuela E-10 sobrepasó el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 102% y 104% de la norma en cada estación respectivamente.

Tabla 2.3-48. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Tocopilla

Norma Primaria de MP10 - Media Anual (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES)			
		Valor Norma:	50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		Trianual (*)	% de Norma
Tocopilla	Gobernación	51	102%
	Escuela E-10	52	104%

(*) Corresponde al promedio trianual del periodo (2009-2010-2011)

En relación al percentil 98 de las concentraciones promedio 24 horas de MP10, se observa que durante los años 2009, 2010 y 2011, el percentil 98 de las concentraciones 24 horas de MP10, registrado por las estaciones Gobernación y Escuela E-10, presentaron valores bajo el nivel de saturación y latencia según los límites establecidos por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES (Tabla 2.3-49).

Tabla 2.3-49. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Tocopilla

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - P98 Concentraciones 24 h							
		Valor Norma:		150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)			
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base					
		2009	2010	2011	% de Norma 2009	% de Norma 2010	% de Norma 2011
Tocopilla	Gobernación	89	78	84	59%	52%	56%
	Escuela E-10	101	91	95	67%	61%	63%

4. Caracterización Sub-área Sierra Gorda

Para la caracterización de esta sub-área, se consideraron los registros de MP10 de los años 2009, 2010 y 2011 obtenidos de la estación Sierra Gorda. A continuación, se presentan los resultados de esta caracterización.

- **Material Particulado respirable (MP10)**

La concentración media de MP10 registrada en esta sub-área se presenta en la Tabla 2.3-50. En ella se observa que el promedio trianual de concentraciones de MP10 en la estación Sierra Gorda no sobrepasó el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 66% de la norma.

Tabla 2.3-50. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Sierra Gorda

Norma Primaria de MP10 - Media Anual (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES)			
		Valor Norma:	50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		Trianual (*)	% de Norma
Sierra Gorda	Sierra Gorda	33	66%

(*) Corresponde al promedio trianual del periodo (2009-2010-2011)

En relación al percentil 98 de las concentraciones promedio 24 horas de MP10, se observa que durante los años 2009, 2010 y 2011, el percentil 98 de las concentraciones 24 horas de MP10, registrado por la estación Sierra Gorda, presentaron valores bajo el nivel de saturación y latencia según los límites establecidos por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES (Tabla 2.3-51).

Tabla 2.3-51. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Sierra Gorda

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - P98 Concentraciones 24 h							
		Valor Norma:		150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)			
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base					
		2009	2010	2011	% de Norma 2009	% de Norma 2010	% de Norma 2011
Sierra Gorda	Sierra Gorda	45	100	69	30%	67%	46%

5. Caracterización Sub-área Mejillones

Para la caracterización de esta sub-área, se consideraron los registros de MP10 de los años 2009, 2010 y 2011 obtenidos de la estación Compañía de Bomberos. A continuación, se presentan los resultados de esta caracterización.

- **Material Particulado respirable (MP10)**

La concentración media de MP10 registrada en esta sub-área se presenta en la Tabla 2.3-52. En ella se observa que el promedio trianual de concentraciones de MP10 en la estación Compañía de Bomberos no sobrepasó el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 56% de la norma durante el periodo 2009-2011.

Tabla 2.3-52. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Mejillones

Norma Primaria de MP10 - Media Anual (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES)				
		Valor Norma:	50	($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base		
		Trianual (*)	% de Norma	
Mejillones	Compañía de Bomberos	28	56%	

(*) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) de conc. anual.

En relación al percentil 98 de las concentraciones promedio 24 horas de MP10, se observa que durante los años 2009, 2010 y 2011, el percentil 98 de las concentraciones 24 horas de MP10, registrado por la estación Compañía de Bomberos, presentaron valores bajo el nivel de saturación y latencia según los límites establecidos por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES (Tabla 2.3-53).

Tabla 2.3-53. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Mejillones

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - P98 Concentraciones 24 h							
		Valor Norma:		150	($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)		
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base					
		2009	2010	2011	% de Norma 2009	% de Norma 2010	% de Norma 2011
Mejillones	Compañía de Bomberos	51	56	55	34%	37%	37%

6. **Caracterización Sub-área Antofagasta**

Para la caracterización de esta sub-área, se consideraron los registros de MP10 de los años 2009, 2010 y 2011 obtenidos de las estaciones Oncológica, Rendic y Playa Blanca. A continuación, se presentan los resultados de esta caracterización.

- **Material Particulado respirable (MP10)**

La concentración media de MP10 registrada en esta sub-área se presenta en la Tabla 2.3-54. En ella se observa que el promedio trianual de concentraciones de MP10 en las estaciones Oncológica, Rendic y Playa Blanca no sobrepasó el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, sin embargo en la estación Rendic se registró un nivel de latencia alcanzando un 84% del nivel de la norma.

Tabla 2.3-54. Concentración Media Anual de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Antofagasta

Norma Primaria de MP10 - Media Anual (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES)			
Valor Norma:		50	($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base	
		Trianual (*)	% de Norma
Antofagasta	Oncológico	37	74%
	Rendic	42	84%
	Playa Blanca	37	74%

(*) Corresponde al promedio trianual del periodo (2009-2010-2011)

En relación al percentil 98 de las concentraciones promedio 24 horas de MP10, se observa que durante los años 2009, 2010 y 2011, el percentil 98 de las concentraciones 24 horas de MP10, registrado por las estaciones Oncológico, Rendic y Playa Blanca, presentaron valores bajo el nivel de saturación y latencia según los límites establecidos por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES (Tabla 2.3-55).

Tabla 2.3-55. P98 de Concentraciones 24 Horas de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Sub-área Antofagasta

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - P98 Concentraciones 24 h							
Valor Norma:		150	($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)				
Sub-área	Estación de Monitoreo	Línea de Base					
		2009	2010	2011	% de Norma 2009	% de Norma 2010	% de Norma 2011
Antofagasta	Oncológico	71	56	83	47%	37%	55%
	Rendic	73	68	70	49%	45%	47%
	Playa Blanca	66	62	55	44%	41%	37%

2.3.2.4.2 Resultados Línea de Base Proyectada (LBP) sin el Proyecto

Con la finalidad de estimar la calidad del aire sobre la cual se ejecutará el Proyecto, se ha desarrollado una “Línea de Base Proyectada sin el Proyecto RT Sulfuros” (en adelante, denominada LBP) la cual considera todos los proyectos que ya cuenten con una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) favorable pero que en Julio de 2011 no se encontraban aún generando emisiones, lo que implica que sus aportes no fueron reflejados en los registros de las estaciones monitoras utilizadas para desarrollar la presente línea de base.

Para la generación de esta LBP, no han sido considerados aquellos proyectos que en sus respectivos Estudios o Declaraciones de Impacto Ambiental hayan declarado generar aporte nulo sobre los receptores estudiados o emisiones atmosféricas poco significativas y que por consiguiente, no hayan estimado un aporte en la calidad del aire del sector. Adicionalmente, no se consideraron en esta LBP aquellos proyectos que no hayan declarado emisiones atmosféricas, entendiéndose entonces que éstas son inexistentes o poco significativas o que sus emisiones serán generadas en periodos distintos de las que se espera sean emitidas por el Proyecto RT Sulfuros.

Considerando los criterios establecidos anteriormente, se han identificado 9 proyectos (Tabla 2.3-56) en el área de Calama y la localidad de Chiu Chiu, por su parte en los otros sectores no se han identificado Proyectos aprobados, que no se encuentren en operación, que acrediten aportes en concentración en las estaciones de monitoreo incluidas en las otras sub-áreas.

Tabla 2.3-56. Aporte de Proyectos Aprobados en el SEIA

Proyecto	Tipo y Fecha de Presentación	RCA
Planta Solar Fotovoltaica Calama Solar 1	DIA, 01-09-2009	R.E. N° 0004/2010 del 12-01-2010
Planta Solar Fotovoltaica Calama Solar 2	DIA, 01-03-2010	R.E. N° 0234/2010 del 04-08-2010
Sondajes de Prospección Ingeniería de Detalle Explotación Subterránea del Yacimiento Chuquicamata	DIA, 03-07-2009	R.E. N° 0352/2009 del 09-10-2009
Modificaciones Mina Ministro Hales	DIA, 04-12-2009	R.E. N°240/2010 del 05-08-2010
Planta de Abatimiento de Arsénico y Antimonio para el Tratamiento de Polvos de Fundición y Efluentes de Refinería	DIA, 15-05-2008	R.E. N° 86/2009 del 10-03-2009
Central Termoeléctrica Salar	DIA, 16-04-2008	R.E. N° 339/2008 del 22-10-2008
Reinicio de la Operación de la Planta de Renio – Subgerencia de Concentración	DIA, 18-01-2010	R.E. N° 0301/2010 del 09-11-2010
Nuevo Escenario Operacional de Procesamiento de Concentrado de la División Ministro Hales	DIA, 15-12-2011	R.E. N° 057/2013 del 04-03-2013
Proyecto Quetena	EIA, 07-12-2011	R.E. N° 012/2013 del 18-01-2013

Fuente: Elaboración propia basada en proyectos publicados en el www.sea.gob.cl.

Considerando lo anterior, a continuación se presenta la línea de base proyectada para el contaminante MP10 y SO₂ en la sub-área de Calama para MP10.

- Línea de Base Proyectada – MP10 – Sub-área Zona Saturada Calama y Chiu Chiu

A partir de los valores registrados en el promedio trianual (2009-2010-2011) de concentraciones de MP10 en la estaciones Servicio Médico Legal y Chiu Chiu y sumando ahora los aportes de otros proyectos, se obtiene una línea base proyectada en que se sobrepasan los límites de saturación establecidos por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES. En particular, se superaría la norma en el 164% y 110% en las estaciones citadas, respectivamente (Tabla 2.3-57). Por su parte, en la estación Hospital del Cobre, se alcanzarían valores correspondientes al 82% de la norma, lo que supone sobrepasar el límite de latencia establecido por la misma norma.

Tabla 2.3-57. Línea de Base Proyectada MP10 Calama y Chiu Chiu – Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - Media Anual						
				Valor Norma:	50	($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Sub-área	Estación de Monitoreo	LB Medida (a)	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma	
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	82	0,03	82	164%	
	Hospital del Cobre	41	0,44	41	82%	
	Chiu Chiu	55	0,02	55	110%	

(a) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) de concentración anual

El percentil 98 de concentraciones de MP10 (2011) en la estación Servicio Médico Legal sobrepasaría el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 104% de la norma (Tabla 2.3-58). Por su parte, en la estación Chiu Chiu y Hospital del Cobre, se proyecta una línea de base que no sobrepasaría el nivel de saturación y latencia establecida por la mencionada norma.

Tabla 2.3-58. Línea de Base Proyectada MP10 Calama y Chiu Chiu – P98 Concentraciones 24h ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES) - P98 Concentraciones 24 h						
				Valor Norma:	150	($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)
Sub-área	Estación de Monitoreo	LB Medida (a)	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma	
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	156	0,11	156	104%	
	Hospital del Cobre	69	3,66	73	49%	
	Chiu Chiu	77	0,11	77	51%	

(a) Corresponde al año 2011

- Línea de Base Proyectada – Dióxido de Azufre (SO_2) – Sub-área Zona Saturada de Calama y Chiu Chiu

Norma Primaria de SO_2

Se observa que el promedio trianual (2009-2010-2011) de concentraciones de SO_2 en las estaciones Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, no sobrepasaría el límite de saturación y latencia establecido por el D.S. N° 113/2002 MINSEGPRES (Tabla 2.3-59).

Tabla 2.3-59. Línea de Base Proyectada SO₂ Calama y Chiu Chiu – Media Anual (µg/m³N)

Norma Primaria de SO ₂ (D.S. N° 113/02 MINSEGPRES) - Media Anual					
					Valor Norma: 80 (µg/m ³ N)
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida (a)	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	2	1,02	3	4%
	Hospital del Cobre	3	0,79	4	5%
	Chiu Chiu	5	0,66	6	8%

(a) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) de concentración anual

En cuanto al percentil 99 de concentraciones de SO₂, en las estaciones Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, los valores proyectados no sobrepasarían el límite de saturación y latencia establecido por el D.S. N° 113/2002 MINSEGPRES (Tabla 2.3-60).

Tabla 2.3-60. Línea de Base Proyectada SO₂ Calama y Chiu Chiu – P99 Concentraciones 24h (µg/m³N)

Norma Primaria de SO ₂ (D.S. N° 113/02 MINSEGPRES) - P99 Concentraciones 24 h					
					Valor Norma: 250 (µg/m ³ N)
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida (a)	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	15	10,82	26	10%
	Hospital del Cobre	20	7,72	28	11%
	Chiu Chiu	26	4,56	31	12%

(a) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) del P99 de concentraciones 24 h

Norma Secundaria de SO₂

Tabla 2.3-61. Línea de Base Proyectada SO₂ Calama y Chiu Chiu – Media Anual (µg/m³N)

Norma Secundaria de SO ₂ (D.S. N° 22/09 MINSEGPRES) - Media Anual					
					Valor Norma: 80 (µg/m ³ N)
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	SAG Calama Oasis	2 ^(a)	0,33	2,33	3%
	SAG Chiu Chiu	5 ^(b)	0,66	5,66	7%

(a) Corresponde al periodo Marzo-Julio 2012.

(b) No completa un año de mediciones, por lo que se consideró el promedio 2009-2010-2011 medido en la estación Chiu Chiu.

Tabla 2.3-62. Línea de Base Proyectada SO₂ Calama y Chiu Chiu – P99,7 Concentraciones 24h (µg/m³N)

Norma Secundaria de SO ₂ (D.S. N° 22/09 MINSEGPRES) - P99,7 Concentraciones 24 h					
				Valor Norma: 365	(µg/m ³ N)
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	SAG Calama Oasis	13 ^(a)	7,92	20,92	6%
	SAG Chiu Chiu	37 ^(b)	4,86	41,86	11%

(a) Corresponde al periodo Marzo-Julio 2012.

(b) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) del P99,7 de concentraciones 24 h.

Tabla 2.3-63. Línea de Base Proyectada SO₂ Calama y Chiu Chiu – P99,73 Concentraciones 24h (µg/m³N)

Norma Secundaria de SO ₂ (D.S. N° 22/09 MINSEGPRES) - P99,73 Concentraciones 24 h					
				Valor Norma: 1.000	(µg/m ³ N)
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	SAG Calama Oasis	44 ^(a)	27,83	71,83	7%
	SAG Chiu Chiu	120 ^(b)	21,41	141,41	14%

(a) Corresponde al periodo Marzo-Julio 2012.

(b) Corresponde al promedio trianual (2009-2010-2011) del P99,73 de concentraciones 24 h.

- Línea de Base Proyectada – Dióxido de Nitrógeno (NO₂) – Sub-área Zona Saturada de Calama y Chiu Chiu

Se observa que el promedio trianual (2009-2010-2011) de concentraciones de NO₂ en las estaciones Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, no sobrepasaría el límite de saturación y latencia establecido por el D.S. N° 114/2002 MINSEGPRES (Tabla 2.3-64).

Tabla 2.3-64. Línea de Base Proyectada NO₂ Calama y Chiu Chiu – Media Anual (µg/m³N)

Norma Primaria de NO ₂ (D.S. N° 114/02 MINSEGPRES) - Media Anual					
				Valor Norma: 100	(µg/m ³ N)
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	8,0 (b)	1,25	9	9%
	Hospital del Cobre	8,0 (a)	0,80	9	9%
	Chiu Chiu	s/m	0,43	0,4	0,4%

(a) Corresponde a la concentración anual del periodo Febrero – Diciembre de 2011

(b) Considera los registros de la estación Hospital del Cobre

s/m: sin mediciones

En cuanto al percentil 99 de concentraciones de NO₂, en las estaciones Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, los valores proyectados no superarían el límite de saturación y latencia establecido por el D.S. N° 114/2002 MINSEGPRES (Tabla 2.3-65).

Tabla 2.3-65. Línea de Base Proyectada NO₂ Calama y Chiu Chiu – P99 Concentraciones 1h (µg/m³N)

Norma Primaria de NO ₂ (D.S. N° 114/02 MINSEGPRES) - P99 Concentraciones 1 h					
				Valor Norma: 400	(µg/m ³ N)
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	73 (b)	50,93	124	31%
	Hospital del Cobre	73 (a)	29,19	102	26%
	Chiu Chiu	s/m	12,77	13	3%

(a) Considera los registros entre Febrero y Diciembre de 2011

(b) Considera los registros de la estación Hospital del Cobre

s/m: sin mediciones

- Línea de Base Proyectada – Monóxido de Carbono (CO) – Sub-área Zona Saturada de Calama y Chiu Chiu

Se observa que el Percentil 99 de concentraciones en 1 hora de CO en las estaciones Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, no superarían el límite de saturación y latencia establecido por el D.S. N° 115/2002 MINSEGPRES (Tabla 2.3-66).

**Tabla 2.3-66. Línea de Base Proyectada CO Calama y Chiu Chiu – Percentil 99
Concentraciones 1h ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)**

Norma Primaria de NO ₂ (D.S. N° 115/02 MINSEGPRES) – P99 Concentración 1h					
Valor Norma: 30.000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)					
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	6.378 (b)	11,67	6.390	21%
	Hospital del Cobre	6.378 (a)	6,69	6.385	21%
	Chiu Chiu	s/m	2,93	2,9	0,01%

(a) Corresponde a la concentración horaria del periodo Febrero – Diciembre de 2011

(b) Considera los registros de la estación Hospital del Cobre

s/m: sin mediciones

En cuanto al percentil 99 de concentraciones en 8 horas de CO, en las estaciones Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, los valores proyectados no sobrepasarían el límite de saturación y latencia establecido por el D.S. N° 115/2002 MINSEGPRES (Tabla 2.3-67).

**Tabla 2.3-67. Línea de Base Proyectada CO Calama y Chiu Chiu – Percentil 99
Concentraciones 8h ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)**

Norma Primaria de NO ₂ (D.S. N° 115/02 MINSEGPRES) - P99 Concentraciones 8 h					
Valor Norma: 10.000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)					
Sub- área	Estación de Monitoreo	LB Medida	Aporte Proyectos Aprobados	LB Proyectada	% de Norma
Calama / Chiu Chiu	Servicio Médico Legal	2.068 (b)	3,32	2.071	21%
	Hospital del Cobre	2.068 (a)	1,80	2.070	21%
	Chiu Chiu	s/m	0,99	0,9	0,01%

(a) Considera los registros entre Febrero y Diciembre de 2011

(b) Considera los registros de la estación Hospital del Cobre

s/m: sin mediciones

2.3.2.5 Conclusiones

La caracterización de la calidad del aire registra las concentraciones en la atmósfera de material particulado respirable (MP10), material particulado fino (MP2.5), material particulado sedimentable (MPS), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO), obtenidas de 12 estaciones de calidad de aire en los años 2009, 2010 y 2011. Se observa que en todas las sub-áreas que constituyen el área de influencia del Proyecto, existen estaciones monitoras de calidad del aire con representatividad poblacional.

En el área de influencia se registran las siguientes declaraciones de Zonas Latentes o Saturadas.

- Zona Saturada por MP10 de Calama, declarada mediante D.S. N° 57/2009 de MINSEGPRES. Los sectores RT, Tranque Talabre y Planta Desaladora – RT desarrollan actividades al interior de esta Zona Saturada.
 - Zona Saturada por MP10 de María Elena (D.S. N° 1162/1993 MINSAL). El sector Planta Desaladora – RT desarrolla actividades al interior de esta Zona Saturada.
 - Zona Saturada por MP10 de Tocopilla, declarada mediante D.S. N° 50/2007 MINSEGPRES. El sector Planta Desaladora y Planta Desaladora – RT se desarrollan a unos 7 km al sur de esta Zona Saturada.
- Sub-área Zona Saturada de Calama y Localidad de Chiu Chiu

En relación al área de Calama, entre los resultados más relevantes se destaca la superación de la Norma Primaria de MP10 (D.S. N° 59/98 MINSEGPRES), media anual, en las estaciones Servicio Médico Legal (82 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, 164%) y Chiu Chiu (55 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, 110%), considerando el promedio trianual 2009-2011. En la estación Servicio Médico Legal se supera el P98 de las concentraciones de 24 h MP10, con un 104% de superación.

La Norma Primaria de MP2,5 (D.S. N° 12/11 MMA), media anual, no se supera en las estaciones de monitoreo Servicio Médico Legal (13 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, 65%), Hospital del Cobre (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, 60%) y Chiu Chiu (13 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, 65%); por su parte, los percentiles 98 de concentraciones en 24 horas de MP2,5 no superan los límites de latencia y saturación establecidos en el D.S. N° 12/11 MMA, alcanzando 64%, 36% y 72% en Servicio Médico Legal, Hospital del Cobre y Chiu Chiu, respectivamente.

Los registros de concentraciones de SO_2 se encuentran bajo la norma primaria (D.S. N° 113/02 MINSEGPRES) y norma secundaria (D.S. N° 22/09 MINSEGPRES). Las mediciones de MPS, CO y NO_2 no registran superación de normas vigentes.

- Sub-área Zona Saturada de María Elena

En María Elena, se observa que el promedio trianual de concentraciones de MP10 en las estaciones Hospital, Iglesia y Sur sobrepasaron el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 100%, 114% y 138% de la norma en cada estación. En relación al percentil 98 de las concentraciones promedio 24 horas de MP10 registradas durante el año 2011, sólo la estación Iglesia registra niveles de latencia alcanzando un 85%, mientras que las estaciones Hospital y Sur se encuentran por debajo de los niveles de latencia establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando 54% y 65%, respectivamente.

- Sub-área Zona Saturada de Tocopilla

En el área de Tocopilla, el promedio trianual de concentraciones de MP10 en la estación Gobernación y Escuela E-10 sobrepasó el límite de saturación establecido por el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 102% y 104% de la norma en cada estación respectivamente. Los percentiles 98 de concentraciones en 24 horas de MP10 no superan los límites de latencia y saturación establecidos en el D.S. N° 59/1998 MINSEGPRES alcanzando un 56% y 63% para el año 2011 en las estaciones Gobernación y Escuela E-10, respectivamente.

- Sub-área de Sierra Gorda

Por su parte en el área de Sierra Gorda, el promedio trianual de concentraciones de MP10 y el Percentil 98 de concentraciones diarias se encuentran bajo los niveles de latencia y saturación

establecido por el D.S. Nº 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 66% de la norma anual para el periodo de monitoreo 2009-2011 y el 46% de la norma diaria para el año 2011.

- Sub-área de Mejillones

En el área de Mejillones, la concentración media de MP10, promedio trianual de concentraciones de MP10 y el Percentil 98 de concentraciones diarias se encuentra bajo los niveles de latencia y saturación establecido por el D.S. Nº 59/1998 MINSEGPRES, alcanzando el 56% de la norma anual para el periodo de monitoreo 2009-2011 y el 37% de la norma diaria para el año 2011.

- Sub-área de Antofagasta

En el área de Antofagasta, se observa que los percentiles 98 de concentraciones en 24 horas de MP10 no superan los límites de latencia y saturación establecidos en el D.S. Nº 59/1998 MINSEGPRES alcanzando un 55%, 47% y 37% para el año 2011 en las estaciones Oncológico, Rendic y Playa Blanca, respectivamente. En el caso del promedio anual las estaciones Oncológico y Playa Blanca se encuentran bajo los límites de saturación y latencia, alcanzando ambas un 74% del nivel de la norma, mientras que los registros de la estación Rendic para el periodo 2009-2011 alcanza un nivel de latencia alcanzando un 84% del nivel de la norma.

Cabe indicar que algunos de estos valores son referenciales pues están basados en estaciones que no contaban con la calidad de “Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional”.

2.3.2.6 Referencias Bibliográficas

- Web Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire – www.sinca.conama.cl
- Declaración Zona Saturada de Calama D.S. N° 57/2009 – Ministerio Secretaría General de la República
- Declaración Zona Saturada de María Elena D.S. N° 1162/1993 – Ministerio de Salud
- Declaración Zona Saturada de Tocopilla D.S. N° 50/2007 – Ministerio Secretaría General de la República
- Comisión Nacional del Medio Ambiente – Normas Ambientales Dictadas Bajo la Ley de Bases del Medio Ambiente N° 19.300 (2003).
- Informe de Calidad del Aire de la Región de Antofagasta 2010 – SEREMI MMA Antofagasta

2.3.3 Ruido

2.3.3.1 Introducción

El presente informe corresponde al levantamiento de línea de base de ruido del Proyecto “RT Sulfuros”, que comprende la identificación de receptores sensibles al ruido dentro del área de influencia del proyecto y establecer los actuales niveles de ruido diurnos/nocturnos en los distintos sectores del Proyecto. Lo anterior permitirá establecer la magnitud de los impactos que se esperan en las distintas etapas del Proyecto.

Las obras que componen el Proyecto, modificarán el entorno sonoro, el cual se caracteriza por corresponder a un sector desértico topográficamente irregular, cercano a las ciudades de Calama, Tocopilla, Mejillones y a las comunas de Sierra Gorda y María Elena con presencia habitacional aislada y sectores de uso industrial.

Considerando que existe riesgo de contaminación acústica sobre potenciales receptores sensibles presentes en las inmediaciones del Proyecto que requieren de un determinado estándar acústico, el presente informe identifica dentro del área de influencia, presencia de actividades sensibles al ruido, estableciendo los niveles de ruido pre-operacionales (línea de base de ruido) en dichos sectores, los que serán utilizados posteriormente para la evaluación de impactos.

Los objetivos de este estudio son:

- Identificar sectores sensibles al ruido aledaños al Proyecto, que pudiesen verse afectados durante la etapa de construcción y operación del Proyecto.
- Definir el área de influencia del Proyecto.
- Obtener los niveles basales de ruido diurno y nocturno en los sectores sensibles identificados.

2.3.3.2 Definición Área de Influencia

Para efectos de análisis, se definen cuatro (4) sectores sobre los cuales se levanta la línea de base de ruido:

1. Sector RT: considera las obras asociadas a la operación y la nueva planta concentradora, incluyendo las instalaciones requeridas para su funcionamiento. Además considera las obras asociadas al transporte de relaves mediante canaleta desde la planta concentradora hasta la Cámara RT y a la recirculación de aguas claras desde la sentina hasta la planta concentradora.

Cabe destacar que para la componente ambiental de ruido se considera las vías existentes que se utilizarán para el transporte de concentrado desde la concentradora (Calama) hasta el terminal TGN (Mejillones).

2. Sector Tranque Talabre: considera las obras de ampliación del tranque Talabre, sistema de recuperación de aguas de proceso desde el tranque Talabre e infraestructura necesaria para la implementación del sistema de relaves espesados. Además en este sector se incorpora el mejoramiento vial en el cruce de las Rutas CH-21 y F-50.

3. Sector Planta Desaladora: considera una nueva planta desaladora con sus obras marítimas y la infraestructura requerida para su funcionamiento.
4. Sector Planta Desaladora – RT: constituido por el sistema de impulsión que transporta el agua desalada desde la nueva planta desaladora hasta el Sector RT, y la infraestructura requerida para su funcionamiento.

El área de influencia (AI) permite delimitar el análisis de la línea de base a una determina extensión geográfica en función de las características particulares del proyecto en su etapa de construcción y posterior operación.

El AI corresponde a la zona delimitada donde tienen lugar los efectos de la obra, actividades y/o acciones del Proyecto. Para la componente ruido, corresponde a la extensión geográfica definida por la distancia a la cual el nivel de ruido asociado al Proyecto podría superar el nivel de ruido basal (es decir al existente sin el Proyecto).

En base a la experiencia, en un escenario desfavorable (etapa de construcción donde se esperan los mayores niveles de ruido), se estima de manera preliminar un área de aproximadamente 2 km desde cada sector, a excepción del Sector RT, que producto de las tronaduras podría alcanzar 10 km.

2.3.3.3 Metodología

2.3.3.3.1 Medición

En primer lugar, se identifica la presencia de zonas sensibles al ruido en el entorno del área de proyecto, la cual comprende los siguientes sectores:

- 1. Sector RT
- 2. Tranque Talabre
- 3. Sector Planta Desaladora
- 4. Sector Planta Desaladora – RT

Las zonas sensibles a identificar corresponden a aquellas que puedan verse impactadas por la construcción y/o operación del proyecto, tales como:

- Viviendas
- Lugares de culto
- Centros de educación
- Servicios de salud
- Otras que requieran de un determinado estándar acústico

En cada uno de los sectores se anota:

- Ubicación mediante coordenadas UTM y registro fotográfico
- Distancia al proyecto
- Uso de suelo
- Otros aspectos que se consideren relevantes al momento de la inspección.

La identificación de estos puntos se realizó mediante revisión de fotografía aérea de Google Earth y posterior visita a terreno verificando la representatividad y sensibilidad del punto receptor.

Una vez identificado los potenciales receptores, se efectúan mediciones de los niveles basales de ruido mediante el procedimiento establecido en el D.S.38/11 del MMA para medir ruido de fondo, citado a continuación.

Para la obtención del Nivel de Presión Sonora de Ruido de Fondo, se mide el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPSeq) de acuerdo al procedimiento establecido en el D.S.38/11 del MMA, artículo 19, letra b) que indica lo siguiente:

“Se deberá medir el NPSeq en forma continua, hasta que se estabilice la lectura, registrando el valor de NPSeq cada cinco minutos. Se entenderá por estabilizada la lectura, cuando la diferencia aritmética entre dos registros consecutivos sea menor o igual a 2 dB(A). El nivel a considerar será el último de los niveles registrados. En ningún caso la medición deberá extenderse por más de 30 minutos.”

2.3.3.3.2 Instrumentos de Medición

Los instrumentos utilizados para caracterizar la línea de base de ruido fueron:

- Sonómetro Analizador Integrador Tipo 2, Delta OHM HD2010
- Calibrador acústico Delta OHM HD 9102
- Pantalla antiviento
- GPS Garmin 38
- GPS Garmin Etrex Venture HC
- Cámara fotográfica digital
- Trípode de 1.5 metros de altura

2.3.3.3.3 Horarios de Medición

Las mediciones de ruido se efectuaron los días 20, 21, 22 y 23 de Octubre del 2011 durante el período diurno y nocturno, en día hábil y no hábil. Para el sector vial, las mediciones se realizaron los días 3 y 4 de Octubre de 2012 mediante en una ronda diurna y otra nocturna solamente en día hábil, considerando que las normas de referencias no hacen distinción respecto de días festivos.

Las mediciones se realizan mediante dos rondas diurnas y otra nocturna, tanto en día hábil como no hábil, con el objeto de caracterizar adecuadamente el entorno sonoro existente antes de la ejecución del proyecto, a excepción de las mediciones para el Sector Vial, donde se realizó una medición diurna y nocturna por punto, sólo en día hábil.

2.3.3.3.4 Puntos de Medición

La Tabla 2.3-68 presenta la ubicación de los puntos de medición, el sector que representa y la distancia aproximada al proyecto.

Tabla 2.3-68. Puntos de Medición de Ruido Basal

Sector	Punto receptor	Descripción	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Distancia al proyecto
Sector RT	PCCT-01	Acceso Chuquicamata, ubicado en la Ruta 24, 11.2 km al norte de la ciudad de Calama, en dirección sur poniente del proyecto.	507.411	7.531.175	13.4 km
	V-1	Instalaciones lejanas de CODELCO.	518.067	7.530.103	1.2 km
	PCCT-01	Acceso Chuquicamata, ubicado en la Ruta 24, 11.2 km al norte de la ciudad de Calama, en dirección sur poniente del proyecto.	507.411	7.531.175	13.4 km
	V-2	Planta fotovoltaica junto a container ubicado al poniente del trazado.	514.339	7.520.045	85 m
	V-3	Sector Industrial a ambos costados de la ruta 21.	511.439	7.518.411	47 m
	V-4	Sector habitacional comprendida por viviendas de de dos pisos en calle Salar de la Luna al nor-poniente de Avenida Circunvalación.	510.290	7.517.892	14 m
	V-5	Viviendas de uno y dos pisos ubicadas en sector cercano a esquina Salar de la Luna con calle Arcaya al poniente de la Avenida Circunvalación.	510.383	7.517.096	20 m
	V-6	Viviendas de uno y dos pisos, ubicadas al final de sector habitacional por calle Arcaya hacia el sur, ubicadas específicamente al poniente del trazado.	510.314	7.516.767	20 m
	V-7	Viviendas de uno y dos pisos, ubicadas en Avenida Jorge Alessandri, correspondientes a un sector netamente residencial.	509.633	7.514.261	48 m
	V-8	Viviendas de uno y dos pisos ubicadas en calle Alcalde José Lira al nor-poniente de Avenida Circunvalación.	508.950	7.513.612	35 m
	V-9	Viviendas de dos pisos ubicadas en calle Alcalde José Lira esquina Licarayen.	508.177	7.512.952	38 m
V-10	Instalaciones de empresa Enaex, frente a control de carabineros por la entrada sur a la ciudad de Calama.	505.249	7.509.854	8 m	

Sector	Punto receptor	Descripción	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Distancia al proyecto
	V-11	Restaurant de un piso color verde agua, ubicada en el costado poniente de la ruta 25.	479.824	7.488.385	25 m
	V-12	Instalaciones correspondientes al Estanque Sierra Gorda, incluyendo casa de cuidador, ubicada al costado poniente de la ruta 25.	477.777	7.484.616	45 m
	V-13	Instalaciones de Minera Spence, ubicada específicamente al costado nor-poniente de la ruta 25.	473.775	7.474.229	350 m
	V-14	Localidad de Sierra Gorda, incluye posta, jardín infantil, colegio y retén de carabineros, ubicada al sur del futuro bypass de Sierra Gorda.	467.186	7.468.580	377 m
	V-15	Vivienda de un piso, ubicada al interior de recinto cerrado por el acceso sur a la localidad de Sierra Gorda.	466.697	7.467.965	220 m
	V-16	Instalaciones de Proyecto Minero Sierra Gorda, ubicado al norte de la ruta 25.	462.521	7.465.558	458 m
	V-17	Instalaciones mineras, correspondiente a oficinas y galpones, ubicadas en camino rural interior al norte de la ruta 25.	461.633	7.461.679	575 m
	V-18	Vivienda de un piso correspondiente a cuidador de Ex oficina salitrera Chacabuco, ubicada al norte de la ruta 25 y al oriente de la ruta 5.	436.885	7.440.225	1,8 km
	V-19	Localidad de Carmen Alto, correspondiente a Estación de Servicio además de dos restaurants y viviendas de un piso, ubicada en la intersección de las rutas 5 y 25.	435.105	7.436.038	45 m
	V-20	Vivienda de un piso de cuidador de Estanque de agua Oasis, ubicado al norte de la ruta 5 a aproximadamente 4 km de la localidad de Carmen Alto.	431.969	7.433.459	84 m
	V-21	Viviendas de un piso, incluyendo comercio y monumentos, ubicados en acceso nor-orientado a la Localidad de Baquedano, al norte de la ruta 5 y al sur del futuro bypass de Baquedano.	414.196	7.419.502	190 m
	V-22	Viviendas de uno y dos pisos ubicadas en el acceso sur-poniente a la localidad de Baquedano al norte de la ruta 5 y al sur del futuro bypass de Baquedano.	413.380	7.418.992	45 m

Sector	Punto receptor	Descripción	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Distancia al proyecto
	V-23	Planta de Cemento, ubicada al costado sur de la ruta 5.	402.216	7.411.673	480 m
	V-24	Planta ENAMI, ubicada al costado sur de la ruta 5.	396.282	7.408.579	125 m
	V-25	Instalaciones del proyecto Mantos Blancos de la empresa Angloamerican, ubicada al costado norte de la ruta 5.	392.629	7.406.660	25 m
	V-26	Oficinas y talleres de mantención de maquinaria pesada, ubicada al costado norte de la ruta 5.	386.605	7.406.141	134 m
	V-27	Estación de trenes Prat, ubicada al sur-oriente de la ruta 5.	380.464	7.403.866	124 m
	V-28	Instalaciones de la empresa Skanska, incluyendo oficinas y bodegas, ubicada al sur de la ruta B-400.	354.395	7.415.225	45 m
	V-29	Refugio El Patrón al interior de recinto perteneciente a la FACH, ubicado al poniente de la ruta 1.	353.916	7.416.060	40 m
	V-30	Instalaciones ubicadas frente al Vertedero Municipal de Mejillones, por ruta B272 (acceso sur a Mejillones)	352.576	7.442.038	37 m
	V-31	Vivienda de un piso perteneciente a la DGAC cercano a intersección de ruta B-272 con B-268.	352.139	7.443.725	15 m
	V-32	Viviendas de uno y dos pisos además de comercio, ubicado en la localidad de Mejillones por Avenida Andalicán.	352.041	7.444.454	5 m
	V-33	Viviendas de uno y dos pisos además de comercio, ubicado en Avenida Andalicán saliendo del sector habitacional de Mejillones por el norte.	352.476	7.444.537	5 m
	V-34	Cementerio de mejillones además de viviendas de dos pisos cercanas a cruce ferroviario al sur de la ruta B-262.	353.878	7.444.185	15 m
	V-35	Sector industrial cercano a Puerto Angamos, Mejillones.	358.015	7.446.743	70 m
	V-36	Restaurant de un piso ubicado en la intersección de la ruta 1 con la ruta B-262, por acceso norte a la localidad de Mejillones.	363.595	7.447.204	65 m
Planta Desaladora-RT	IA-01	Vivienda de un piso de madera color verde, ubicada en Ruta 1, en el acceso norte de Tocopilla, dirección poniente del proyecto.	376.825	7.558.009	11,8 km
	IA-02	Vivienda de un piso de material	378.006	7.557.504	11,1 km

Sector	Punto receptor	Descripción	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Distancia al proyecto
		ligero, ubicada en Ruta 24, en el acceso oriente de Tocopilla, dirección poniente del proyecto.			
	IA-03	Vivienda de un piso de material ligero, ubicada en la calle Orella, 430m al suroriente de la Ruta 1, dirección poniente del proyecto.	377.507	7.556.753	10,4 km
	IA-04	Vivienda de un piso de material ligero, ubicada en la calle Orella, 595 km al oriente de la Ruta 1, dirección poniente del proyecto.	376.457	7.556.183	9,9 km
	IA-05	Instalación productiva, ubicado en cuesta 8 km al Oriente de la Ruta 1 a la altura de sector km 14, en la porción norte del proyecto.	381.642	7.547.571	120 m
	IA-06	Central Termoeléctrica Barriles, ubicado 3.6 km al sur de la Ruta 24 a la altura del aeródromo Barriles, dirección nororiente de proyecto.	387.632	7.548.808	180 m
	IA-07	ENAMI Tocopilla, ubicada 2.6 km al sur de la Ruta 24 a la altura del aeródromo Barriles, dirección nororiente de proyecto.	388.024	7.550.013	1,5 km
	IA-08	Subestación Eléctrica, ubicada 2.8 km al sur de la Ruta 24 a la altura del aeródromo Barriles y 2 km al oriente de Central Termoeléctrica Barriles, dirección nororiente de proyecto.	390.391	7.548.775	2,5 km
	IA-09	Estanque de Colupo, ubicado en la Ruta 24, 29 km al poniente de la Ruta 5, dirección norte del proyecto.	409.670	7.538.602	400 m
	IA-10	Subestación Eléctrica EL Loa, ubicada en la Ruta 24, 6.2 km al poniente de la Ruta 5, dirección norte del proyecto.	432.325	7.535.975	320 m
	IA-11	Comuna de María Elena, 6.2 km al Sur de la Ruta 24 y 7.5 km al poniente de la Ruta 5, dirección sur del proyecto.	431.396	7.529.760	6 km
	IA-12	Caseta de un piso, ubicada en la intersección entre la Ruta 24 y la Ruta 5, dirección sur del proyecto.	438.780	7.536.290	470 m
	IA-13	Subestación Eléctrica Crucero, ubicada en la Ruta 24, 2.8 km al oriente de la Ruta 5, dirección sur del proyecto.	441.461	7.536.243	480 m
Planta Desaladora	PDCV-01	Vivienda aislada de baja de un piso, ubicado en sector km 14, 250 m al poniente de la Ruta 1 y 9.4 km al sur de la comuna de Tocopilla, dirección nororiente del proyecto.	373.705	7.544.601	490 m

Sector	Punto receptor	Descripción	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Distancia al proyecto
	IA-05	Instalación productiva, ubicado en cuesta 8 km al Oriente de la Ruta 1 a la altura de sector km 14, en la porción norte del proyecto.	381.642	7.547.571	120 m
Tranque Talabre	V-1	Instalaciones lejanas de CODELCO.	518.067	7.530.103	1,2 km
	PCCT-01	Acceso Chuquicamata, ubicado en la Ruta 24, 11.2 km al norte de la ciudad de Calama, en dirección sur poniente del proyecto.	507.411	7.531.175	13,4 km

En el Anexo 2.3-3 se presenta el plano con los puntos de medición de ruido.

2.3.3.4 Resultados y Análisis

Se realizaron mediciones discretas de ruido a lo largo de los distintos sectores señalados, en los puntos descritos en la Tabla 2.3-68 de modo de caracterizar espacialmente el nivel de ruido ambiental diurno y nocturno.

El descriptor acústico a utilizar corresponde al Nivel Equivalente de ruido (NPSeq) con filtro de ponderación A y respuesta Lenta. El procedimiento utilizado corresponde al señalado por el D.S.38/11 del MMA para medir ruido de fondo.

Cabe señalar que los puntos de medición tienen por objeto caracterizar acústicamente un entorno o área circundante y no un punto específico en particular, es decir, son representativos de un sector acústicamente homogéneo.

Los resultados de las mediciones de ruido se diferencian entre día hábil y no hábil, a excepción del tramo por el cual se transportará el concentrado, donde las mediciones se realizan exclusivamente en día hábil, mediante una ronda diurna y otra nocturna considerando que las normas de referencias a utilizar posteriormente en el capítulo de evaluación para fuentes móviles no distingue días festivos (Norma Suiza OPB 814.41 y FTA de Estados Unidos).

En las tablas siguientes (Tabla 2.3-69 y Tabla 2.3-70) y en las siguientes figuras (Figura 2.3-26 y Figura 2.3-27) se resumen para el período diurno y nocturno los Niveles equivalentes de ruido (NPSeq), los Niveles instantáneos mínimos (NPSmin) y máximos (NPSmax). También presentan los resultados de las mediciones para los distintos sectores, a excepción del sector vial, los que se indican en la Tabla 2.3-71.

En el Anexo 2.3-4 se detallan los resultados de las mediciones, tales como fecha de medición, horario, fuentes de ruido y tiempo de medición.

Tabla 2.3-69. Niveles de Ruido Basal – Día Hábil

Punto de medición	Día Hábil. Niveles en dBA								
	Mañana			Tarde			Noche		
	NPSeq	NPSmín	NPSmáx	NPSeq	NPSmín	NPSmáx	NPSeq	NPSmín	NPSmáx
PCCT – 01	57	41	68	60	39	74	38	32	44
IA – 01	52	46	58	52	46	59	49	43	55
IA – 02	47	42	55	49	42	57	42	39	49
IA – 03	45	40	50	49	45	59	44	35	49
IA – 04	45	40	50	48	43	58	45	36	48
IA – 05	46	37	57	49	35	54	37	33	40
IA – 06	59	48	68	34	29	41	52	50	57
IA – 07	58	46	66	52	42	59	59	47	73
IA – 08	46	39	56	38	35	48	40	37	44
IA – 09	58	47	67	51	45	58	40	33	50
IA – 10	48	42	58	54	42	65	50	44	57
IA – 11	55	44	61	52	39	64	37	31	45
IA – 12	58	35	69	65	55	75	64	51	74
IA – 13	54	30	76	61	50	68	57	35	71
PDCV – 01	45	42	51	43	36	54	43	38	54

Tabla 2.3-70. Niveles de Ruido Basal – Día No Hábil

Punto de medición	Día No Hábil. Niveles en dBA								
	Mañana			Tarde			Noche		
	NPSeq	NPSmín	NPSmáx	NPSeq	NPSmín	NPSmáx	NPSeq	NPSmín	NPSmáx
PCCT – 01	53	34	69	52	35	67	42	39	45
IA – 01	49	44	54	53	44	58	50	44	57
IA – 02	42	40	47	55	42	64	42	37	44
IA – 03	47	41	54	47	43	54	47	43	51
IA – 04	50	45	57	52	41	58	50	42	57
IA – 05	46	30	58	43	24	53	42	25	51
IA – 06	52	48	56	36	29	42	38	29	42
IA – 07	42	36	48	53	33	51	52	35	52
IA – 08	40	35	47	40	34	49	40	35	47
IA – 09	58	29	74	61	46	71	33	28	39
IA – 10	42	41	46	45	43	57	48	35	64
IA – 11	31	26	41	49	31	59	34	30	40
IA – 12	57	28	74	59	27	75	62	32	76
IA – 13	61	29	80	44	27	60	56	34	76
PDCV – 01	47	42	57	47	40	60	44	38	55

Figura 2.3-26. Niveles Basales de Ruido en Día Hábil

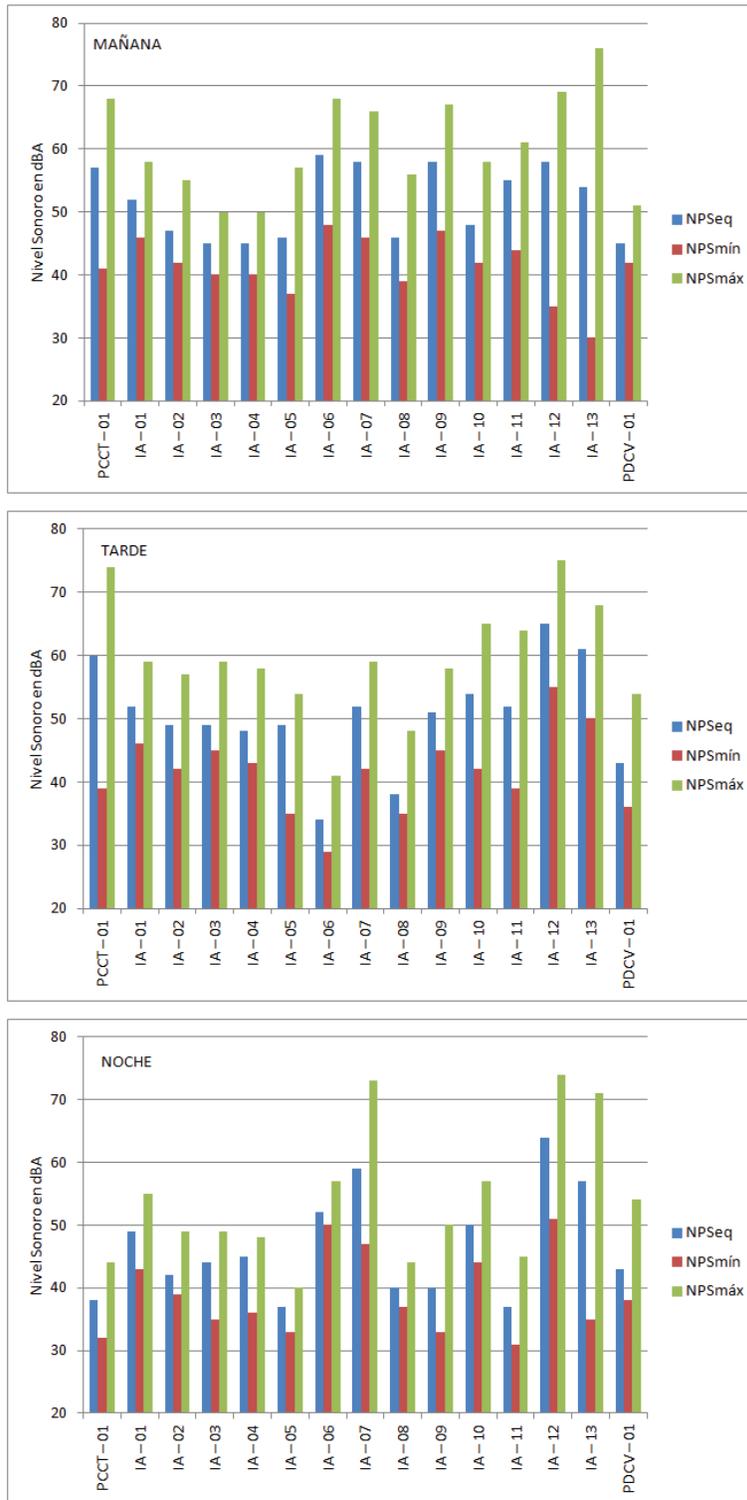
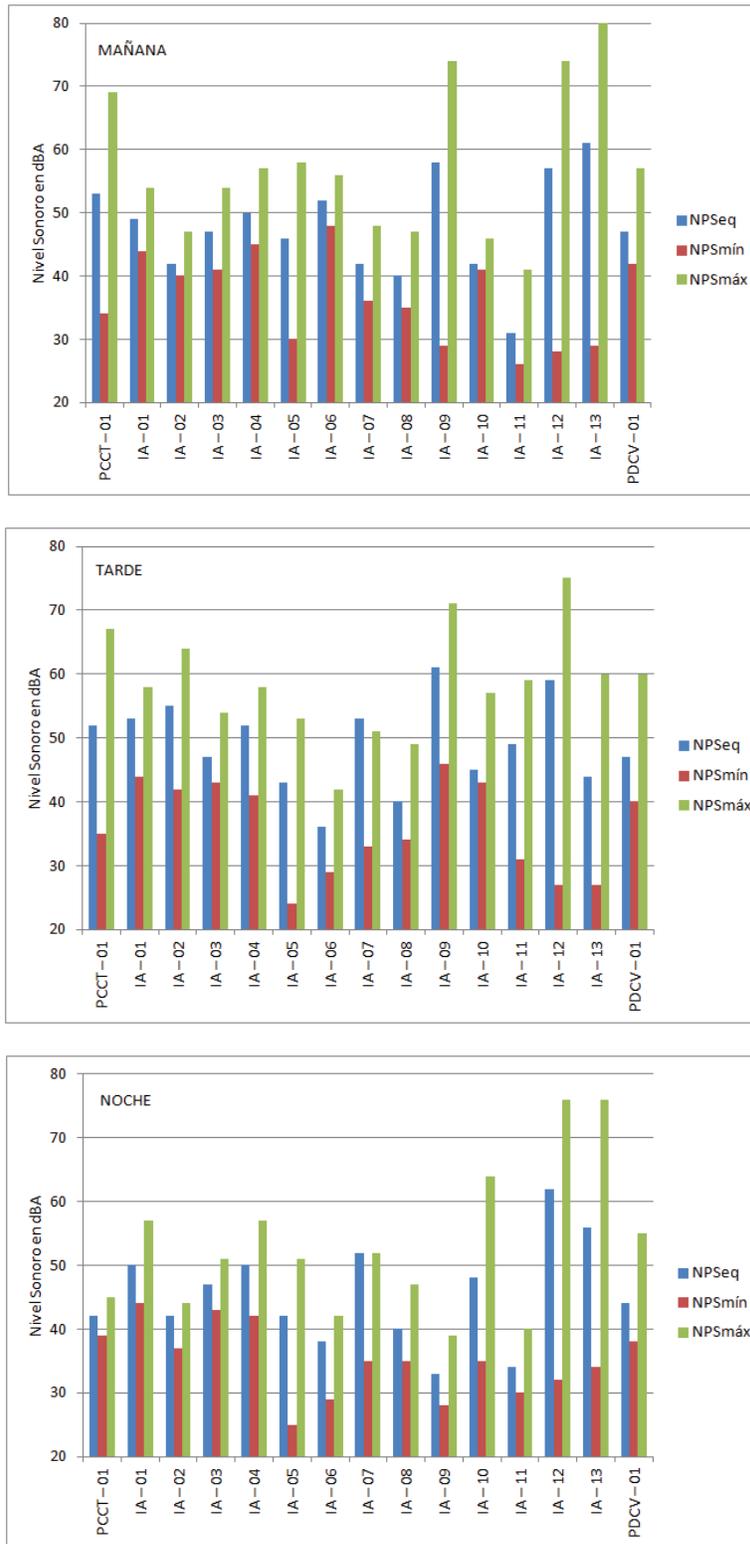


Figura 2.3-27. Niveles Basales de Ruido en Día No Hábil



En términos globales, es posible indicar lo siguiente:

Ronda de medición en día hábil

- Los niveles equivalentes de ruido durante el periodo de la mañana en día hábil, oscilan entre 45 y 59 dBA, con niveles instantáneos mínimos entre 30 y 48 dBA; y máximos entre 50 y 76 dBA.
- Los niveles equivalentes de ruido durante el periodo de la tarde en día hábil, oscilan entre 34 y 65 dBA, con niveles instantáneos mínimos entre 29 y 55 dBA; y máximos entre 41 y 75 dBA.
- Los niveles equivalentes nocturnos en día hábil, fluctúan entre 37 y 64 dBA, con niveles instantáneos mínimos entre 31 y 51 dBA; y máximos entre 40 y 74 dBA.
- Las fuentes de ruido predominantes corresponden principalmente al viento imperante en todo el sector, paso de vehículos, actividades domésticas y productivas, además de transeúntes pájaros y perros.
- Al comparar los niveles equivalentes de los tres períodos de medición, mañana, tarde y noche, es posible advertir que existen diferencias que fluctúan entre 3 y 25 dBA.
- Los puntos que presentan receptores particularmente sensibles al ruido se ubican a menos de 2 km del proyecto, en especial aquellos con uso residencial corresponden a los puntos IA-05, IA-06, IA-07, IA-09, IA-10, IA-12, IA-13 ubicados a lo largo de la línea de impulsión de agua, los cuales presentan niveles equivalente de ruido entre 33 y 65 dBA, además del punto PDCV-1 en la planta de desaladora con niveles equivalentes de ruido entre 43 y 45 dBA.

Ronda de medición en día no hábil

- Los niveles equivalentes de ruido durante el periodo de la mañana en día no hábil, oscilan entre 31 y 61 dBA, con niveles instantáneos mínimos entre 26 y 48 dBA; y máximos entre 41 y 80 dBA.
- Los niveles equivalentes de ruido durante el periodo de la tarde en día no hábil, oscilan entre 36 y 61 dBA, con niveles instantáneos mínimos entre 24 y 46 dBA; y máximos entre 42 y 75 dBA.
- Los niveles equivalentes nocturnos en día no hábil, fluctúan entre 33 y 62 dBA, con niveles instantáneos mínimos entre 25 y 44 dBA; y máximos entre 39 y 76 dBA.
- Las fuentes de ruido predominantes corresponden principalmente al viento imperante en todo el sector, paso de vehículos, actividades domésticas y productivas, además de transeúntes pájaros y perros.
- Al comparar los niveles equivalentes de los tres períodos de medición, mañana, tarde y noche, es posible advertir que existen diferencias que fluctúan entre 0 y 28 dBA.

Los puntos que presentan receptores particularmente sensibles al ruido se ubican a menos de 2 km del proyecto, en especial aquellos con uso residencial corresponden a los puntos IA-05, IA-06, IA-07, IA-09, IA-10, IA-12, IA-13 ubicados a lo largo de la línea de impulsión de agua, los cuales presentan niveles equivalente de ruido entre 33 y 62 dBA no existiendo diferencias significativas respecto al día hábil, además del punto PDCV-1 en la planta de desaladora con niveles equivalentes de ruido entre 44 y 47 dBA.

Los niveles de ruido obtenidos en el sector vial se indican en la Tabla 2.3-71 y en las Figura 2.3-28 y Figura 2.3-29.

Tabla 2.3-71. Niveles de Ruido Basal – Sector Vial. Niveles en dBA

Punto	Diurno			Nocturno		
	NPSeq	NPSmín	NPSmáx	NPSeq	NPSmín	NPSmáx
V-1	70	35	85	60	32	76
V-2	59	34	70	54	36	68
V-3	63	36	76	61	40	78
V-4	64	49	73	58	43	74
V-5	55	36	62	52	38	67
V-6	67	34	77	63	35	75
V-7	51	37	60	51	39	58
V-8	63	49	75	50	35	67
V-9	60	47	74	52	38	65
V-10	61	45	72	56	43	71
V-11	66	38	83	52	45	68
V-12	67	50	83	63	47	80
V-13	41	28	52	45	35	53
V-14	63	54	75	55	33	73
V-15	46	38	53	48	39	54
V-16	61	53	66	49	37	52
V-17	49	36	63	47	36	54
V-18	54	41	63	53	43	62
V-19	58	45	72	56	47	70
V-20	69	58	78	59	49	72
V-21	75	53	86	58	35	70
V-22	66	48	74	58	34	72
V-23	58	51	68	54	49	65
V-24	67	57	77	57	51	67
V-25	72	59	86	68	46	85
V-26	71	47	83	57	49	65
V-27	62	44	73	61	43	76
V-28	59	38	70	58	33	73
V-29	66	41	79	68	42	77
V-30	58	37	73	62	30	82
V-31	69	38	86	59	37	77
V-32	55	45	66	43	35	50
V-33	63	41	81	53	42	67
V-34	60	41	74	55	39	75
V-35	65	45	77	55	46	64
V-36	57	49	69	54	47	62

Figura 2.3-28. Niveles Basales de Ruido Diurnos - Sector Vial

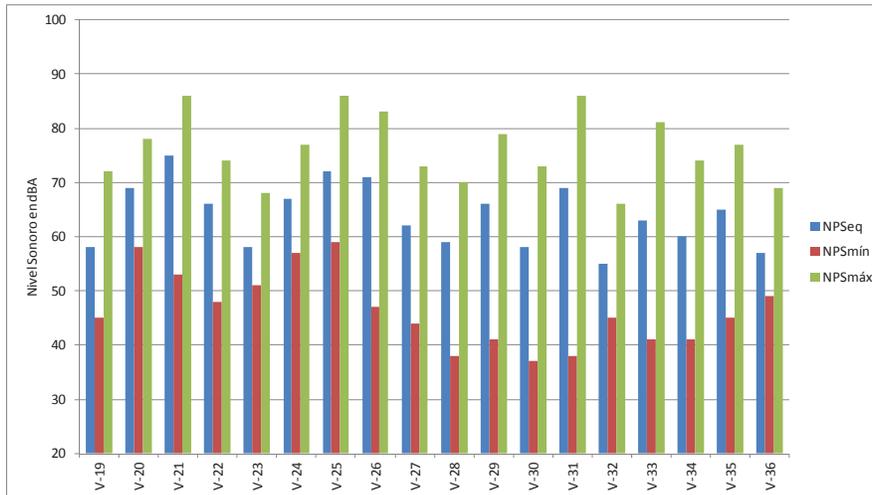
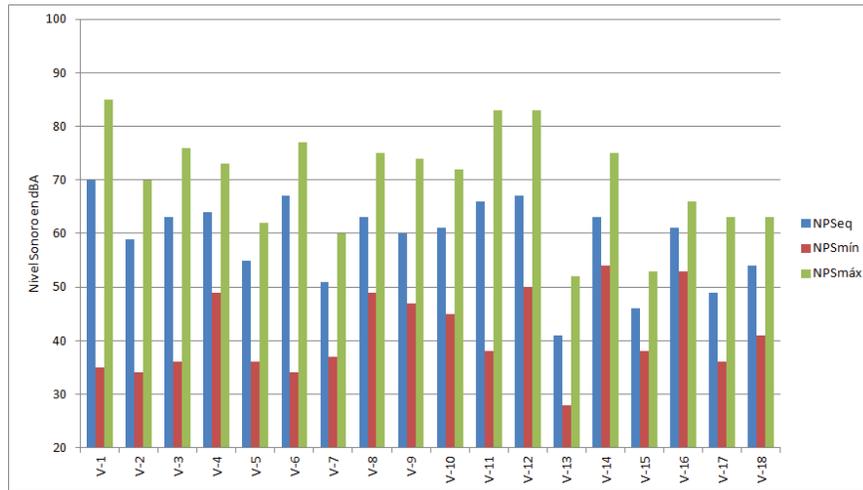
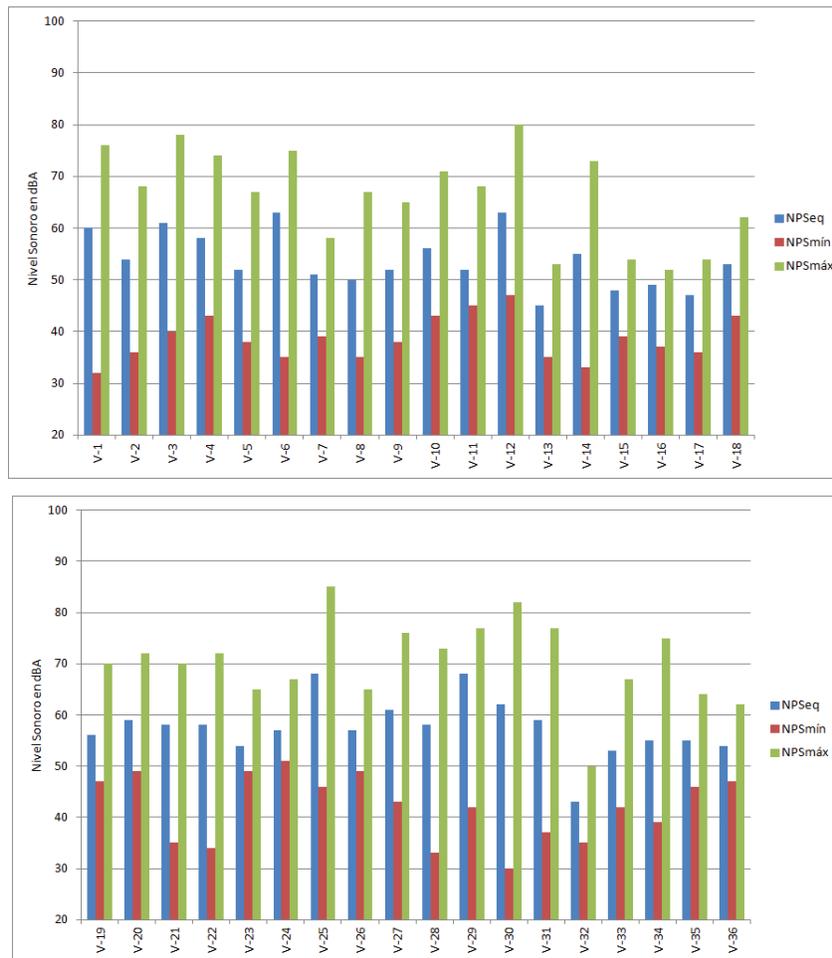


Figura 2.3-29. Niveles Basales de Ruido Nocturnos - Sector Vial



En términos globales, es posible indicar lo siguiente:

- Los niveles equivalentes de ruido durante periodo diurno para los receptores afectados por el Sector Vial, oscilan entre 41 y 75 dBA, con niveles instantáneos mínimos entre 28 y 59 dBA; y máximos entre 52 y 86 dBA, mientras que los niveles equivalentes nocturnos entre 43 y 68 dBA, con niveles instantáneos mínimos entre 30 y 51 dBA; y máximos entre 50 y 85 dBA.
- Las fuentes de ruido predominantes corresponden principalmente al tránsito vehicular por la ruta ya existente además de actividades domésticas y/o productivas, pájaros y perros.

2.3.3.5 Conclusiones

El Proyecto se ubica en un sector desértico, topográficamente irregular, cercano a las ciudades de Calama, Tocopilla, Mejillones y a las comunas de Sierra Gorda, María Elena y Baquedano con presencia habitacional aislada y sectores productivos.

Sector RT

Zona desértica al norte de la ciudad de Calama en el acceso a Chuquicamata. Los niveles equivalentes de ruido basal obtenidos en el punto PCCT-01 en día hábil oscilan entre 57 y 60 dBA durante el período diurno y 38 dBA en el nocturno, mientras que en día no hábil entre 52 y 53 dBA durante la ronda diurna y 42 dBA la nocturna. Las fuentes de ruido predominantes son las características de zonas desérticas, como son brisa del viento además de tránsito vehicular local.

El tramo por el cual se transportará el concentrado es principalmente una zona desértica con presencia de actividad residencial aislada a lo largo de la ruta 25 y ruta 5, en específico en las localidades de Sierra Gorda y Baquedano. Los niveles equivalentes de ruido basal obtenidos en los puntos V1 hasta V-36 oscilan entre 41 y 75 dBA con un nivel promedio de 61 dBA durante el período diurno y entre 43 y 68 dBA con un nivel promedio de 56 dBA en el nocturno. La fuente de ruido predominante corresponde al tránsito vehicular por la ruta 25 y ruta 5.

Sector Planta Desaladora – RT

Zona principalmente desértica con presencia de actividad residencial en las localidades de Tocopilla, sector Km 14 y María Elena. Los niveles equivalentes de ruido basal obtenidos en los puntos IA-1 hasta IA-13 en día hábil oscilan entre 34 y 65 dBA con un nivel promedio de 51 dBA durante el período diurno y de 37 a 51 dBA con un nivel promedio de 47 dBA en el nocturno, mientras que en día no hábil entre 31 y 61 dBA con un nivel promedio de 48 dBA durante la ronda diurna y entre 33 y 62 dBA con un nivel promedio de 46 dBA en la noche. Las fuentes de ruido predominantes son las características de zonas desérticas, como son brisa del viento además de tránsito vehicular local.

Planta Desaladora

Zona rural ubicada al sur de Tocopilla correspondiente al sector Km 14 con presencia aislada de viviendas. Los niveles equivalentes de ruido basal obtenidos en los puntos PDCV - 01 y IA- 5 en día hábil oscilan entre 35 y 57 dBA con un nivel promedio de 46 dBA durante el período diurno y de 33 a 54 dBA con un nivel promedio de 41 dBA en el nocturno, mientras que en día no hábil entre 24 y 54 dBA con un nivel promedio de 48 dBA durante la ronda diurna y entre 25 y 55 dBA con un nivel promedio de 37dBA en la noche., mostrando gran estabilidad sonora. Las fuentes de ruido predominantes corresponden al oleaje del mar, brisa del viento y tránsito lejano por la ruta 1.

Tranque Talabre

Zona desértica a un costado de la ruta B-151 al Oriente de Chuquicamata sin presencia de receptores sensibles al ruido. Los niveles equivalentes de ruido basal obtenidos en los puntos PCCT-01 y V-1 oscilan entre 32 y 85dBA durante el período diurno y 60 dBA en el nocturno. Las fuentes de ruido predominantes corresponden al tránsito vehicular por la ruta B-151.

2.3.3.6 Referencias Bibliográficas

- Manual usuario Sonómetro Integrador Delta OHM HD2010
- Normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC Standard), publicaciones N° 651 "Sonómetros" ("Sound Level Meters"), primera edición de 1979; y N° 804 "Sonómetros Integradores-promediadores" ("Integrating-averaging Sound Level Meters"), primera edición de 1985.
- Decreto Supremo N° 38/2011 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado el 12 de Junio del 2012 en el Diario Oficial de la República de Chile.

2.3.4 Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales

2.3.4.1 Introducción

En la siguiente sección se describe la geología, geomorfología y riesgos naturales para el área de influencia del proyecto.

El conocimiento de las características geológicas del medio, tanto del suelo como del subsuelo (geología superficial) y el comportamiento de fallas y plegamientos (geología estructural), así como los procesos que han llevado a la formación del paisaje actual, son relevantes en el análisis ambiental y el desarrollo de cualquier actividad humana, dado que aportan antecedentes para la comprensión del espacio físico como la geomorfología y sus procesos dinámicos, formación de suelos, comprensión del ciclo hidrológico, riesgo natural entre otros. Al mismo tiempo porta conocimientos clave en la solución de problemas de contaminación medioambiental, y provee información sobre los cambios climáticos del pasado.

Por otro lado, la forma del relieve tiene una particular importancia para los estudios del medio físico, por su influencia sobre otros elementos y procesos, tales como el clima, la formación de suelos, la erosión o la presencia de riesgos naturales.

En todo territorio pueden distinguirse regiones naturales que tienen su origen en procesos tectónicos y climáticos. La relación entre los procesos tectónicos (endógenos) que tienden a construir un relieve y los procesos superficiales (exógenos) que tienden a disminuir las elevaciones, no son constantes ni actúan con la misma intensidad durante el tiempo, constituyendo la morfodinámica del territorio.

A partir de las particulares condiciones geomorfológicas y edáficas se producirán paisajes diferentes, la síntesis de estos es la base de la definición de unidades homogéneas, que explican las características determinadas a partir de otras unidades conocidas. Cada unidad será una síntesis del conjunto de factores que la constituyen. El criterio prioritario para definir dichas unidades debe ser analizar los caracteres fundamentales del medio, entregando una visión de conjunto para cada unidad (MOPTT, 1991).

Una vez caracterizados los componentes de geología y geomorfología, es factible proceder a evaluar los potenciales riesgos de origen natural que puedan darse sobre los sectores en estudio. Principalmente factores asociados a eventos climatológicos extremos que pongan en riesgo la estabilidad de las obras proyectadas.

En este sentido, se puede precisar que desde el punto de vista de los potenciales riesgos naturales presente en la zona donde se ubica el Proyecto y sus obras asociadas, se identifican los siguientes fenómenos de potencial ocurrencia:

- Remoción en masa
- Eventos hidrológicos extremos
- Riesgos sísmicos
- Actividad volcánica
- Actividad volcánica
- Riesgo de maremotos

El objetivo de esta línea base, es la definición del marco geológico superficial y estructural del área de influencia del Proyecto RT Sulfuros. Además definir el marco geomorfológico y

morfodinámico del área de influencia del Proyecto. Finalmente, se busca reconocer y analizar los agentes que dan origen a potenciales riesgos naturales para las áreas del Proyecto.

2.3.4.2 Definición Área de Influencia

En consideración a la escala de análisis de este componente y a las características geográficas y ubicación de las operaciones unitarias contempladas por el Proyecto, el análisis en este acápite se ha segmentado en cuatro áreas que incluyen los sectores del Proyecto y corresponden a:

- Sector RT: considera las obras asociadas a la operación minera y la nueva planta concentradora, incluyendo las instalaciones requeridas para su funcionamiento. Además, considera las obras asociadas al transporte de relaves mediante canaleta desde la planta concentradora hasta Sector Tranque Talabre y a la recirculación de aguas de reproceso hasta la planta concentradora. . En este sector también se incluyen las rutas utilizadas para el transporte de concentrado, sin embargo esta actividad del proyecto no afecta al componente en estudio, por lo que no se considera dentro del área de influencia.
- Sector Tranque Talabre: considera las obras necesarias para incorporar los relaves que generará el proyecto en el tranque Talabre. En una primera etapa, éstas corresponden a las conducciones de relaves desde una nueva cámara y el sistema de recuperación de aguas de reproceso desde el tranque Talabre, y en una segunda etapa, corresponde a la infraestructura necesaria para la implementación del sistema de relaves espesados. . Además en este sector se incorpora el mejoramiento vial en el cruce de las Rutas CH-21 y F-50.
- Sector Planta Desaladora: considera una nueva planta desaladora con sus obras marítimas y la infraestructura requerida para su funcionamiento.
- Sector Planta Desaladora – RT: constituido por el sistema de impulsión que transporta el agua desalada desde la nueva planta desaladora hasta el Sector RT, y la infraestructura requerida para su funcionamiento.

Cabe destacar que el área de influencia del Proyecto depende del componente a considerar, sea este geológico, geomorfológico o si está referido a los riesgos naturales. En este último caso, esta variabilidad es mayor según el tipo de riesgo considerado. Así es como para el caso de los riesgos de remoción en masa o de eventos hidrológicos extremos, el área de influencia queda enmarcada por los límites de las cuencas y subcuencas hidrográficas por donde pasará el trazado del Proyecto, los cuales determinan el alcance de la interacción del medio con las obras. Este mismo alcance es coincidente si se trata de los componentes geológico y geomorfológico. Por otra parte, el área de influencia se amplía en un grado impreciso al considerar los riesgos por maremotos o por actividad volcánica, toda vez que el alcance dependerá de la magnitud con la que se declare el fenómeno.

Para la componente de Geología y Geomorfología se considera como área de influencia las formaciones geológicas y geomorfológicas donde se emplazaran las obras físicas del proyecto.

En el Anexo 2.3-5 se presenta un plano con el Área de Influencia del Proyecto – Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales.

2.3.4.3 Metodología

2.3.4.3.1 Geología

La elaboración de la línea de base del componente ambiental de geología se basó, principalmente, en información secundaria proveniente de diversos estudios y cartografía, la cual fue analizada y corroborada con una campaña de terreno.

A partir de la revisión bibliografía de revistas especializadas y literatura técnica, complementada con la carta Geológica Nacional (SERNAGEOMIN, 2002) se determinó el marco geológico zonal del área de estudio. Posteriormente y con el fin de aplicar escalas adecuadas al análisis de cada sector, se elaboró un primer mapa geológico base, utilizando la cartografía IIG /SERNAGEOMIN Hojas Tocopilla y Calama, ambas a escala 1:250.000, la cual se refiere a los sectores comprendidos entre la Planta Desaladora y el Sector RT. Complementariamente, para los sectores RT y Tranque Talabre se elaboró un segundo mapa geológico base, utilizando cartografía SERNAGEOMIN a escala 1:50.000 (Hojas Calama, Chiu Chiu, Cerros de Paqui y Conchi), sobre la base del cual se definió una geología superficial y estructural más actualizada y detallada. Ello, en consideración a la relevancia de estos dos sectores, particularmente el área del Tranque Talabre, y por el hecho de disponer de información técnica asociada a estos sectores que ha sido elaborada utilizando esta información geológica más actual.

Los antecedentes obtenidos de la descripción geológica de la literatura, sirvieron de base tanto en la identificación de los componentes de geología superficial como el reconocimiento de fallas, pliegues y fracturas, a modo de obtener una descripción sectorizada del área de estudio.

Los pasos metodológicos implementados en el desarrollo de la caracterización de línea de base fueron los siguientes:

- Revisión bibliográfica: Consideró la consulta de las instituciones relacionadas al tema.
- Confección de temario de levantamiento de información: Recopilación de información con las principales características territoriales del medio.
- Confección de un primer mapa geológico base general, a escala 1: 250.000, unificando y conciliando la información geológica de las Hojas Tocopilla (1978) y Calama (1984).
- Confección de un mapa geológico complementario, para los sectores RT y Tranque Talabre, utilizando información a escala 1: 50.000, unificando y conciliando la información geológica de las Hojas Calama (2010), Cerros de Paqui (2001), Conchi (2001) y Chiu Chiu (2009).

2.3.4.3.2 Geomorfología

Para la descripción del componente de geomorfología se realizó una primera etapa de gabinete que comprendió la determinación de Unidades Geomorfológicas homogéneas (UGmH) mediante fotointerpretación de imágenes obtenidas a través del software GoogleEarth Pro, empleándose cuatro criterios básicos (Pancel, 2000): tamaño, forma, sombra, tono y color y textura²³.

23 Se utiliza en fotointerpretación el concepto textura, por similitud a su definición real, como una síntesis de los criterios anteriores.

La identificación de las UGmH se complementó con información existente sobre topografía, pendientes, exposición, geología y material parental. La expresión final de la UGmH contendrá la descripción de las formas topo fisiográficas de acuerdo a al sustrato geológico y clima (Way, 1973). Posteriormente, estas unidades fueron validadas con apoyo de la revisión bibliográfica.

2.3.4.3.3 Riesgos Naturales

Sobre la base de los resultados obtenidos en las líneas base de Geología, Geomorfología y Suelos presentes en la zona del Proyecto, cartografía temáticas, imágenes aéreas (Google Earth) y la revisión de antecedentes climatológicos, se analizaron los potenciales riesgos del área de estudio y su importancia en las áreas de influencia de los sectores del Proyecto. Lo anterior se complementa con la revisión de la ocurrencia de estos en el pasado.

Para cada fenómeno se procedió con la siguiente metodología:

Remoción en masa

Se identificaron los depósitos de origen gravitacional y unidades de roca poco consolidada y susceptibles de ser removidos y transportados por eventos climáticos extremos, y particularmente aquellos que presenten una mayor probabilidad de ocurrencia de eventos de deslizamiento y de flujo de detritos por eventos de precipitación.

Eventos hidrológicos extremos

Sobre la base de la información existente de pluviometría de estaciones cercanas al área del Proyecto, además de registros históricos de alta precipitación, se estimaron los caudales superficiales susceptibles de generarse en el área de emplazamiento del Proyecto.

Actividad tectónica

Se recopiló la estadística histórica de ocurrencia de sismos de importancia en la Zona Norte del país, esto es desde la Región de Atacama hasta el sur de la República del Perú.

Actividad volcánica

Se procedió a identificar los centros volcánicos activos en el área de influencia del Proyecto, en base a las unidades geológicas identificadas, sus relaciones de contacto, estructuras y volcanismo activo. Posteriormente se recabó la información disponible de carácter público, que da cuenta de los antecedentes registrados sobre estos centros volcánicos activos.

Riesgo de maremoto

La identificación de la potencial ocurrencia de maremotos, está en la mayor parte de las veces asociada a sismos en zonas litorales. Por lo tanto se procedió a recopilar información histórica sobre la ocurrencia de estos fenómenos en las zonas litorales adyacentes al área ocupada por el Proyecto a fin de evaluar el riesgo por maremoto en el área de influencia directa, definiendo la cota máxima del área de inundación costera e identificando las zonas potencialmente comprometidas. Se revisaron los datos e informaciones de instituciones públicas de información referida al riesgo de maremotos que pudiera afectar el sector y analizar la incidencia sísmica (SHOA).

2.3.4.4 Resultados y Análisis

2.3.4.4.1 Geología

Producto de la compilación de los antecedentes geológicos levantados en la Hoja Tocopilla (IIG, 1978) y Hoja Calama (SERNAGEOMIN, 1984), ambas a escala 1: 250.000, se elaboró un mapa geológico y estructural integrado que cubre ampliamente el marco de las obras del Proyecto. Este mapa se muestra en la Figura 2.3-32 adjunta. Sobre esta base compilada se entregan los antecedentes geológicos y estructurales para el Sector Planta Desaladora y el Trazado del Acueducto entre Planta Desaladora y el Sector RT. Por otra parte, en la Figura 2.3-30 se muestra el mapa geológico en base a escala 1:50.000 complementario que aporta los antecedentes geológicos para los Sectores RT y Tranque Talabre.

A continuación se entrega la descripción de las unidades geológicas pertinentes a cada sector del Proyecto siguiendo la estructura definida para el presente informe, según la cual los sectores se identifican de acuerdo a la secuencia siguiente:

- Sector RT
- Sector Tranque Talabre
- Sector Planta Desaladora
- Sector Planta Desaladora – RT

Considerando que el ámbito geológico es el mismo para los sectores RT y Tranque Talabre, estos fueron analizados en forma conjunta, basándose en la información levantada a escala 1:50.000 por el SERNAGEOMIN durante los años 2000 al 2010. En la Figura 2.3-30 se muestra el mapa geológico resultante de la compilación efectuada en el marco de este estudio. Posteriormente, en la Figura 2.3-31 se presentan dos perfiles geológicos elaborados por la consultora Geohidrología, en el marco del estudio “Modelo de simulación Hidrogeológica Mina Radomiro Tomic” en el año 2011, los cuales representan parcialmente la geología subsuperficial del área del Proyecto.

Sectores RT y Tranque Talabre

Las unidades geológicas presentes en estos sectores varían entre el Cenozoico y el Paleozoico y son, de más reciente a más antigua, las siguientes:

Depósitos y cubiertas antrópicas: Suelos de uso agrícolas; depósitos artificiales mineros; depósitos de relaves; vertedero sanitario. Se le asigna a una edad Holoceno Superior.

Depósitos aluviales activos: Gravas y ripios polimícticos, arenas y limos no consolidados.; p) facies de depósitos de playa aluvial compuestos de arenas, limos y arcillas, no consolidados. Se le asigna a una edad Holoceno Superior.

Depósitos Activos Fluviales y de Ciénagas: Gravas, arenas, limos y arcillas, alfombras orgánicas, diatomitas y sínteres calcáreos. B) facies de llanuras y terrazas fluviales. Se le asigna a una edad Holoceno Superior.

Depósitos de deslizamiento: Megabloques con deslizamiento rotacional y depósitos caóticos de bloques, gravas y arenas asociados al cañón del río Loa. Se le asigna una edad Pleistoceno – Holoceno.

Depósitos antiguos Fluviales y de Ciénagas: Gravas, arenas, limos y arcillas, alfombras orgánicas, diatomitas y sínteres calcáreos, semiconsolidados y bien estratificados, expuestos en

terrazas incisas en el cañón del río San Salvador. Se le asigna una edad Pleistoceno Superior-Holoceno Superior.

Depósitos de derrumbe o colapso gravitacional: Depósitos caóticos de bloques, gravas y arenas, asociados al cañón del río Loa. Se le asigna una edad Pleistoceno – Holoceno.

Depósitos salinos: Corresponden a limos y arcillas de color generalmente pardo con delgadas y escasas intercalaciones de diatomitas, alto contenido de yeso y de cloruro de sodio, depositados en cuencas endorreicas pequeñas, situadas a altitudes variables entre 2.370 y 2.470 msnm. Se distribuyen en la parte central de la depresión del río Loa, constituyendo salares como el de Rudolph y Brinkerhoff, Salinas de Agua Verde, Salar del Indio y Salar de Talabre, estos dos últimos utilizados como sitios para la depositación de relaves de las minas de cobre adyacentes (3). Se le asigna una edad Pleistoceno Superior Alto- Holoceno.

Depósitos aluviales antiguos (Unidad Informal): Gravas y ripios polimícticos, arenas y limos no consolidados y mal seleccionados, en abanicos y paleocanales aluviales que disecan piedemontes antiguos y son cortados por drenajes aluviales activos. Incluyen las “Arenas aluviales antiguas”. Incluye a los depósitos de playa aluvial, compuestos por arenas, limos, arcilla, yeso. Se le asigna una edad Pleistoceno Superior alto – Holoceno Medio.

Formación Chiu Chiu: Secuencia sedimentaria clástica y calcárea de origen lacustre, moderadamente consolidada, compuesta por una secuencia de limos y arcillas, algo calcáreos, con intercalaciones lenticulares de diatomitas y yeso, que afloran alrededor de la localidad homónima y está superpuesta por discordancia angular sobre la Formación El Loa, de la cual formaba parte originalmente. La cubren parcialmente los sedimentos fluviales del río Loa y aluviales recientes. Sus características litológicas y su contenido fósil, sugieren para la Formación Chiu Chiu un ambiente de depositación de tipo lacustre de agua dulce o algo salobre, generado por la elevación y cierre de esta cuenca producto de la flexura de la Formación El Loa, previamente plegada. Se le asigna una edad Plioceno Superior alto-Pleistoceno Medio.

Depósitos de piedemonte: Gravas y ripios polimícticos, arenas y limos de mala selección y pobre consolidación. Se intercalan con tobas de ceniza de edad entre 9.7 y 2.8 Ma y engranan con depósitos de sinter calcáreo, compuesto por calizas cristalinas, bandeadas y laminadas, con cantidad variable de limonitas. Son disectados por depósitos aluviales activos y antiguos. d) facies de depósitos de derrumbe y coluvio del sector Quetena. Se le asigna una edad Mioceno Superior – Plioceno Superior.

Grupo el Loa (May et al., 2005 emend. Blanco, 2008): Secuencia sedimentaria clástica y química, bien estratificada, con fuertes cambios laterales y verticales de facies, depositada en la “antigua” cuenca Calama. Incluye las formaciones Opache, Chiquinaputo, Lasana y Jalquinche. Comprende un rango de edad entre Oligoceno – Plioceno Superior.

Formación Opache (May et al., 2005): Calizas palustres con restos de moluscos de agua dulce, calizas arenosas, areniscas y conglomerados calcáreos, travertinos y localmente diatomitas. Engrana lateralmente con facies aluviales. Se le asigna una edad Mioceno superior – Pleistoceno Superior.

Formación Chiquinaputo (May et al., 2005 emend. Blanco, 2008): Unidad clástica de conglomerados, areniscas y limolitas de origen fluvial efímero. Se le asigna una edad Mioceno Superior - Plioceno Superior bajo.

Formación Lasana (May et al., 2005 emend. Blanco, 2008): Unidad clástica de origen fluvial efímero y aluvio-palustre, compuesta por areniscas gruesas y conglomerados que engranan lateralmente con facies finas (de la Formación Jalquinche) en el centro de la cuenca. Se

subdivide en Miembro Talabre: Conglomerados finos, areniscas tobáceas, tobas, limolitas, areniscas calcáreas y carbonatos palustres; y Miembro Lloradero: Conglomerados y areniscas gruesas gris oscuras y subordinadamente limolitas rosadas. Se le asigna una edad Mioceno Medio –Mioceno Superior bajo.

Formación Jalquinche (May *et al.*, 2005): Areniscas finas y limolitas rosadas con intercalaciones subordinadas de evaporitas, depositadas en un ambiente de playa aluvial. Se le asigna una edad Mioceno Inferior – Mioceno Superior bajo.

Ignimbrita Sifón: Depósito de flujo piroclástico soldado, rico en cristales de plagioclasa, cuarzo, biotita, hornblenda y piroxeno subordinado. Se intercala en la Formación Chiquinaputo. Se le asigna una edad Mioceno Superior.

Formación Calama (Naranjo y Paskoff, 1981 *emend.* Blanco, 2008): Gravas y ripios polimícticos de moderada consolidación Formación Calama, Mcl (Naranjo y Paskoff, 1981): Unidad estratigráfica compuesta por gravas de origen torrencial y gravitacional, mal estratificadas, mal clasificadas y de consolidación moderada, con matriz arenosa gruesa. Conforman afloramientos restringidos y situados en el sector este y noreste de la ciudad de Calama, alcanzando hasta los 120 m de espesor. En Chuqui Norte y Mina Sur, la parte basal de estas gravas se encuentra cementada por yeso y por mineralización exótica de cobre (crisocola y atacamita). Esta unidad es correlacionable y/o incluye otras unidades anteriormente denominadas “grava Fortuna”, “grava Exótica”, depósitos de “Relleno Intermontanos” y “gravas de Chuqui Norte”. Se subdivide en Miembro Chorrillos: conglomerados gruesos y de bloques (clastos andesíticos, graníticos y en menor grado de calizas fosilíferas jurásicas y de metamórficos), subordinadamente areniscas gruesas y limolitas arenosas de guijarro; y Miembro Topater: ortoconglomerados de bloques (clastos de andesitas y brechas andesíticas propilitizadas) con intercalaciones de lavas andesíticas. Se le asigna una edad Eoceno – Oligoceno Inferior.

Formación Icanche (Maksaev, 1978): Secuencia principalmente volcánica, consistente en coladas andesíticas, brechas y aglomerados volcánicos, tobas líticas y de ceniza, domos y depósitos dacíticos de bloques y cenizas, y una menor proporción de rocas sedimentarias clásticas. Se le asigna una edad Eoceno Inferior a Medio bajo.

Formación Quebrada Mala (Montaño, 1976): Secuencia volcánica y sedimentaria de origen continental, subdividida en Miembro Superior: lavas de andesitas porfídicas y afaníticas y brechas monomícticas andesíticas; y Miembro Inferior: conglomerados medios a gruesos, con clastos de areniscas finas laminadas, andesitas y de guijarro y fangolitas café subordinadas. Se le asigna una edad Cretácico Superior alto – Paleoceno Inferior bajo.

Formación Cerro Empexa: Secuencia volcánica y sedimentaria de origen continental. Subdividida en Miembro Superior: lavas macizas de andesitas porfídicas, brechas monomícticas andesíticas, brechas piroclásticas de flujo y tobas finas subordinadas; y Miembro Inferior: brechas y conglomerados gruesos sedimentarios. Se le asigna una edad Cretácico Superior a ¿Paleoceno?.

Formación Tolar: Secuencia sedimentaria clástica rojiza de origen continental. Está subdividida en 5 miembros de los cuales en el área de estudio afloran el Miembro 2: areniscas, areniscas guijarrosas y limolitas, laminadas y bien estratificadas, con una delgada intercalación de toba dacítica hacia el techo de este miembro; y Miembro 3: conglomerados gruesos y de bloques pobre a moderadamente consolidados y mal estratificados. Se le asigna una edad Cretácico superior a Eoceno Inferior.

Formación Quehuita: Secuencia sedimentaria de origen principalmente marino en los niveles inferiores y de origen continental en los niveles superiores. Se subdivide en Unidad clástica

basal: conglomerados y areniscas; Miembro Inferior: calizas, calcilutitas, lutitas, areniscas calcáreas y calcarenitas con fósiles marinos; y Miembro Superior: areniscas, cuarzoarenitas, limolitas y fangolitas de origen continental fluvial. Se le asigna una edad Hettangiano - ¿Cretácico Inferior?.

Estratos de Cerros de Chuquicamata (Tomlinson y Blanco, 2008): Secuencia volcánica y sedimentaria continental, conformada por lavas y brechas andesíticas y subordinadamente dacitas, riolitas y niveles de conglomerados y areniscas volcanoclásticas. Se correlaciona con las “Volcanitas de Cerros Chuquicamata”. En los cerros de Chuquicamata y la pampa Grama se distinguen los siguientes miembros: a) facies de lavas macizas y andesitas; b) brechas volcánicas; c) conglomerados y areniscas rojizas; d) lavas, domos y cuerpos subvolcánicos. Se le asigna una edad Triásico Medio – Triásico Superior.

Formación Collahuasi (Vergara y Thomas, 1984): Secuencia principalmente volcánica, de aspecto macizo y mal estratificado. Está subdividida en 3 miembros: a) lavas y brechas andesíticas; r) lavas riolíticas de biotita con ojos de cuarzo y bandeamiento de flujo; y s) rocas sedimentarias tales como areniscas cuarcíferas, areniscas finas y limolitas laminadas, entre otras. Se le asigna una edad Carbonífero Superior – Pérmico.

Las unidades intrusivas presentes en el área abarcan una amplia variedad composicional y sus edades van entre el Eoceno y el Paleozoico. Estas unidades son las siguientes:

Granitoides del Eoceno: Abarcan los siguientes cuerpos intrusivos:

- Complejo Intrusivo Chuquicamata (Eoceno Superior – Oligoceno Inferior; 36-31 Ma): De composición granodiorítica y granítica, incluye al Pórfido Este, Pórfido Oeste y Pórfido banco, entre otros.
- Complejo Granodiorítico Fortuna (Eoceno medio-Alto; 40-37 Ma): De composición principalmente granodiorítica.
- Pórfido San Lorenzo (38-37 Ma): De composición monzodiorítica y granodiorítica y de edad Eoceno Superior.
- Aplitas graníticas y Pórfidos Aplíticos Tetera (Eoceno Superior; 39-37 Ma): Aplitas diques, apófisis y cuerpos irregulares de pórfidos aplíticos y graníticos.
- Granodiorita Fiesta (Eoceno Superior; 39-37 Ma): Granodiorita leucocrática de biotita y hornblenda.
- Granodiorita Antena (Eoceno Superior; 40-39 Ma): Granodiorita gris de hornblenda y biotita.
- Monzodiorita cuarcífera Atahualpa (Eoceno Medio; 42,7 ± 1,2Ma): Monzodiorita cuarcífera de biotita, hornblenda y piroxeno, inequiangular de grano medio.
- Complejo diorítico Los Picos (Eoceno Medio; 45-43 Ma): Compuesto por varios cuerpos de composición monzonítica a monzodiorítica.
- Pórfidos dioríticos (Eoceno): Pórfidos dioríticos de piroxeno, biotita y hornblenda, con fenocristales de plagioclasas, piroxeno y escasa hornblenda.

Granitoides del Cretácico Superior: Abarcan los siguientes dos cuerpos intrusivos:

- Diorita Quebrada Paqui (Cretácico Superior – Eoceno Inferior; 68-65 Ma): Diorita melanocrática de hornblenda y piroxeno.

- Pórfidos Hipabisales y Diques del Cretácico Superior: Formada por el miembro de stocks y diques de pórfido microgranodiorítico-dacítico de hornblenda y por el miembro de diques y cuerpos filonianos de pórfido riolítico.

Granitoides del Triásico: Compuesto por diques de pórfido micromonzodiorítico de hornblenda, cuerpos irregulares y diques de pórfido granodiorítico de hornblenda, granodioritas de biotita y hornblenda, granito de biotita y hornblenda con variaciones a granodiorita.

Granitoides Paleozoico: Abarcan los siguientes cuerpos intrusivos:

- Granodiorita Cerro Platero (Carbonífero Superior – Triásico Medio; 206 ± 7Ma): Granodiorita de biotita, equigranular, de grano medio a grueso, biotitas cloritizadas, intruida por diques de pórfidos dacíticos.
- Complejo metaplutónico de Cerros de Chuquicamata (Marinovic y Lahsen, 1984): Incluye las facies d) Dioritas y metadioritas anfibólicas constituidas principalmente por dioritas y dioritas cuarcíferas de hornblenda y biotita, localmente gnéicas; y las facies g) monzogranitos y metagranitos leucocráticos, rosados, de microclina y biotita, de grano medio a grueso. Su edad se extiende en el periodo Carbonífero Superior – Pérmico.
- Granito Mesa (Carbonífero Inferior): Monzogranito grueso de microclina y biotita: granitos de grano grueso, de color gris claro a rosado que afloran al oeste del área del tranque Talabre.

Las relaciones estructural-estratigráficas reconocidas en la subsuperficie de la cuenca de Calama por medio de líneas geofísicas en conjunto con otros estudios estratigráficos, sugieren el desarrollo de un sistema de hemigrábenes durante una fase de extensión o transtensión en la cuenca ocurrida en el Oligoceno, acumulándose una unidad de carácter aluvial correspondiente a la Formación Yalqui (que sólo aflora fuera del área de estudio). Finalizada esta subsidencia, continuaron acumulándose en el depocentro de la cuenca, secuencias de facies de llanura aluvial y de playa evaporítica (Fm. El Yeso y Fm. Jalquinche) y posteriormente durante el Mioceno Medio a Superior se activó un sistema de abanico fluvial (Fm. Lasana) proveniente desde el NNE, siguiendo en parte el actual curso del río Loa pero inserto dentro de condiciones endorreicas. Un suave plegamiento de carácter local afectó estas unidades sedimentarias, producto de una reactivación de una falla que conformaba el límite de este hemigraben. Posteriormente, durante el Plioceno Superior-Pleistoceno se desarrolló otro evento deformacional de tipo tectónica salina en el centro de la cuenca, dando origen a un dominio de plegamiento y al sinclinal Loa –Salado. Este tipo de deformación estructural se debió a la disolución de niveles salinos asociados a las formaciones El Yeso, Jalquinche o Yalqui, gracias a la existencia de niveles freáticos someros que están evidenciados por las facies palustres con sedimentación carbonática de la Formación Opache. Este evento habría provocado un cambio en el régimen de flujo de agua subterránea en la cuenca de Calama, desde uno de tipo endorreico a uno exorreico, permaneciendo algunas pequeñas cuencas endorreicas en el margen occidental del área donde durante el Pleistoceno-Holoceno Medio se formaron depósitos salinos como el Salar Talabre y el Salar Rudolph entre otros (Blanco y Tomlinson, 2009).

Por otra parte, el elemento estructural más relevante dentro de estos dos sectores corresponde a la falla Oeste. Ésta se ubica al oeste del área de estudio, en los cerros que componen la Sierra del Medio y ha sido sugerida como parte de un lineamiento mayor que se extiende entre Quebrada Blanca por el norte y el Salar de Punta Negra por el sur. En el yacimiento Chuquicamata, la falla Oeste pone en contacto Pórfido Chuqui con la Granodiorita Fortuna y desarrolla una zona milonitizada y fracturada de hasta 150m de ancho. Respecto a las

direcciones y magnitudes de movimientos de esta falla, en la parte norte se han observado efectos de desplazamientos en donde el bloque oriental ha ascendido en relación con el bloque occidental. En el sector de Mina Sur, por otra parte, se han comprobado los efectos de movimientos horizontales con desplazamiento sinistral, de aproximadamente 4 Km. Asociada a la Falla Oeste, en la mina Chuquicamata se han reconocido varios sistemas de fallas secundarias y otras paralelas a ella, relevantes en el control de la mineralización primaria y secundaria de este yacimiento. Se considera que esta falla continúa activa hasta el presente.

La falla Estanques Blancos, ubicada en los cerros de Chuquicamata, constituye otro elemento estructural de importancia. Corresponde a una falla normal, casi vertical, de rumbo NE-SW y de unos 12 Km de extensión. Esta falla afecta al Pórfido Chuqui y a su vez, aparentemente, es afectada por los últimos movimientos de la Falla Oeste.

En el sector RT, Leiva *et al* (2000) han descrito una serie de estructuras observadas dentro del rajo, algunas de las cuales son consideradas pertinentes para el área de estudio. Estas son:

Sistema Kala: Zona de falla de orientación aproximada N-S, subverticales y que generan una serie de bloques escalonados en el centro del rajo. Sobre la base de su posición relativa a la Falla Oeste, es probable que este sistema de falla esté asociado con aquel.

Sistema Ckaari: Fallas subverticales situadas en la pared este del rajo, de dirección N-S con manteo entre 80 y 90 hacia E y W, lo que las asemeja al sistema anterior.

Sistema Kalatche: Fallas de gran extensión longitudinal con un rumbo variable entre N 62°E y N 38°E y manteo de 66° a 86° E. Según Niemeyer (1998), las estructuras NE representarían fallas dextrales de tipo R limitadas entre las fallas Puri (al oeste) y Cari (al este), lo que restringiría espacialmente el desarrollo de este sistema de fallas. Por otra parte, una falla distrital, de rumbo similar N 80°E, está registrada unos 3 km al norte del rajo.

Sistema Sima: Fallas de trazas discontinuas y de escaso relleno de 5-10 cm. Rumbo y manteo general N 60°W / 60°SW. Se reconocen ampliamente en el sector norte del rajo RT.

Sistema Ckalal: Sistema de fallas con rumbo E-W y manteo de 70° tanto al N como el S. Este sistema controla los paleocanales con mineralización exótica de cobre y se reconocen al norte y sur del rajo, pudiendo desarrollarse más hacia el norte.

Sistema Mesabi: Este sistema se desarrolla al este y fuera del rajo. Es una falla de movimiento inverso con un trazado sinuoso de dirección general N 45°E. El bloque norte se observa alzado (Tomlinson y Blanco, 2008).

Sistemas Puri y Tarar: Reconocidos en el sector NW del rajo, de rumbos 10°-30° E y manteo 40°-80°E. Las fallas del Sistema Tarar tienden a ser más subverticales y de espesor más variable y potente.

Hacia el noroeste del Tranque Talabre se reconoce un lineamiento estructural de dirección NE-SW, que conforma el límite entre los afloramientos calcáreos de la Formación El Loa y los depósitos no consolidados holocenos (Marinovic y Lahsen, 1984). La traza de este lineamiento coincide en parte con el curso del río Salvador, cerca de los cerros de Quetena y es paralelo con las fallas Central y Estanques Blancos, situadas más al norte, por lo que podría representar una estructura de falla similar, de tipo normal y plano vertical, oculta bajo la cubierta sedimentaria.

Las siguientes figuras presentan (Figura 2.3-30 y Figura 2.3-31) los mapas y perfiles geológicos, respectivamente.

Figura 2.3-30. Mapa Geológico Sectores RT y Tranque Talabre

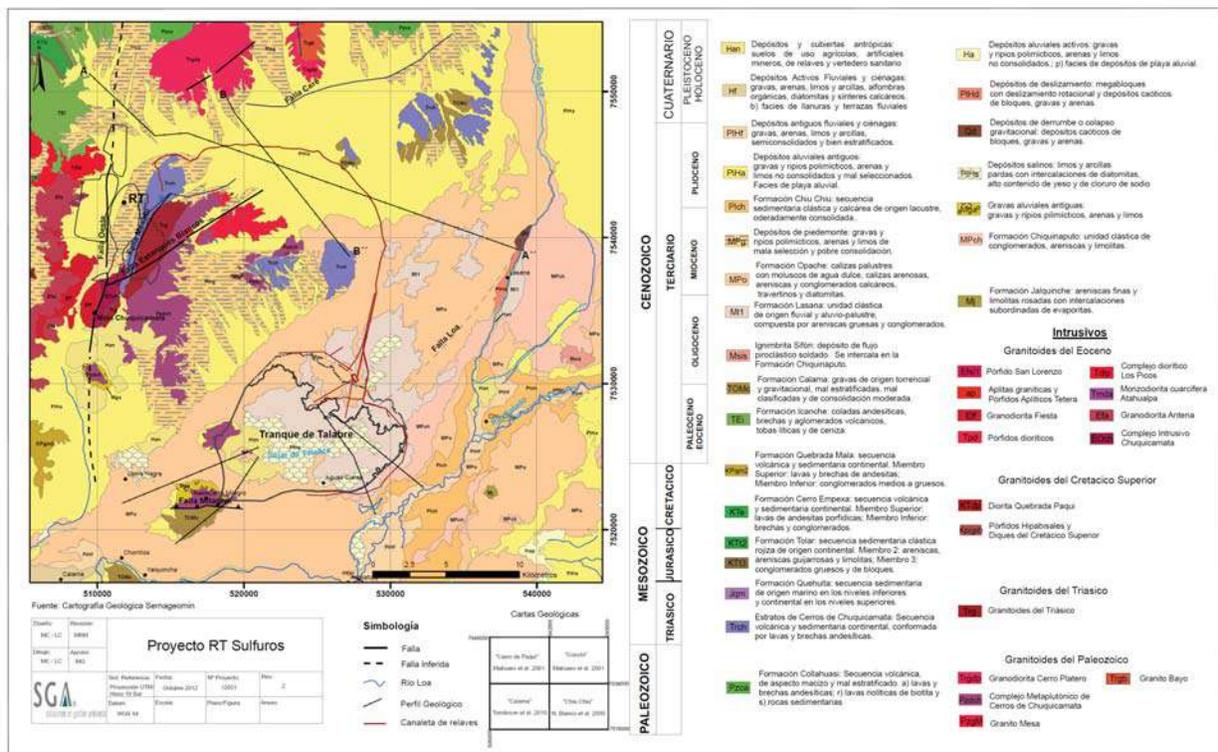
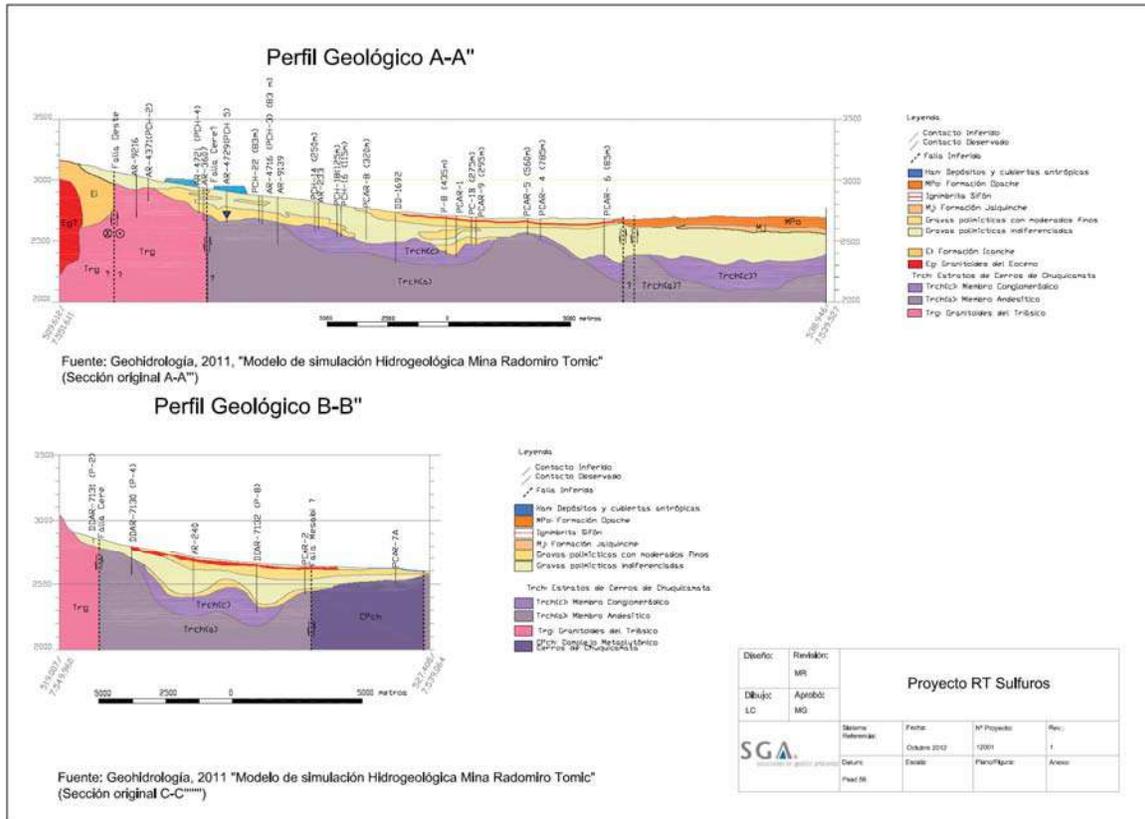


Figura 2.3-31. Perfiles Geológicos en Sector RT



Fuente: Geohidrología, 2011

Sector Planta Desaladora

Las instalaciones de la planta desaladora proyectadas construir en el sector denominado km 14, quedarán asentadas sobre terrenos constituidos por depósitos de edad holocena, pobremente consolidados a no consolidados, compuestos por sedimentos de granulometría variada que conforman un amplio abanico aluvial ubicado entre Punta Blanca y Punta Agua Dulce, a los pies de los Cerros de Atala. Estos depósitos se elevan desde la línea de costa, dispuestos sobre los roqueríos allí existentes, hasta una altura de aproximadamente 100m, en la parte más distante de las instalaciones, a aprox. 850m de la línea de mareas.

Tanto los roqueríos mencionados como los cerros circundantes, corresponden a afloramientos asignados a la Formación La Negra (García, 1967), de edad Jurásico (Sinemuriano a Kimmeridgiano), compuestos por lavas andesíticas porfídicas y afaníticas. Estos conforman un alto macizo o farellón costero, que se eleva hasta cerca de los 1200m de altitud. Esta secuencia se encuentra intruida por granodioritas y dioritas de grano grueso a medio, de edad Cretácico Medio, las que probablemente afloran de manera puntual y restringida en la ladera situada al noreste de las instalaciones.

No se reconoce un patrón estructural relevante en el sector correspondiente a Planta Desaladora, por cuanto ella está ubicada sobre una cobertura sedimentaria conformada por depósitos de tipo aluvial y coluvial modernos, que cubren toda expresión superficial que pudiera asociarse con estructuras geológicas. Poco más al este y ya fuera del área de la planta, las estructuras y lineamientos regionales reconocidos son indicados en la sección siguiente, para el sector correspondiente a la línea de impulsión.

Sector Planta Desaladora - RT

El trazado definido para la línea de impulsión atraviesa una amplia diversidad de terrenos y tipos litológicos, donde los primeros 30 km, de oeste a este, corresponden en general a formaciones volcánicas e intrusivas del mesozoico que conforman la denominada Cordillera de la Costa. Un tramo central de 50 km de longitud, que bordea la ruta 24, se desarrolla sobre depósitos recientes en la Pampa del Tamarugal. Finalmente, la última etapa del trazado, cruza terrenos que varían entre rocas sedimentarias terciarias hasta intrusivos de edad paleozoica. La Tabla 2.3-72 indica de manera secuencial, las unidades geológicas que este trazado va cubriendo en sus aproximadamente 160 Km de extensión, iniciando su recorrido en la planta desalinizadora (Km 0). El trazado de estas obras y su inserción en el marco geológico son entregados en la Figura 2.3-32.

La siguiente figura (Figura 2.3-32) presenta el mapa geológico de los sectores Planta Desaladora y Planta Desaladora-RT; mientras que la Tabla 2.3-72 presenta las unidades geomorfológicas del sector Planta Desaladora-RT.

Figura 2.3-32. Mapa Geológico y Estructural Sector Planta Desaladora y Sector Planta Desaladora-RT

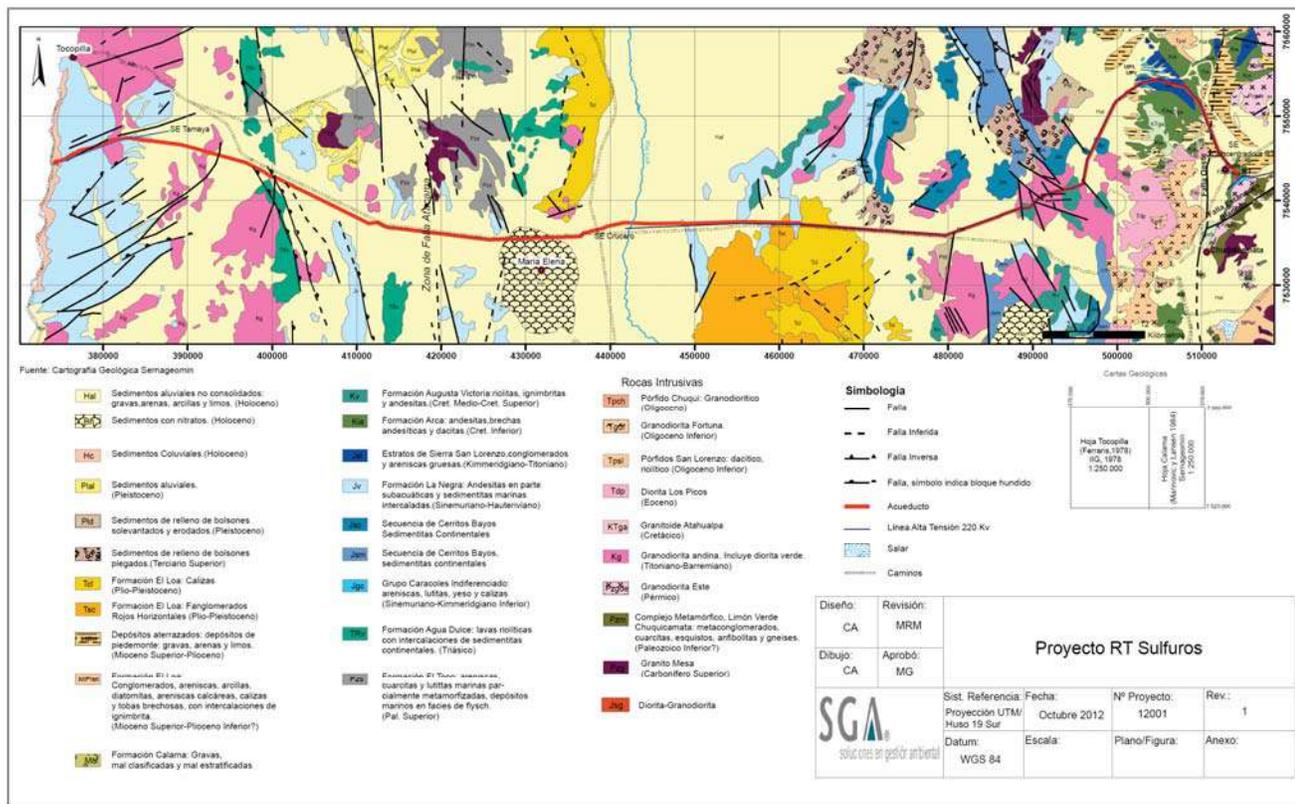


Tabla 2.3-72. Unidades Geológicas Presentes en Sector Planta Desaladora-RT

Tramo (Km)	Unidad Geológica	Símbolo	Carácter
0 – 0,9	Sedimentos coluviales	Hc	Sedimentario no consolidado
0,9 – 6,23	Fm. La Negra	Jv	Volcánico y sedimentario
6,23 – 8,33	Granodiorita andina	Kg	Intrusivo
8,33 – 12,25	Fm. La Negra	Jv	Volcánico y sedimentario
12,25 – 18,35	Sedimentos aluviales	Hal	Sedimentario no consolidado
18,35 – 19,4	Granodiorita andina	Kg	Intrusivo
19,4 – 56,3	Sedimentos aluviales	Hal	Sedimentario no consolidado
56,3 – 61,9	Sedimentos con nitratos	Hn	Sedimentario semi consolidado
61,9 – 84,23	Sedimentos aluviales	Hal	Sedimentario no consolidado
84,23 – 84,56	Formación La Negra	Jv	Volcánico y sedimentario
84,56 – 89,11	Sedimentos aluviales	Hal	Sedimentario no consolidado
89,11 – 90,33	Fm. El Loa, miembro calcáreo	Tsc	Calcáreo
90,33 – 91,72	Formación La Negra	Jv	Volcánico y sedimentario
91,72 – 96,68	Sedimentos bolsones plegados	Td	Sedimentario semi consolidado
96,68 – 117,6	Sedimentos aluviales	Hal	Sedimentario no consolidado
117,6 – 118,42	Granodiorita andina	Kg	Intrusivo
118,42 – 119,82	Formación Augusta Victoria	Kv	Volcánico
119,82 – 124,19	Granodiorita andina	Kg	Intrusivo
124,19 – 125,99	Formación Augusta Victoria	Kv	Volcánico
125,99 – 126,70	Granodiorita andina	Kg	Intrusivo
126,70 – 137,13	Sedimentos aluviales	Hal	Sedimentario no consolidado
137,13 – 138,65	Depósitos aterrazados	Mplt	Sedimentario semi consolidado
138,65 – 140,44	Sedimentos aluviales	Hal	Sedimentario no consolidado
140,44 – 141,55	Grupo Caracoles	Jgc	Sedimentario y calcáreo
141,55 – 147,73	Estratos de Sierra San Lorenzo	Jsl	Sedimentario
147,73 – 149,95	Formación Arca	Kia	Volcánico
149,95 – 151,16	Depósitos aterrazados	Mplt	Sedimentario semi consolidado
151,16 - 157,92	Sedimentos aluviales	Hal	Sedimentario no consolidado
157,92 – 160	Formación Arca	Kia	Volcánico

Las unidades arriba indicadas son detalladas a continuación, junto con otras unidades geológicas presentes en el área, desde la más antigua a la más nueva.

Granodiorita Este Pzqde: Corresponde a la unidad geológica más antigua y una de las más distales, dentro del trazado del acueducto, ubicándose al este de las minas de Chuquicamata y de Radomiro Tomic. Este cuerpo de composición granodiorítica y de color claro, conforma una franja alongada con una dirección NNE. Dataciones radiométricas (K-Ar) le asignan un rango de edad entre 240 ± 25 Ma y $122 \pm 3,8$ Ma, esta última edad correspondiente a otra unidad intrusiva (Granodiorita Elena) la cual se considera un rejuvenecimiento del mismo cuerpo, producido por el efecto termal de la intrusión del Pórfido Chuqui. Esto le otorga entonces una edad mínima pérmica.

Formación La Negra Jv (García, 1967): Corresponde a una secuencia de lavas de composición andesítica y texturas porfíricas y afaníticas, de ambiente continental, distribuidas en una franja discontinua en la Cordillera de la Costa y en afloramientos aislados, al este de la Pampa del Tamarugal. En la Cordillera de la Costa, las lavas andesíticas adquieren en parte texturas brechosas y amigdaloidales. En los afloramientos más orientales, las andesitas de color negro y café, son en parte amigdaloidales, bien estratificadas y contienen horizontes tobáceos. La disposición estructural reconocida en los afloramientos de cerros de Atala, en la Cordillera de la Costa, se aproxima a la dirección N 20°W con inclinación de 30° al este. Sobre la base de sus relaciones de contacto con otras formaciones, para la Formación La Negra se puede establecer rango de edad Sinemuriano-Kimmeridgiano para la parte occidental de la formación y post Kimmeridgiano - Hauteriviano para la parte oriental de la formación. Lo anterior demuestra la migración hacia el este de los focos de actividad magmática.

Formación Agua Dulce Trv (García, 1967): Secuencia compuesta por conglomerados, areniscas, tobas, lavas riolíticas y andesíticas y puntualmente sedimentitas continentales cuarcíferas intercaladas en las riolitas (Sector Pampa del Miraje). Se les asigna una edad preliásica, probablemente triásica y se infiere que fueron depositadas en un ambiente continental.

Grupo Caracoles Indiferenciado Jgc (Ramírez y Gardeweg, 1982): Se denomina Grupo Caracoles a una secuencia de rocas sedimentarias marinas, compuesta por areniscas, lutitas, yeso y calizas, dispuesta concordantemente entre la Fm. Agua Dulce y los Estratos de Sierra de San Lorenzo, lo que junto con las dataciones de su fauna fósil permiten asignarle una edad comprendida entre el Sinemuriano medio y el Kimmeridgiano inferior. El Grupo Caracoles ha sido correlacionado cronológicamente con la Fm. La Negra y litológicamente y cronológicamente con la secuencia jurásica de Cerritos Bayos. El ambiente de sedimentación de esta secuencia es de tipo marino litoral o infralitoral, en la que la línea de costa del mar Jurásico (cuenca tras-arco) se desplazaba gradualmente de oeste a este, hasta retirarse definitivamente en el Jurásico Superior, regresión evidenciada por la depositación de yeso en esta época.

Estratos de Sierra San Lorenzo Jsl (Marinovic y Lahsen, 1984): Unidad informal correspondiente a una secuencia sedimentaria de carácter clástico, compuesta por conglomerados y areniscas gruesas, de colores rojizo y gris, dispuesta concordantemente sobre la secuencia del Grupo Caracoles e infrayaciendo con aparente concordancia a la Fm. Arca, lo que permite asignarle una edad comprendida en el rango Kimmeridgiano –Titoniano. Los Estratos de Sierra San Lorenzo son correlacionables con la Formación Cerritos Bayos, situada más al oeste y dado su carácter clástico grueso, sería el resultado de procesos de sedimentación aluvial en ambiente continental.

Secuencia de Cerritos Bayos Jsc / Jsm (Biese, 1961): Secuencia sedimentaria de aproximadamente 2000m de espesor, constituida por calizas y margas (Jsm), que por su contenido fósil son asignadas al rango Lías-Kimmeridgiano. En el techo contiene una secuencia clástica continental de edad Titoniano (Jsc). La secuencia calcárea se formó a lo largo de tres ciclos marinos sucesivos, dentro de los cuales, entre el segundo y tercer ciclo (Batoniano-Kimmeridgiano Inferior) existe una interrupción representada por un horizonte de yeso, conocido como “yeso principal”, la que en la zona de Cerritos Bayos sólo está representada por la depositación de calizas y margas que denotan una facies litoral.

Formación Augusta Victoria Kv (García, 1967): Corresponde a una secuencia de lavas andesíticas, brechas volcánicas e ignimbritas, de cerca de 2000m de espesor total, de edad asignada al Cretácico Medio a Superior. Hacia el este, la Formación Augusta Victoria incorpora en su parte superior coladas de carácter riolítico, con textura ignimbrítica a brechosa.

Formación Arca Kia (Maksaev, 1978): Está compuesta por un Miembro Inferior de tipo sedimentario-volcánico y un Miembro Superior netamente volcánico, andesítico, dispuesta concordantemente sobre los estratos de Sierra San Lorenzo. Incluye además una secuencia de rocas volcánicas de composición riolítica y dacítica, con intercalaciones andesíticas, expuestas principalmente en los alrededores de Cerro Bayo. Por su posición estratigráfica y por estar afectada por intrusiones de edad aproximada a los 68 m.a., se le ha asignado a esta formación una edad Cretácico Inferior. Su composición litológica denota un ambiente depositacional continental, con volcanes activos aislados, separados por cuencas de depositación intermontanas.

Granodiorita Andina Kg: Corresponde a un conjunto de granodioritas y dioritas de grano medio a grueso, de edades comprendidas entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior, para el sector de la Cordillera de la Costa, que hacia el oriente evoluciona a una edad más moderna, presumiblemente cretácica-terciaria. En la Cordillera de la Costa intruyen a las rocas volcánicas de la Formación La Negra, mientras que hacia el este intruyen a las secuencias marinas y continentales de Cerritos Bayos.

Formación El Loa Tsc / Tcl (Fuenzalida, 1957): Está constituida por rocas sedimentarias clásticas continentales en la base (Tsc) y calizas lagunares en la parte superior (Tcl), con fauna de agua dulce, ampliamente distribuidas en las inmediaciones del río Loa. Por su contenido de fauna fósil se les ha asignado una edad Plioceno –Pleistoceno Inferior.

Diorita Los Picos Tdp (Thomas, 1978): Este cuerpo intrusivo, de composición diorítica y de color gris, aflora en los cerros situados al oeste y noroeste de las minas de Chuquicamata y Radomiro Tomic, extendiéndose hacia el sur hasta el sector de Quetena. Su edad, datada mediante radiometría K-Ar, es $45,1 \pm 1,8$ Ma, lo que la acota a una edad mínima Eoceno.

Sedimentos de relleno de bolsones plegados Td (Thomas, 1978): Corresponden a los depósitos de relleno más antiguos, consistentes en gravas y arenas compactadas y que presentan cierta deformación tectónica producida durante el Terciario Superior, lo cual acota su edad al Terciario.

Sedimentos de relleno de bolsones solevantados y erodados Pld (Thomas, 1978): Corresponden a acumulaciones de sedimentos similares a los anteriores, gravas y arenas, que aparecen solamente solevantados y parcialmente erodados, razón por la cual son considerados más modernos que los anteriores, con una edad Pleistoceno.

Depósitos aterrizados Mpld (Marinovic y Lahsen, 1984): Agrupan sedimentos de granulometría variable, mal estratificados y moderadamente consolidados, que se distribuyen en los sectores de Pampa Chuquicamata y Sierra del Medio y más al sur, alrededor de la quebrada de Los Arrieros. Estos corresponden a depósitos de piedemonte, constituidos por gravas, arenas y limos, que alcanzan un espesor aproximado a los 20 m y se encuentran afectadas por fallamiento, lo cual sugiere mayor antigüedad respecto de otros depósitos poco consolidados. Su edad tentativa es Mioceno Superior-Plioceno. Esta unidad ha sido definida al este de la coordenada UTM E 500.000 m y puede ser correlacionada total o parcialmente con las dos unidades antes descritas (Td y Pld).

Sedimentos aluviales no consolidados Hal (Alfaro, 1972): Consisten en depósitos de gravas, arenas y limos, a veces cementados por sales, que cubren bastamente las pampas que se extienden entre las Cordilleras de la Costa y la de Domeyko, por el este. Tienen composición polimíctica y ocasionalmente desarrollan paisajes conocidos como “Pavimento del Desierto”, en donde destacan numerosos bloques y bolones de grandes dimensiones. También en ocasiones conforman cuerpos restringidos compuestos por sedimentos finos (limos y arcillas), conocidos comúnmente como “chusca”.

Sedimentos coluviales no consolidados Hc (Alfaro, 1972): Corresponden a depósitos recientes ubicados a los pies de los cerros que conforman la Cordillera de la Costa, compuestos por gravas, arenas y otros materiales de tamaño grueso. Incorpora a aquellos sedimentos que constituyen conos de derrubio, abanicos aluviales y otros de origen gravitacional.

Sedimentos con nitratos Hn (Ferraris, 1978): Forman parte del grupo de sedimentos recientes (Holocenos), en este caso de mediana a fuerte consolidación, otorgada por la alta concentración de sales de nitrato (conocido como “caliche”), explotados en las inmediaciones de la oficina salitrera de María Elena, al norte de la cual cruza el trazado del acueducto.

Respecto de las estructuras geológicas de este sector, a lo largo del trazado de la línea de impulsión los lineamientos regionales principales pueden ser resumidos de acuerdo a lo siguiente (ver Figura 2.3-32):

Tramo 0 – 21,5 Km: Entre el litoral costero y la coordenada UTM 395.000 E, aproximadamente, se observan lineamientos según dirección aproximada N 60° E y N 40° E, algunas de ellas correspondientes a fallas de movimiento normal, con caída del bloque oriental.

Tramo 21,5 – 48,5 Km: Este segmento, que se extiende lateralmente hasta la coordenada UTM 420.000 E, aproximadamente, se caracteriza por la presencia de la Zona de Falla Atacama, la que en esta porción muestra una dirección norte-sur. Esta zona de falla o megafalla, es la expresión de los movimientos globales de expansión y convergencia de la placa sudamericana, los que durante el Neocomiano producen esta zona de debilidad cortical ligada posiblemente a movimientos extensionales, en el límite oriental del arco volcánico entonces activo y al oeste de la cuenca de tras-arco asociada. Esta fractura vertical experimenta una inversión tectónica a fines del Cretácico Inferior, producto de un cambio en el régimen tectónico a un tipo “high stress”, con lo cual varía su movimiento a uno de tipo transcurrente horizontal de tipo sinistral. Esta zona de falla se mantiene activa, habiéndose evidenciado movimientos en las cercanías del Salar del Carmen, con una tasa de desplazamiento de alrededor de 0,01 mm/año. En este segmento se desarrolla además, un conjunto de lineamientos de dirección N 20° W, conjugados respecto de la zona de falla principal, de dirección N-S, algunas de las cuales corresponden a fallas normales.

Tramo 48,5 – 84Km: El extenso desarrollo de una cobertura sedimentaria reciente en esta porción de la Pampa del Tamarugal, no permite la identificación de lineamientos estructurales, siendo el único rasgo característico del tipo morfológico por el desarrollo del cauce del río Loa, el cual varía su curso en este segmento, desde una dirección este-oeste a una dirección norte-sur, con drenaje hacia el norte.

Tramo 84 – 160 Km: En este segmento final del trazado del acueducto, destaca la presencia de un bloque morfológico elevado, denominado Sierra del Medio, el cual está limitado al oeste por un sistema de fallas inversas y al este por un lineamiento de carácter regional, el cual controla el curso superior del río Loa. En el centro, este macizo o Sierra del Medio, está dividido de norte a sur por una falla de dimensiones regionales conocida como Falla Oeste. Esta falla ha sido sugerida como parte de un lineamiento mayor que se extiende entre Quebrada Blanca por el norte y el Salar de Punta Negra por el sur. Se estima que esta falla existió antes de la intrusión del Pórfido Chuqui y que habría controlado además el emplazamiento de los pórfidos cupríferos de El Abra y Quebrada Blanca. En el yacimiento Chuquicamata, la falla Oeste pone en contacto al Pórfido Chuqui con la Granodiorita Fortuna y desarrolla una zona milonitizada y fracturada de hasta 150 m de ancho. Respecto a las direcciones y magnitudes de movimientos de esta falla, en la parte norte se han observado efectos de desplazamientos en donde el bloque oriental ha ascendido en relación con el bloque occidental. En el sector de Mina Sur, por otra parte, se han comprobado los efectos de movimientos horizontales con desplazamiento sinistral, de

aproximadamente 4 Km. Asociada a la Falla Oeste, en la mina Chuquicamata se han reconocido varios sistemas de fallas secundarias y otras paralelas a ella, relevantes en el control de la mineralización primaria y secundaria de este yacimiento. Se considera que esta falla continúa activa hasta el presente. La falla Estanques Blancos, ubicada en los cerros de Chuquicamata, constituye otro elemento estructural de importancia. Corresponde a una falla normal, casi vertical, de rumbo NE - SW y de unos 12 Km de extensión. Esta falla afecta al Pórfido Chuqui y a su vez, aparentemente, es afectada por los últimos movimientos de la Falla Oeste.

En el distrito RT, Leiva et al (2000), han descrito una serie de estructuras observadas dentro del rajo, entre las cuales el sistema denominado Kalatche toma importancia sobre la ubicación del reservorio. Este sistema se compone de fallas de gran extensión longitudinal con un rumbo variable entre N 62° E y N 38° E y manteo de 66° a 86° E. Tienen un espesor entre 0,5 y 2 m con relleno de cuarzo y limonitas. Se identifican en la zona central de la mina RT y considerada su orientación general, se infiere que su proyección se aproxima al sector del reservorio.

2.3.4.4.2 Geomorfología

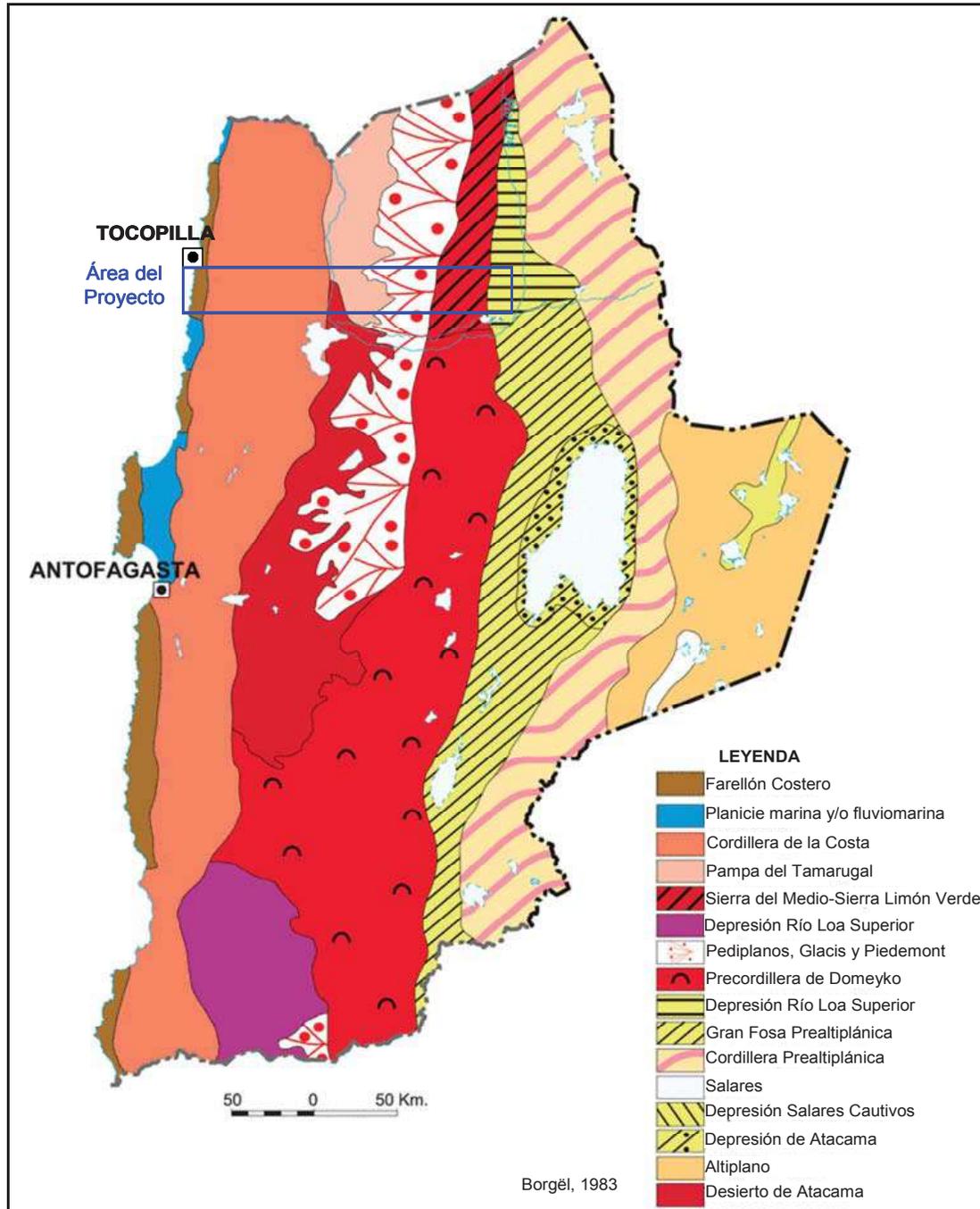
La región de Antofagasta se encuentra dentro de la agrupación regional definida como “Región septentrional de las pampas desérticas y cordillera prealtiplánicas” (Börgel, 1983), donde se reconocen 10 unidades geomorfológicas con dirección N-S, fácilmente diferenciables (Figura 2.3-33), las cuales son:

- (i) Planicie Litoral: Se encuentran poco desarrolladas y presentes en algunos sectores.
- (ii) Farellón costero: Se levanta desde las incipientes planicies litorales hasta alturas cercanas a los 1000 msnm.
- (iii) Cordillera de la Costa: Alta y bien formada, con alturas superiores a los 1000 m, registrándose las mayores alturas en esta región del país.
- (iv) La Gran Pampa Central Desértica: Bien definida, en forma de plano inclinado y asciende de suroeste a noroeste, ocupada en gran parte por el desierto de Atacama.
- (v) Pediplanos y los sistemas de Glacis o Piedemont: Forma topográfica de pendiente longitudinal comprendida entre 1-5%, sin pendiente lateral; originadas por dislocaciones tectónicas durante el plioceno (Quezada *et al*, 2010).
- (vi) Sierra del Medio-Sierra Limón Verde: Cordón montañoso con alturas entre 2.700 y 4.500 m, que ha sido disectado por el río Loa
- (vii) Depresión del Río Loa: Llanura cuya altura media varía entre 2.300 y 3000 m s.n.m, alcanzando un ancho máximo de aproximadamente 50 km.
- (viii) Cordillera de Domeyko: Cordón montañoso continuo de 3.300 a 4.000 m de altura, con dirección NNE.
- (ix) Precordillera: Meseta de 4.000 msnm, que asciende según un plano inclinado hacia la cordillera de Los Andes.
- (x) Cordillera de Los Andes: Cadena Volcánica de orientación norte-sur a noroeste, que alcanza hasta los 5.971 msnm.

De las unidades geomorfológicas antes mencionadas, la Planicie Litoral; el Farellón Costero; la Cordillera de la Costa; La Gran Pampa Desértica; los pediplanos y los sistemas de glacis o

pedemonte, la Sierra del Medio-Sierra Limón Verde y la Depresión del Río Loa, serán las unidades geomorfológicas directamente involucradas en el Proyecto RT Sulfuros, cuyas características serán descritas por los sectores en donde están presentes las obras del Proyecto.

Figura 2.3-33. Geomorfología Región de Antofagasta



Fuente: Modificado de Instituto Geográfico Militar (2010)

Sector RT

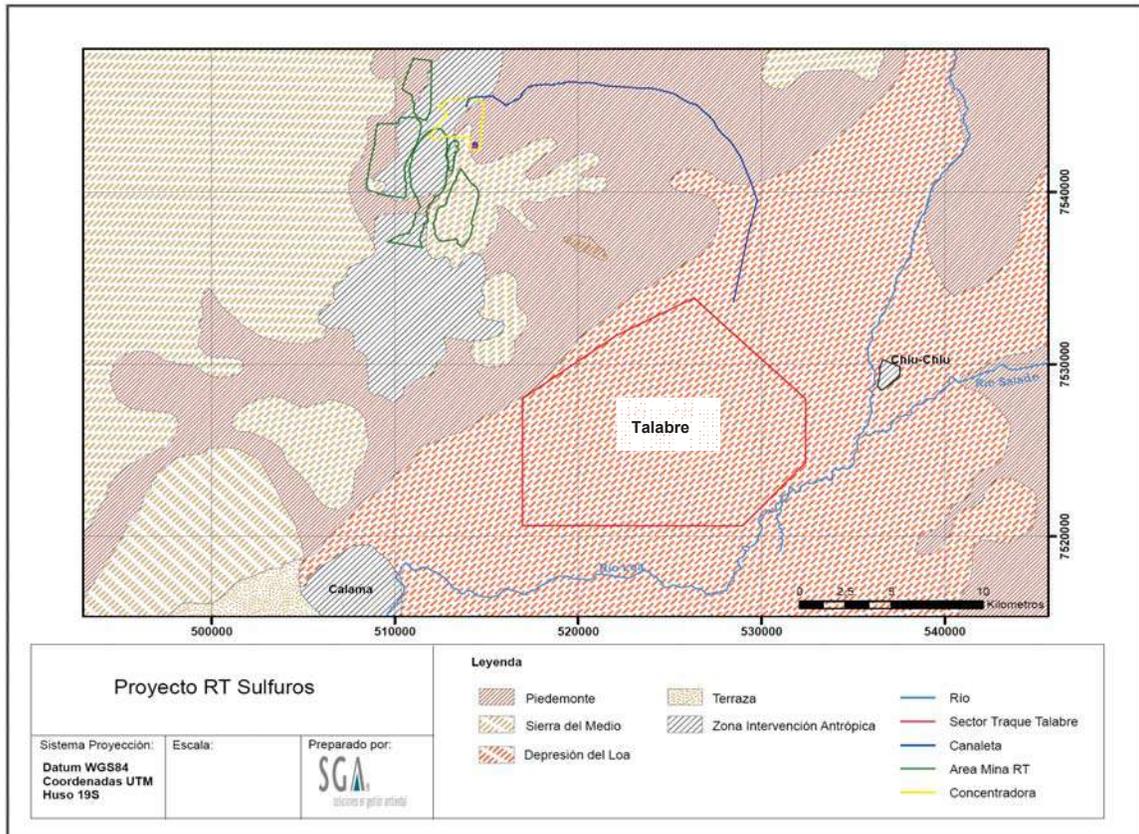
Las obras asociadas al Sector RT se encuentran emplazadas sobre las unidades geomorfológicas, que serán descritas a continuación (Figura 2.3-34):

- **Sierra del medio:** Esta unidad se encuentra ubicada en el curso superior del Río Loa y se caracteriza por presentar cerros aislados con orientación N-S principalmente, los cuales se encuentran distribuidos al norte y oeste del área donde se emplaza la mina de RT, con alturas promedio de 3200 msnm. Al norte se encuentran los Cerros: Paquí (4.589 msnm), Platero (3.661 msnm) y Bayo Oeste (3537 msnm), siendo éstas, las mayores elevaciones presentes en el sector; al oeste se encuentran los Cerros de Chuquicamata y Cerrillos de Cere y al este se encuentra la Sierra Moreno, la cual se extiende desde la cuenca de calama hacia el norte y tiene una altura promedio de 3500 msnm.
- **Piedemonte:** Corresponde a depósitos aluvionales antiguos que se distribuyen en forma de extensos abanicos aluviales, con pendientes que varían entre 1 y 10%, y que coalescen contra la depresión del Río Loa, depósitos de piedemonte y depósitos aluviales activos, los cuales se presentan en esta unidad como una red de estrechos cauces aluviales intermitentes.
- **Depresión del Loa:** Corresponde a una llanura cuya altura media varía entre 2.300 y 3000 msnm, alcanzando un ancho máximo de aproximadamente 50 km, limitada al noroccidente por la Sierra del Medio, al suroccidente por la Sierra Limón Verde y al suroriente por la Cordillera de Domeyko. Los cursos de agua más importantes que atraviesa esta unidad en el sector son el Río Loa y el Río Salado.
- **Zona de Intervención Antrópica:** En esta unidad se encuentran las áreas que ya han sufrido alteración en su morfología, ya sea por la presencia de asentamientos urbanos como son las ciudades de Calama y Chiu Chiu y/o los procesos asociados a la actividad minera, como son las instalaciones mineras, zonas de acopios, botaderos y las explotaciones mineras de Chuquicamata y Radomiro Tomic.

Sector Tranque Talabre

El área de relaves se encuentra ubicada sobre la unidad geomorfológica Depresión del Loa (Figura 2.3-34), la cual hacia el occidente, en unas pequeñas cuencas endorreicas, se localizan los salares de Talabre, El Indio, Salinas de Aguas Verdes y Rudolph-Brinkerhoft. Morfológicamente se caracteriza por una topografía plana, a excepción de los valles y cañones formados por el Río Loa, el cual desarrolla un profundo cañón (60-100 m) al norte de Chiu Chiu y se abre en un valle más amplio y menos profundo al sur de este poblado y el Río Salado, el cual tiene una orientación ENE-OSO y también desarrolla un cañón estrecho inmediatamente al este de la intersección con la quebrada Yalqui, pero con menor profundidad (30-60 m).

Figura 2.3-34. Unidades Geomorfológicas de los Sectores RT y Tranque Talabre



Sector Planta Desaladora

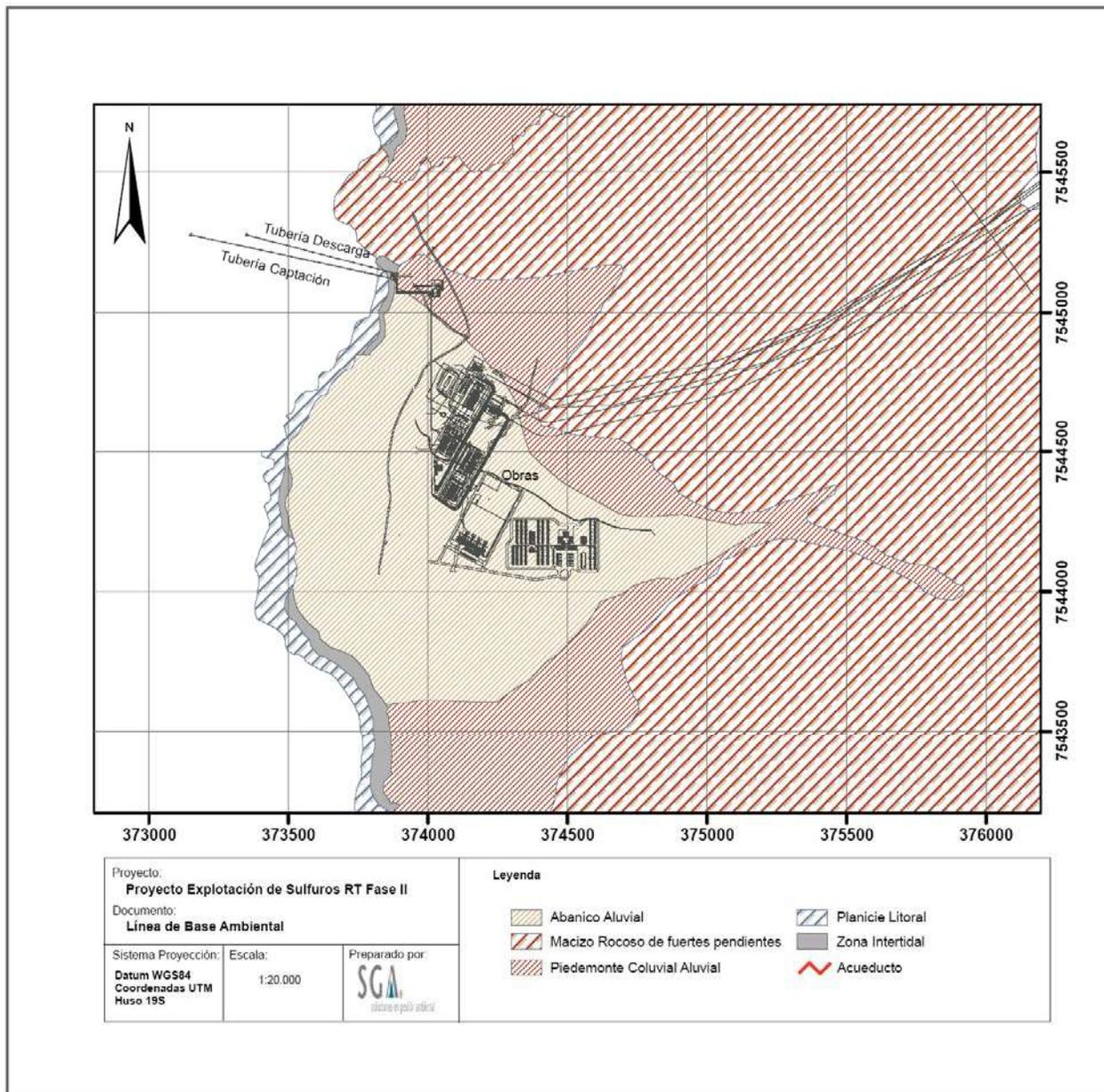
El sistema de captación de agua y descarga de agua salada se encuentran a 740 y 530 metros respectivamente dentro del mar, luego atraviesan la planicie litoral, de escaso desarrollo, muy estrecha e interrumpida por estribaciones desprendidas de la pampa alta y de la Cordillera de la Costa. Estas estribaciones, en forma de cuchillas vertebradas, descienden hasta el borde mismo de las playas locales, generando la fuente de origen para una activa erosión marina. Las playas que se intercalan entre estas estribaciones de relieve tienen forma de arco y, en general, corresponden al estrán arenoso, recubriendo levemente un estrán rocoso que queda al descubierto en los períodos de baja marea.

Estas planicies se consideran de abrasión y sedimentación marina. En la mayor parte del litoral dominan las acciones abrasivas del mar sobre el estrán rocoso, en continuo ascenso (Quezada et al., 2010).

La planta desaladora se ubicará sobre un abanico aluvial de edad reciente originado por la sedimentación de la carga sólida transportada por una corriente fluvial, la acumulación del material transportado está en las zonas donde se perdió la fuerza para transporte debido a la brusca disminución de la gradiente topográfica.

En los alrededores del área de emplazamiento de la planta desaladora se observa el piedemonte coluvial-aluvial rodeando el abanico aluvial, él cual es formado por la depositación de sedimentos transportados por acción eólica y fluvial (Figura 2.3-35).

Figura 2.3-35. Unidades Geomorfológicas Sector Planta Desaladora



Sector Planta Desaladora – RT

Este sector comprende la línea de impulsión que tiene una longitud de 160 km, saliendo desde la planta desaladora ubicada en el sector km 14, comuna de Tocopilla (km 0) y que cruza en dirección Oeste –Este hasta terminar (Km 160) en un reservorio, ubicado en el sector RT. El trazado de suministro eléctrico en general es paralelo al trazado de la línea de impulsión; en su extenso recorrido, éstas atraviesan las siguientes unidades geomorfológicas (Figura 2.3-36), las cuales serán descritas a continuación:

- Planicie Litoral: El inicio de la línea de impulsión litorales da sobre esta unidad geomorfológica, de escaso desarrollo (300 a 500 m) y por la escala a la que se presenta la

caracterización geomorfológica de este sector no puede ser representada gráficamente y se presenta con el Farellón Costero.

- Farellón Costero: Se levanta desde las incipientes planicies litorales hasta alturas cercanas a los 1.000 msnm, con fuertes pendientes (30% hasta 80%). Presenta aún rasgos del levantamiento original, debido a la hiperaridez (Quezada *et al.*, 2010), solo parcialmente roto por gargantas profundas de quebradas secas que logran llegar hasta el mar.
- Cordillera de la Costa: El trazado de la Línea de impulsión continua su recorrido atravesando transversalmente esta unidad geomorfológica (entre el kilómetro 4,186 y el 55,54); y corresponde a aquellos alineamientos altos que sobresalen del nivelamiento general de la pampa, por encima de los 1500 msnm., con una altura media sobre las depresiones locales de 400 a 600 m, estos relieves dependientes del tronco costero están sometidos a procesos de erosión y sepultación que minimizan las formas a simples lomas suaves de perfiles convexos, esto producto de su antigüedad de al menos 200 millones de años. El recorrido del trazado de la línea de impulsión cruzará los depósitos de relleno aluvial de las depresiones internas de esta cordillera.
- Gran Pampa Central Desértica: El trazado de la línea de impulsión continúa su recorrido con dirección oeste-este por esta unidad geomorfológica, donde se reconocen dos subunidades dentro de esta unidad: el Desierto de Atacama y la Pampa del Tamarugal, siendo esta última atravesada transversalmente por la línea de impulsión.

La Pampa del Tamarugal tiene su límite sur en el Río Loa. Presenta características de meseta, encerrada entre las cotas 600 y 1500 m., presentándose como un territorio coherente e ininterrumpido, donde las quebradas que descienden desde los planos inclinados situados al este no cruzan la pampa, sino que se pierden como rasgo erosivo al pie de dichos planos, empujándose alrededor de la cota 1500 m. Sin embargo, dentro de esta pampa se organizan algunos escurrimientos intermitentes, sujetos a las lluvias altiplánicas y prealtiplánicas, los que drenan con carácter endorreico hacia algunas cuencas salinas internas. Estas cuencas salinas o salares presentan capas de sulfato cálcico y cloruro sódico, productos de la evaporación de un extenso paleolago.

Las pampas que rodean las depresiones salinas y bolsones, están interferidas en su nivelamiento por cerros aislados que se levantan alrededor de los 1.200 m, constituyendo puntos de apoyo al inicio de la Cordillera de la costa, rodeados del relleno de la pampa.

- Pediplanos y Sistemas de Glacis y Piedemont: La línea de impulsión continua su recorrido por los pediplanos y Sistemas de Glacis y Piedemont presentes en el borde entre la Sierra del Medio y la Pampa del Tamarugal, esta unidad fue originada por dislocaciones tectónicas durante el Plioceno (Quezada *et al.* 2010) que levantaron la Cordillera de Domeyko y toda la bóveda altiplánica, produciendo simultáneamente por flexura la disposición espacial del pediplano, que conecta el ámbito cordillerano andino con las pampas de la depresión intermedia. Esta flexura ha servido de pista de deslizamiento a los sedimentos detríticos que han estado escurriendo durante todo el cuaternario a raíz del desmantelamiento, por erosión, de las capas geológicas secundarias y terciarias, situadas en el este.
- Sierra del Medio: En este último tramo, la línea de impulsión atraviesa dos cerros aislados pertenecientes a esta unidad geomorfológica, los cuales presentan orientación N-S y se ubica en el curso superior del Río Loa, encontrando su fin meridional en los cerros Paqui y Carasilla junto a la línea férrea Calama-Ollague. El ramal occidental es bajo, con alturas inferiores a los 4.500 m, mientras que el ramal oriental, tiene una morfología más relevante en altitud y mayor envergadura basal, alcanzando alturas cercanas a los 6000 msnm, en

algunos cerros, lo que constituye una barrera orográfica definitiva entre la zona altiplánica al este y los relieves que descienden hacia las pampas al oeste.

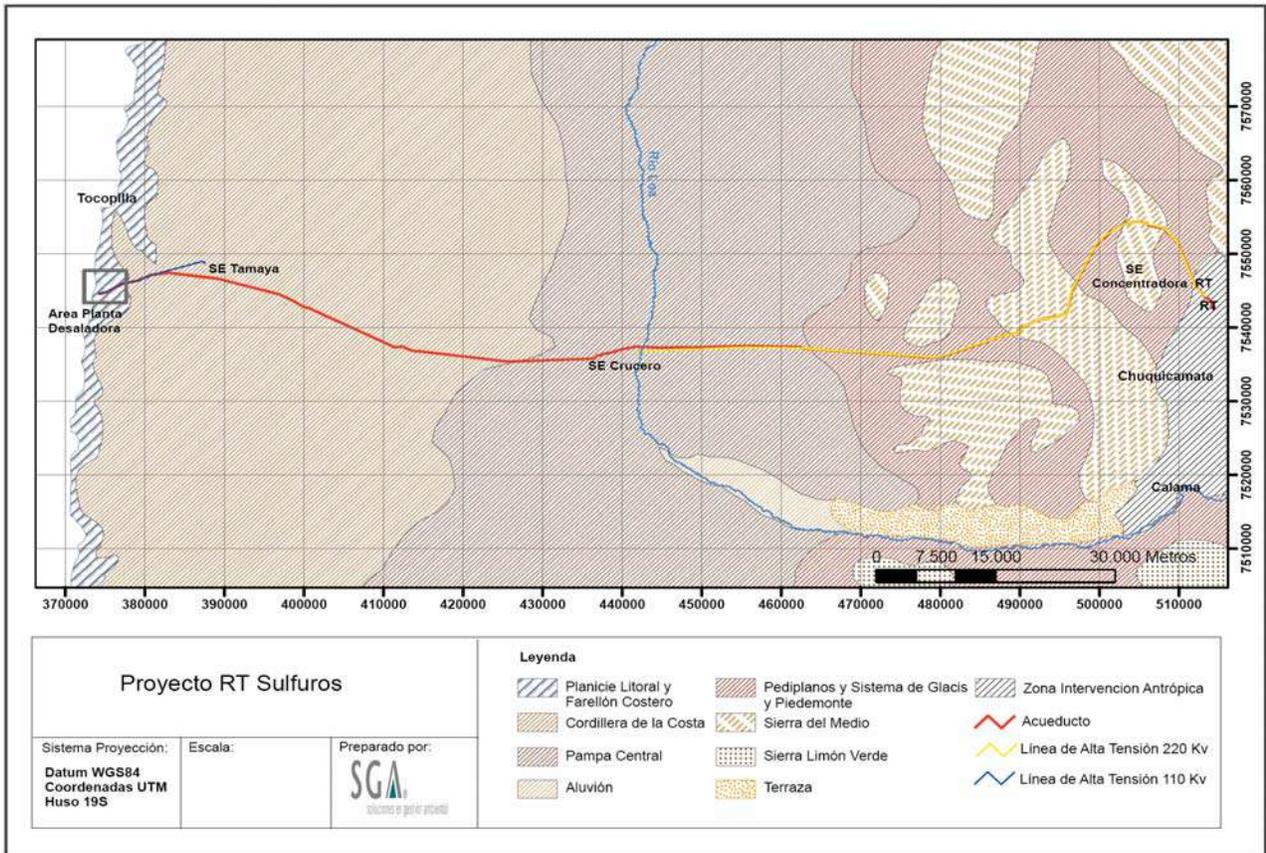
A continuación, se presenta un cuadro resumen (Tabla 2.3-73) por tramos de las unidades geomorfológicas que atravesará la línea de impulsión:

Tabla 2.3-73. Unidades Geomorfológicas Sector Línea de Impulsión

Tramo (Km)	Unidad Geomorfológica
0-4,85	Planicie Litoral y Farellón Costero
4,85-55,54	Cordillera de La Costa
55,54-93,18	Pampa Central
93,18-118,60	Pediplanos y Sistema de Glacis
118,60-131,26	Sierra del Medio
131,26-141,58	Pediplanos y Sistema de Glacis
141,58-147,315	Sierra del Medio
147,315-154,92	Pediplanos y Sistema de Glacis
154,92-160	Zona de Intervención antrópica

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3-36. Unidades Geomorfológicas Sector Línea de Impulsión



2.3.4.4.3 Riesgos Naturales

2.3.4.4.3.1 Remoción en Masa

De acuerdo con la definición de Hauser (1993), los fenómenos de remoción en masa son procesos de “movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores”. Estos factores dicen relación con el tipo de material involucrado (suelo o roca), el mecanismo de ruptura, el grado de saturación de agua, además de factores de tipo geológico, geotécnico y geomorfológico.

El análisis de los procesos de remoción en masa se debe orientar por una parte hacia la determinación de áreas con altos índices de peligro natural y por otra parte a la determinación de las áreas de riesgo, entendiéndose por ellas las que cuentan con actividad u ocupación humana. Dadas las características climáticas e hidrológicas de esta zona, es claro que dentro de los factores desencadenantes de procesos de remoción en masa, los de mayor relevancia son aquellos de tipo geomorfológico (pendientes, curvatura de ladera y presencia de formaciones y/o depósitos no consolidados).

Sector RT

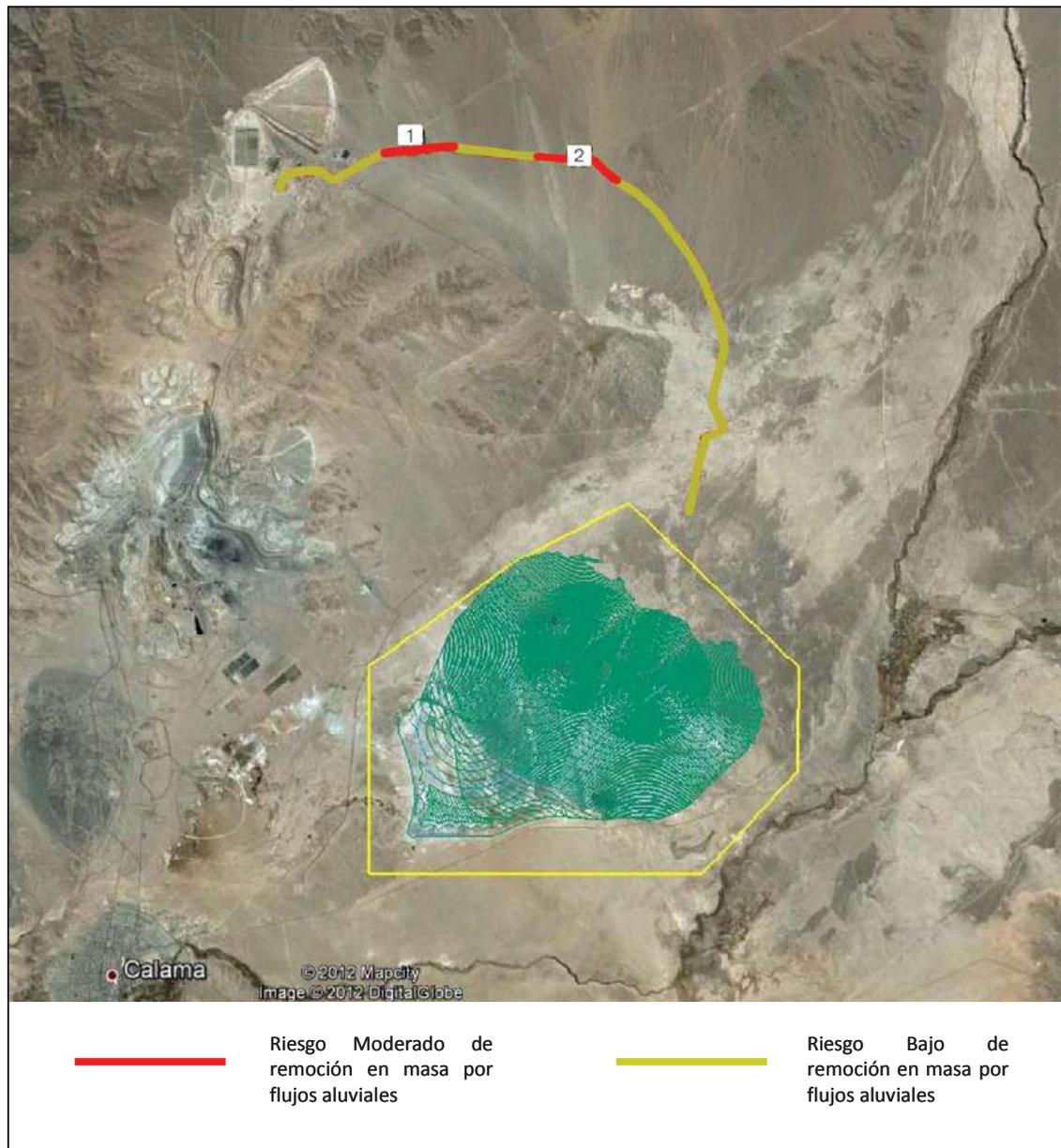
Para este sector, particularmente para el área mina y concentradora, las pendientes son menores a 1%, por lo que no es posible identificar zonas con pendientes susceptibles de generar remoción en masa, las que pueden ser consideradas estables.

El trazado de la canaleta de relaves desde el Área Planta hasta el Sector Tranque Talabre y obras asociadas, presenta dos segmentos de extensión moderada, que debido a quedar insertos sobre material depositado por corrientes de tipo aluvial activa, pueden ser considerados con un potencial intermedio de riesgos de remoción en masa dado por flujos aluviales. Estos segmentos de la canaleta de relaves están identificados en la Tabla 2.3-74 y se muestran en la Figura 2.3-37.

Tabla 2.3-74. Identificación Áreas con Riesgo de Remoción en Masa en el Sector RT

Sector	Coordenadas UTM (WGS84)	Observaciones
1	517.465 E / 7.546.180 N 520.130 E / 7.544.6330 N	Riesgo de flujo aluvial (longitud: 2.6 Km)
2	523.040 E/7.546.080 N 525.870 E/7.545.250 N	Riesgo de flujo aluvial (longitud: 3,1 Km)

Figura 2.3-37. Sectores de Riesgo de Remoción en Masa asociados a Flujos Aluviales en Canaleta de Relaves



Nota: En rojo se distingue la sección de canaleta con riesgo moderado.

Sector Tranque Talabre

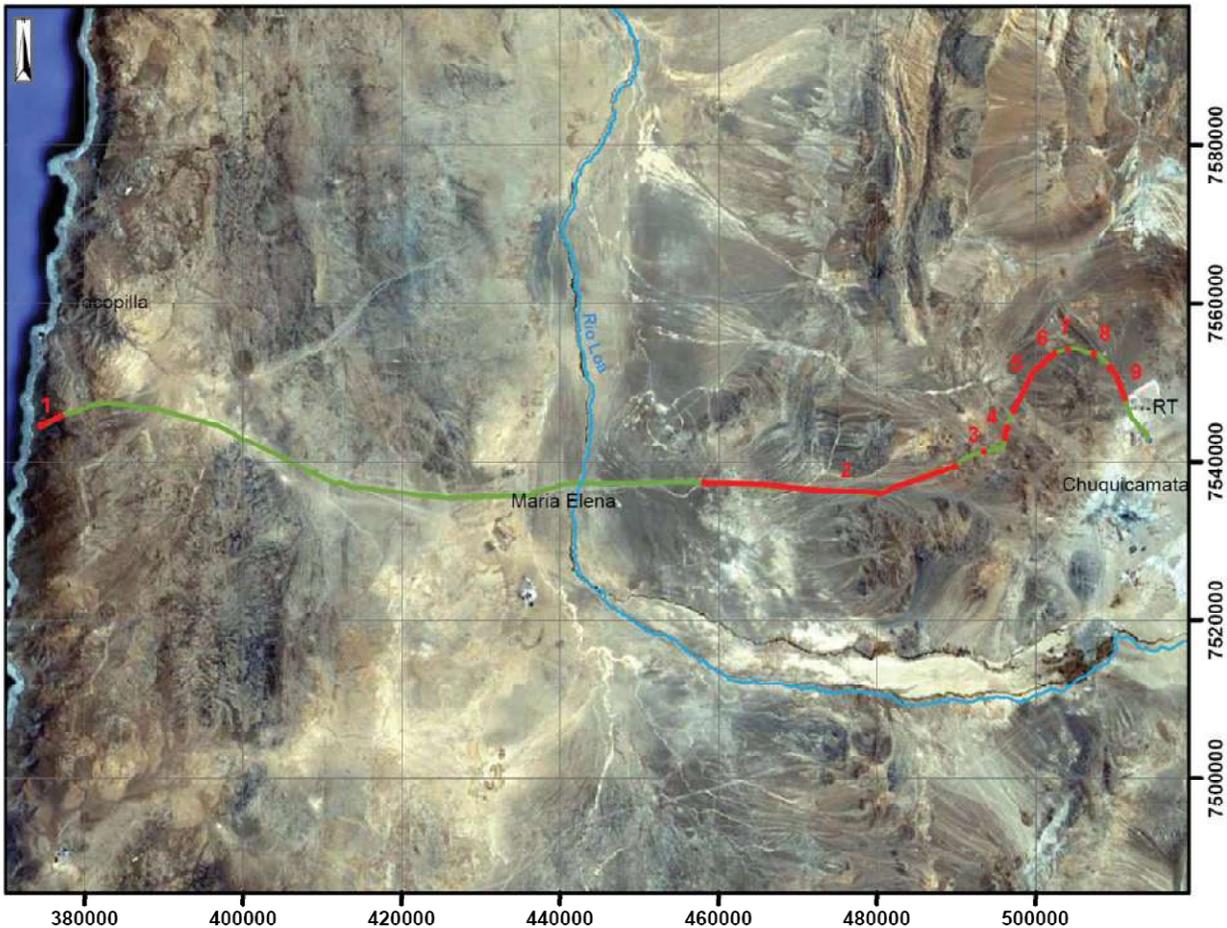
No se identifican zonas con pendientes susceptibles de generar este tipo de movimiento en masa, por lo que pueden ser consideradas estables.

Sector Planta Desaladora y Sector Planta Desaladora - RT

Para el sector de emplazamiento de las obras marinas y la planta desaladora, la geomorfología que caracteriza el área queda caracterizada por el desarrollo de un amplio abanico aluvial de pendiente cercana al 12%, lo que la ubica de acuerdo a la clasificación propuesta por Araya y Börgel (1972), en el rango de morfologías de erosión moderada con incipiente desarrollo de erosión lineal, propio de las zonas de planicies costeras. La magnitud de riesgos de remoción en masa es por lo tanto nula. Sin embargo, la proximidad de taludes de fuerte pendiente, superior al 35%, que presentan las laderas del farellón costero, cuyo pie se sitúa a escasos 200 – 250 m de las obras más cercanas, determina condiciones propicias para la generación de deslizamientos y flujos aluvionales a partir de las cabeceras, situadas sobre los 1.000 m de altitud, lo que implica una alta energía cinética. El nivel de riesgo se agudiza si se agrega el factor climático (camanchacas) y de exposición a los agentes intempéricos físicos (erosión eólica y marina), ambos permanentemente activos en esta área. La ocurrencia de sismos de grado mayor a 4, aumenta también las probabilidades de deslizamientos y caídas de bloques en estos escarpes rocosos. Lo anterior determina la conveniencia de incluir en el diseño del Proyecto, obras para la mitigación de efectos de eventuales deslizamientos.

Respecto de las obras proyectadas a lo largo del trazado de la línea de impulsión de agua y de la línea de suministro eléctrico, se han identificado sectores puntuales y tramos de extensión mayor, los cuales muestran mayor probabilidad de riesgos de remoción en masa. Los riesgos en zonas puntuales se refieren a eventuales flujos lineales del tipo fluvial-aluvial, en un escenario de precipitación extrema, por cuanto corresponden a cauces antiguos, en algunos casos de diseño meandriforme. Los sectores definidos como tramos, de extensión variable, corresponden a zonas con riesgos de flujos aluviales, los que en ciertos casos muestran una actividad más reciente representada por la presencia de superficies limo-arcillosas. En la Tabla 2.3-75 se identifican estas zonas, refiriendo su posición según sus coordenadas UTM (WGS-84) aproximadas y que se muestran en la Figura 2.3-38.

Figura 2.3-38. Identificación Zonas de Riesgo de Remoción en Masa Línea Impulsión



Nota: En rojo se distingue la sección de canaleta con riesgo moderado

Tabla 2.3-75. Coordenadas Zonas de Riesgo de Remoción

Zonas	Coordenadas UTM (WGS84)	Riesgo	Factor
1	374.406 E / 7.544.605 N 376.967 E / 7.545.778 N	deslizamientos en farellón costero	lluvias extremas
2	458.177 E / 7.537.444 N 489.919 E / 7.539.460 N	flujo aluvial (longitud: 32 Km)	lluvias extremas
3	493.428 E / 7.541.239 N	flujo fluvio-aluvial (en condiciones hídricas extremas)	lluvias extremas
4	496.135 E / 7.542.988 N 496.408 E / 7.544.362 N	flujo aluvial (longitud: 1,4 Km)	lluvias extremas
5	497.276 E / 7.546.459 N	flujo aluvial (longitud: 8,3 Km)	lluvias extremas

Zonas	Coordenadas UTM (WGS84)	Riesgo	Factor
	501.844 E / 7.553.217 N		
6	502.362 E / 7.553.631 N	flujo fluvio-aluvial (en condiciones hídricas extremas)	lluvias extremas
7	504.035 E / 7.554.221 N	flujo fluvio-aluvial (en condiciones hídricas extremas)	lluvias extremas
8	507.314 E / 7.553.594 N	flujo fluvio-aluvial (en condiciones hídricas extremas)	lluvias extremas
9	509.425 E / 7.551.995 N 511.203 E / 7.547.984 N	flujo aluvial (longitud: 4,4 Km)	lluvias extremas

2.3.4.4.3.2 Eventos Hidrológicos Extremos

El área de influencia está inserta en el Desierto de Atacama, de conocida aridez extrema, llegando a considerarse como el desierto más árido del mundo. Las tasas promedio de precipitaciones son del orden de los 1 a 5 mm/año en la zona costera y alcanzan hasta los 10 a 15 mm/año más al interior, en el altiplano. En este último sector, las precipitaciones aumentan levemente por el fenómeno conocido como el Invierno Altiplánico, por el cual durante los meses estivales de enero y febrero se producen algunas lluvias y tormentas eléctricas.

Estas bajas tasas de precipitaciones han favorecido también bajas tasas de erosión, con valores que van desde 0.02 mm/año en la precordillera a 0,002 mm/año en la Cordillera de la Costa, conformando amplias zonas cubiertas por depósitos aluviales y coluviales, sistemas de glaciares y piedemontes. No obstante la imposición de estas condiciones de hiperaridez, en este desierto se desarrolla lluvias de alta intensidad pero de corta duración, las que se producen por alguna de las siguientes causas:

- Precipitaciones estacionales debido a la propagación hacia el norte de los sistemas frontales provenientes del suroeste.
- Precipitaciones periódicas originadas aproximadamente cada 10 años, por el fenómeno del El Niño.
- Precipitaciones debidas a núcleos fríos en altura o bajas segregadas que pueden afectar el litoral del norte de Chile, provocando precipitaciones que pueden alcanzar los 10 mm/día.
- Precipitaciones debidas al invierno altiplánico. Como se dijo, estas lluvias orográficas se registran en el área del altiplano durante el verano austral. Son causadas por masas de aire provenientes ocasionalmente desde la región del Amazonas y el Atlántico, las que provocan lluvias esporádicas pero de alta intensidad.

La conjugación de estos amplios terrenos sedimentarios no consolidados, desarrollados en parte sobre las laderas de sierras o zonas montañosas, con la ocurrencia ocasional de lluvias intensas de corta duración, genera eventos puntuales de movimientos de flujos de detritos o corrientes aluviales.

Sector Planta Desaladora y Sector Planta Desaladora – RT

En la línea de base de hidrología, desarrollada más adelante, quedan determinadas las tasas extremas de precipitaciones para un periodo de retorno de 10 años, cuyas isoyetas resultantes aumentan gradualmente en dirección NNE desde 1 mm/día en la zona costera y Cordillera de la

Costa hasta 10 mm/día en los alrededores de la mina RT. Producto de un análisis similar pero enfocado a un periodo de retorno de 100 años, estos valores se amplifican a casi el doble. De acuerdo a esto, las zonas anteriormente reconocidas como de mayor riesgo de remoción en masa, en la sección anterior, estarían asociados a diferentes tasas de precipitaciones extremas, como puede observarse en la Tabla 2.3-76:

Tabla 2.3-76. Tasas de Precipitaciones Extremas Periodo de Retorno 100 Años

Zona	Precipitaciones extremas (mm/día)	Observaciones
1	2	Riesgo de deslizamientos en farellón costero
2	8	Riesgo de flujo aluvial (longitud: 32 Km)
3	12	Riesgo de flujo fluvio-aluvial (en condiciones hídricas extremas)
4	14	Riesgo de flujo aluvial (longitud: 1,4 Km)
5	16	Riesgo de flujo aluvial (longitud: 8,3 Km)
6	18	Riesgo de flujo fluvio-aluvial (en condiciones hídricas extremas)
7	20	Riesgo de flujo fluvio-aluvial (en condiciones hídricas extremas)
8	20	Riesgo de flujo fluvio-aluvial (en condiciones hídricas extremas)
9	20	Riesgo de flujo aluvial (longitud: 4,4 Km)

Sector RT

Otro sector que presenta potenciales consecuencias frente a un riesgo de precipitaciones extremas, se refiere a los últimos 10 km de esta línea. Una fuga eventual desde este segmento de acueducto afectaría parte de estas instalaciones mineras en RT, con consecuencias también variables en función de las características de ubicación, caudal y tiempo de esta eventual fuga.

Sector Tranque Talabre

Este sector ha sido identificado como exento de riesgos asociados a eventos hidrológicos extremos, considerando las características de precipitaciones del sector en conjunción con la configuración geomorfológica de los terrenos involucrados.

2.3.4.4.3.3 Riesgos Sísmicos

Las consecuencias asociadas a la actividad tectónica sobre cualquier obra o asentamiento humano, es función, entre otras variables, principalmente de la magnitud y de la distancia al foco sísmico, variables cuya ocurrencia carece de predicción y de precisión, al menos hasta ahora. Lo anterior, sumado a las características y extensión del Proyecto en estudio, establecen para estos riesgos sísmicos un carácter transversal a todas las áreas en que está sectorizado el Proyecto, por lo que el análisis de la actividad tectónica tendrá también un carácter global, abarcando el Proyecto en su conjunto.

La tectónica de Chile se caracteriza por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, por cuyo contacto se generan acumulaciones de esfuerzos que dan origen a rupturas súbitas en la corteza y con ésta a sismos. Este contacto se produce en la llamada Fosa Oceánica, por un movimiento de empuje hacia el este de la placa de Nazca, a una velocidad de aproximadamente 8 cm/año, el que sumado a un mayor peso relativo de la litósfera oceánica, conforma una componente de hundimiento de la placa en la astenósfera y el manto de la tierra, conocido como Plano de Benioff. Este plano se caracteriza por concentrar la mayor parte de los focos sísmicos o hipocentros, entendiéndose como tales, los puntos en el interior de la tierra donde se inicia la ruptura.

Aparte de los sismos tectónicos, existen otros tipos de sismos los que debido a su origen se clasifican en:

- Sismos volcánicos: asociados a expansión o colapso de grietas generadas por movimientos de magma.
- Sismos inducidos: asociados a esfuerzos generados artificialmente por interacción humana (p. ej.: tronaduras mineras, explosiones, inyección y/o extracción de fluidos, represas).

El estudio de los registros históricos de terremotos para un sector determinado, es uno de los métodos aplicados para el análisis de la magnitud máxima probable esperable, a la vez que deja al descubierto la extensión de lo que se conoce como “laguna o gap sísmico” en la zona, entendiéndose como tal, la ausencia de actividad sísmica de gran magnitud dentro de un ciclo establecido. La siguiente es una compilación de los registros históricos de terremotos con magnitud superior a 5 grados. Se incluyen en esta selección los eventos que afectaron las costas del sur del Perú hasta las costas de la tercera región de Atacama, dada su mayor cercanía con la zona de interés. Esta información fue obtenida del Sistema Nacional de Alarma de maremotos (SNAM), dependiente del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), complementada por registros del portal del USGS.

Los datos catastrados, junto con otros antecedentes referentes a la actividad sísmica en Perú (Comte y Pardo, 1991), determinan ciclos sísmicos de 111 ± 33 años, tomando como base los eventos de magnitud (M_w) mayor a 8.7 grados y considerando que los eventos de los años 1868 y 1877 fueron en un tiempo acoplado. Esto implica que el último gap sísmico se extiende ya por cerca de 135 años, por cuanto el campo de esfuerzos regional está alcanzando la madurez del ciclo de terremoto.

Estas consideraciones tienen una importancia gravitante en cuanto a la estabilidad de las obras asociadas al Proyecto. Los movimientos telúricos amplifican las probabilidades de ocurrencia de otros peligros naturales, como los fenómenos de remoción en masa, y según sea la magnitud de estos pueden provocar la reactivación de estructuras geológicas hasta ese momento inactivas.

Tabla 2.3-77. Registro Histórico Terremotos de Magnitud Mayor a 5 en Norte de Chile

Sector	Coordenadas Geográficas	Fecha	Magnitud (M_w)	Fatalidades
Sur Perú-norte de Chile	s/i	24/11/1604	8,7 estimada	s/i
Caldera (Costa afuera)	s/i	11/04/1819	8,5 estimada	s/i
Huasco (Costa afuera)	s/i	26/05/1851	7-7,5 estimada	s/i
Caldera (Costa afuera)	s/i	05/10/1859	7,5-7,7 estimada	s/i

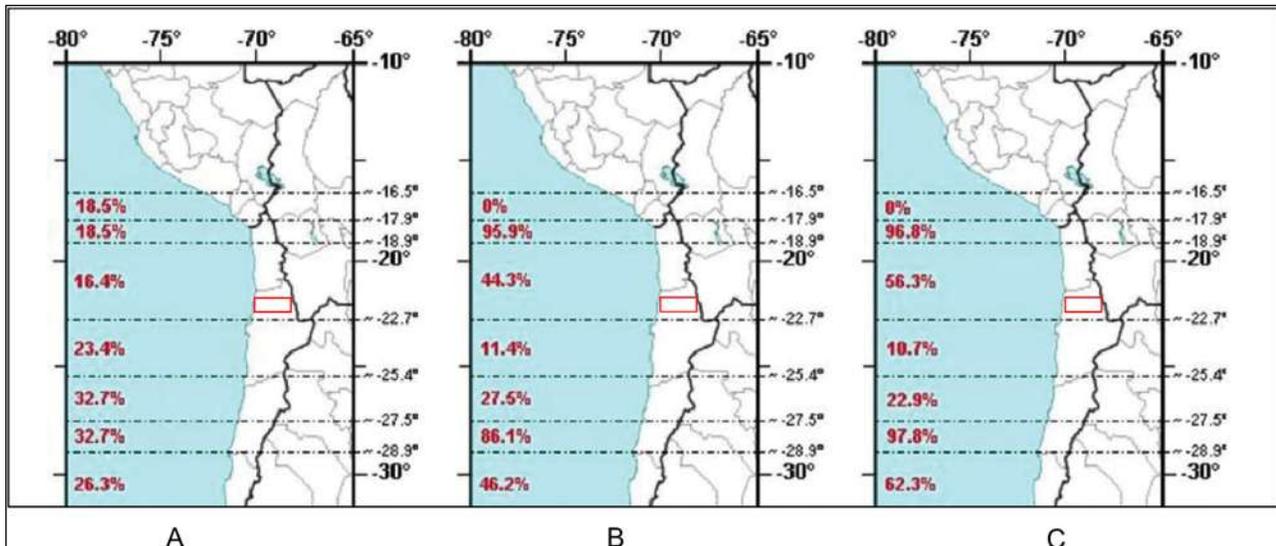
Sector	Coordenadas Geográficas	Fecha	Magnitud (M_w)	Fatalidades
Arica	17,7 LS / 71,6 LW	13/08/1868	8,8 estimada	500
Tocopilla, Costa afuera	21,0 LS / 70,3 LW	10/05/1877	8,8 estimada	34
Chañaral, Costa afuera	26,0 LS / 71,0 LW	04/12/1918	7,6 calculada	0
Taltal	s/i	23/02/1965	7,0 calculada	1
Antofagasta	23,4 LS / 70,5 LW	30/07/1995	8,0 calculada	3
Zona costera	23,9 LS / 70,3 LW	30/01/1998	7,1 calculada	0
Tarapacá	19,9 LS / 69.0 LW	13/06/2005	7,8 calculada	11
Antofagasta	22,2 LS / 69.9 LW	14/11/2007	7,7 calculada	2
Antofagasta	22,9 LS / 70.1 LW	16/12/2007	6,7 calculada	0
Tarapacá	20,1 LS / 70.0 LW	04/02/2008	6,3 calculada	0
Tarapacá, Costa afuera	19,4 LS / 70.3 LW	13/11/2009	6,5 calculada	0

Fuente: SHOA 2012

Diversos estudios han sido elaborados para obtener una estimación de la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud importante ($>7 - 7,5$) para diversas regiones de nuestro país dentro de un determinado rango de tiempo. La Figura 2.3-39 muestra los resultados de tres análisis probabilísticos (A: Poisson, B: Weibull mediante mínimos cuadrados y C: Weibull mediante máxima verosimilitud (Susa, 2004 in MINVU, 2011)) para un periodo comprendido entre los años 2004 y 2024 y para diversos segmentos, a lo largo de Chile. El tramo comprendido entre los paralelos $18,9^\circ$ L.S. y $22,7^\circ$ L.S, en el cual se ubica el Proyecto RT Sulfuros (rectángulo rojo en la figura), queda caracterizado por una probabilidad de ocurrencia de sismos de importancia, de 16,4%, 44,3% y 56,3%, respectivamente, según la metodología estadística aplicada.

De acuerdo a lo anterior, la probabilidad de que entre los años 2004 a 2024 ocurra un terremoto de magnitud importante ($M_w: > 7 - 7,5$) en la zona de influencia del proyecto, se acerca a un 50% según las estimaciones estadísticas más desfavorables.

Figura 2.3-39. Probabilidad de Ocurrencia de Terremoto de Magnitud Mayor a 7 – 7,5 entre 2004-2024 (MINVU, 2011)



Fuente: Modificado de MINVU- SEREMI Metropolitana, 2001

2.3.4.4.3.4 Actividad Volcánica

La distancia existente entre los centros volcánicos y las áreas del Proyecto más próximas a estos centros, permiten restringir el análisis de riesgos volcánicos a los fenómenos piroclásticos, quedando el Proyecto fuera del alcance de un potencial flujo de lava que emane desde cualquiera de los centros volcánicos vecinos. Desde este punto de vista, el análisis de riesgos volcánicos debe tener un carácter global respecto de los diversos sectores en que se divide el Proyecto, dado que el alcance de los fenómenos piroclásticos es transversal a todos ellos.

La actividad volcánica está directamente relacionada con la tectónica de placas, por la cual el hundimiento de la placa litosférica (oceánica para el caso del volcanismo en Chile) produce una fusión de sus materiales en profundidad, generando magma. Ese material fundido asciende hacia la superficie a través de estructuras geológicas profundas, provocando episodios de actividad violenta o erupciones, representadas por la salida o extrusión de lava y materiales piroclásticos que van modelando los edificios o conos volcánicos. Entre los centros considerados activos, los de mayor relevancia por su ubicación respecto del Proyecto son el volcán Láscar, el volcán San Pedro del complejo San Pedro-San Pablo y el volcán Putana (Figura 2.3-40).

Figura 2.3-40. Ubicación Volcanes Activos en Área de Estudio



El volcán Lascar (5.592 msnm.) ubica 170 km al SE del área y es considerado el volcán más activo del norte de Chile en virtud de sus casi 30 eventos explosivos registrados en los últimos dos siglos. Su última actividad más importante ocurrió en el mes de Julio del 2007 y su última erupción mayor ocurrió en abril de 1993, la que provocó la caída de material cinerítico y pumíceo alrededor del volcán y dentro de un radio de 10 Km, principalmente en dirección norte, noroeste y sureste. El volcán Lascar inició su actividad al menos hace unos 250.000 años, conformándose este edificio tipo estratovolcán de forma irregular, del cual fluyeron coladas superpuestas de composición andesítica y dacítica, con extensión de 10 y 5 Km, respectivamente. La colada más reciente data de hace 7.000 años. La actividad eruptiva más importante, que habría ocurrido hace unos 27.000 años, generó flujos piroclásticos que se extendieron y rellenaron quebradas hacia el oeste del volcán (Talabre, Soncor y Chailles), todas ellas distante más de 150 Km al sureste del área del Proyecto. Los últimos reportes de actividad volcánica (RAV) emitidos por la Red de Vigilancia Volcánica respecto del volcán Lascar, clasifican su nivel de riesgo volcánico como Nivel Verde (volcán activo con comportamiento estable – no hay riesgo inmediato). La actividad observada en este volcán se restringe a emanaciones de fumarolas blancas de hasta 600m de altura. Estos antecedentes permiten descartar cualquier afectación de importancia sobre las obras proyectadas, producto de un eventual fenómeno volcánico en el volcán Lascar.

Más cercano, a unos 60 Km al NE del área, se encuentra el complejo volcánico San Pedro y San Pablo, el primero de los cuales es considerado uno de los volcanes activos más altos del mundo (6.145 msnm.), cuya última erupción data de mayo de 1901 y su última actividad fue reportada el día 2 de diciembre de 1960, según antecedentes de la Red de Vigilancia Volcánica del SERNAGEOMIN. Este volcán San Pedro está conformado por dos estructuras volcánicas, la más antigua de las cuales, situada más al este, colapsó generando un amplio depósito de avalancha de detritos hacia el oeste y noroeste. La estructura más reciente, ubicada al oeste

dentro de este anfiteatro de avalancha, conforma un estratocono compuesto de lavas y domos, los que producto de sus sucesivos colapsos han generado extensos abanicos piroclásticos orientados en similares direcciones. Hacia el flanco occidental de este edificio y de actividad más reciente, destaca el desarrollo del cono piroclástico La Poruña y de su flujo lávico asociado, de composición andesítico-basáltica. La edad de esta colada ha sido estimada en 103 mil años. La actividad actual se restringe a débiles fumarolas emanadas desde su cráter central. Los riesgos asociados a una eventual reactivación de este volcán San Pedro se relacionan por un lado a los flujos de barro y avalanchas que pudiera generar el derretimiento de la carga nival, la que es más abundante durante algunos periodos invernales o hacia finales de las precipitaciones del invierno altiplánico estival. Por otra parte, la actividad documentada muestra que una eventual erupción acompañada con emanación de lava, podría alcanzar, lo mismo que las mencionadas corrientes de barro, a interceptar y bloquear alguno de los ríos Loa o San Pedro, situados al oeste y sur respectivamente. Particularmente en el caso del río Loa, de caudal permanente, un eventual bloqueo podría generar una importante acumulación o embalsamiento de agua cuya ruptura provocaría daños mayores aguas abajo que según la escala del evento, podrían alcanzar, si bien no directamente las obras en cuestión, al menos la localidad de Chiu Chiu y Calama. Complementariamente, se debe precisar que los últimos reportes de actividad volcánica (RAV) emitidos por la Red de Vigilancia Volcánica, coinciden en clasificar como de Nivel Verde (volcán activo con comportamiento estable – no hay riesgo inmediato) la actividad observada en este volcán.

Otro volcán que mantiene actividad es el Putana (5.890 msnm.), situado 110 Km al ESE del área y 18 Km al este de los Geysers del Tatio. Su actividad es de tipo hidrotermal, permanente, pero sin emisión de materiales sólidos, por lo cual no significa riesgo para el área del Proyecto.

2.3.4.4.3.5 Riesgo de Maremotos

Sector Planta Desaladora

El único sector expuesto a este tipo de riesgos corresponde al Sector Planta Desaladora, por su evidente ubicación relativa. Por ello, el análisis de riesgos de maremotos se restringirá exclusivamente a este sector.

Los maremotos (*“movimiento del mar”*) son olas de tamaño y energía mayor de lo habitual, provocados por perturbaciones sobre una masa de agua, principalmente oceánica, perturbaciones que pueden tener distintos orígenes dentro de las cuales los terremotos son la causa principal. Otras causas se relacionan con fenómenos asociados a volcanes submarinos (explosiones o colapsos) o al impacto de asteroides o meteoritos. La dinámica de los maremotos tectónicos, es decir, los provocados por un terremoto, se inicia cuando un sismo ocurrido bajo el piso oceánico desplaza abruptamente en sentido vertical una porción de fondo marino, provocando así un desequilibrio en la masa de agua. La recuperación del estado de equilibrio genera olas, cuyas dimensiones estarán en función de la magnitud del terremoto y de la profundidad del piso marino. Los maremotos pueden ser considerados potencialmente destructivos si son originados por un terremoto de magnitud 7.5 grados y altamente destructivos si el terremoto es superior a 8,3 grados. Los focos sísmicos ocurren principalmente, como es sabido, alrededor de las zonas de creación de corteza, lo que para nuestro país está representado por la Cordillera de los Andes y la dorsal meso-oceánica que separa la Placa de Nazca, por el norte, de la placa Antártica por el sur, denominada Dorsal de Chile. La velocidad de propagación de la onda se atenúa a medida que se acerca a la costa, en donde la

profundidad del agua se acorta, provocando simultáneamente un aumento de su altura, la que puede alcanzar entre 3 a 30 m una vez alcanzada la costa.

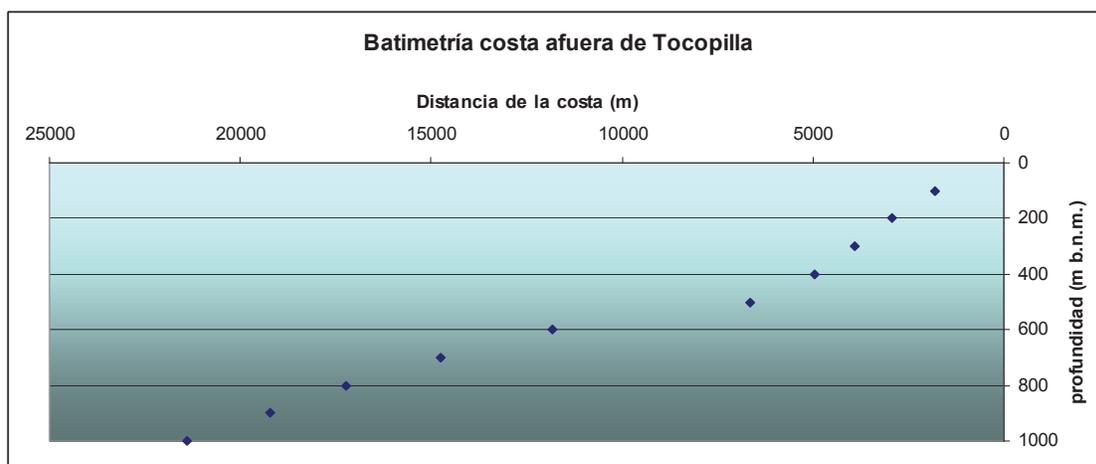
Las consecuencias de un maremoto sobre las obras situadas en la zona costera dependen en gran medida de la velocidad y energía del oleaje generado y por lo tanto de la profundidad en que esté situado el epicentro bajo el fondo marino. La profundidad media del piso oceánico sobre la placa de Nazca es de aproximadamente 4000 m, esto es a unos 175 Km costa afuera. Más cerca de la costa, la fosa oceánica, zona donde se produce la subducción de placas, tiene una profundidad cercana a los 7.400 m (a 110 Km de la costa). Desde esta fosa, la profundidad del piso marino disminuye de manera paulatina hacia la costa, encontrándose en 500 m a unos 6,6 Km de distancia del borde costero. En este punto, la plataforma marina experimenta una inflexión que aumenta su pendiente, según se puede observar en la gráfica de la Figura 2.3-41.

De lo anterior, la velocidad de la ola de un maremoto originado sobre la plataforma continental frente a las costas de Tocopilla, tendría una velocidad inicial variable entre 900 y 500 Km/hr, según ésta se origina cerca de la fosa oceánica o más cercanamente a unos 41 Km de distancia de la costa (2000 m de profundidad). Una vez alcanzada una distancia de 6,5 Km de la costa, la ola de un eventual maremoto se hará más evidente, de mayor altura, pero con velocidad reducida cercana a los 50 Km/h.

En consecuencia, la ocurrencia de un maremoto originado sobre la plataforma continental, frente a las costas de Tocopilla, si bien es de una probabilidad inferior a un evento sobre el continente, a la misma latitud, el tiempo de respuesta es evidentemente estrecho, lo que hace necesario contar con sistemas de monitoreo y alerta que permitan aprovechar al máximo esta corta instancia de emergencia. Además, el diseño de las obras de la planta desaladora deberá considerar la probabilidad de ocurrencia de un maremoto de modo de asegurar el funcionamiento de esta instalación –clave para la actividad minera- bajo estas condiciones.

La Tabla 2.3-78 complementa los antecedentes antes entregados en la Tabla 2.3-77, incorporando las observaciones registradas respecto de maremotos asociados a los eventos sísmicos más importantes en los últimos dos siglos en la zona norte.

Figura 2.3-41. Perfil Batimétrico frente a Costas de Tocopilla



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3-78. Observaciones de Ocurrencia de Maremoto en Norte de Chile

Fecha	Magnitud	Posición epicentro	Observaciones
24/11/1604	8,7 estimada	Marino	El océano retrocedió “una distancia comparable a dos disparos de mosquetes” y retornó con tal fuerza que arrasó gran parte de Arica. El maremoto inundó un área cercana a los 1200 Km de costa.
11/04/1819	8,5 estimada	Marino	Temblores de importancia se iniciaron una semana antes del maremoto, el cual afectó cerca de 800 Km de costa.
26/05/1851	7-7,5 estimada	Marino	El terremoto generó un maremoto de escala menor que provocó daños en Huasco y una variación de 3 m en el nivel del mar.
05/10/1859	7,5-7,7 estimada	Marino	El nivel del mar descendió cerca de 6 m, dejando expuesto más de 150 m de terreno antes cubierto por él.
13/08/1868	8,8 estimada	Marino	Las primeras olas se detectaron 52 minutos después del terremoto, alcanzando hasta 16 m de altura e ingresando más de 300 m tierra adentro, en Arica.
10/05/1877	8,3 estimada	Marino	En Tocopilla, el maremoto inició a los 5 minutos después del terremoto y 15 minutos más tarde se produjeron olas de hasta 24 m de altura.
04/12/1918	7,6 calculada	Marino	No se reportan daños mayores por el maremoto.
23/02/1965	7,0 calculada	Sin información	No se reporta maremoto.
30/07/1995	8,0 calculada	Continental	No se reportan daños mayores por el maremoto.
30/01/1998	7,1 calculada	Continental	No se reporta maremoto.
13/06/2005	7,8 calculada	Continental	No se reporta maremoto.
14/11/2007	7,7 calculada	Continental	No se reporta maremoto.
16/12/2007	6,7 calculada	Continental	No se reporta maremoto.
04/02/2008	6,3 calculada	Continental	No se reporta maremoto.
13/11/2009	6,5 calculada	Marino	No se reporta maremoto.

Fuente: SHOA, 2012 (<http://www.shoa.cl/index.htm>)

Se observa que sólo aquellos sismos cuyos focos están situados bajo el mar y cuya magnitud es superior a 7.5 grados, están asociados con eventos de maremotos. El sismo ocurrido el año 2009, si bien tuvo un foco cercano a las costas, bajo el mar, no alcanzó la magnitud suficiente para originar un maremoto. Por otra parte, el terremoto de Antofagasta (1995) tuvo su epicentro en tierra, sin embargo ocasionó perturbaciones en el mar dadas su magnitud de 8 grados y su cercanía a la costa, aunque estas perturbaciones fueron de bajo nivel de daños.

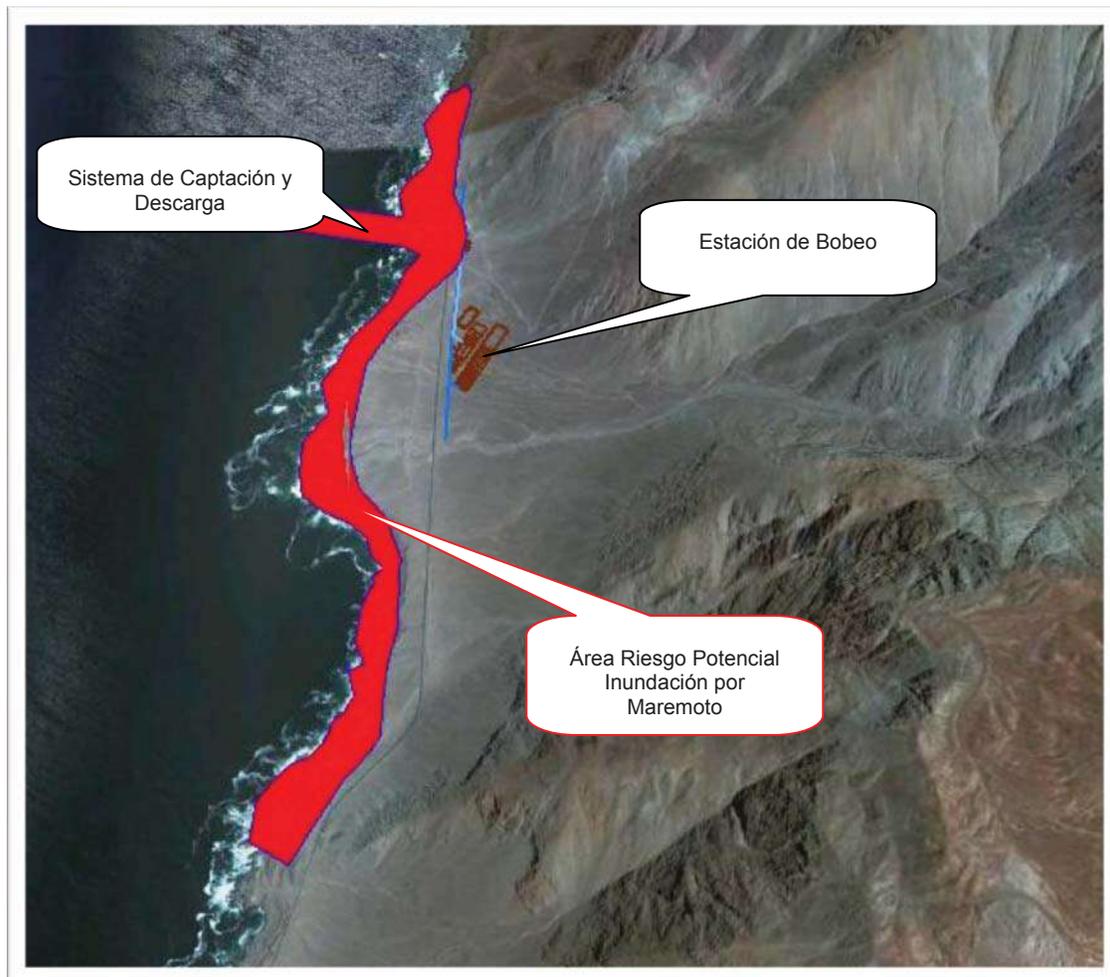
Los eventos históricos permiten obtener algunas consideraciones de importancia respecto de un eventual nuevo maremoto:

- En los últimos 4 siglos se han registrado ocho eventos de diversa magnitud en el norte de Chile-sur de Perú. El último maremoto con consecuencias de consideración ocurrió en el año 1877, hace 135 años.
- En todos estos eventos el foco sísmico ha sido detectado en la zona de la plataforma marina. En los casos en que ha sido medido, este foco se situó dentro de los 35 Km de distancia de la costa. No hay registros de maremotos que afectaron las costas del norte de Chile, relacionados con eventos ocurridos fuera de nuestras costas, dentro del ámbito del pacífico Occidental, por ejemplo.
- De lo anterior, es esperable que un eventual maremoto de importancia, en cuanto al nivel de daños que pudiera ocasionar, esté asociado, en el peor de los casos, con un tiempo de respuesta muy reducido del orden de los 5 minutos. Tal como habría ocurrido en el maremoto de 1877.
- El tamaño máximo de las olas se espera que excedan los 25-30 m de altura. Con ello, el alcance del maremoto sobrepasaría el primer accidente geográfico en la costa, consistente de un talud de 15-20 m de altura, formado sobre un amplio abanico aluvial. El ingreso del mar es esperable que quede acotado dentro de los primeros 300 m de la costa, tierra adentro, quedando incluido el sector de las instalaciones de las obras de captación y descarga y el acceso norte del camino a Tocopilla.

El grado y alcance de los efectos de un eventual maremoto están obviamente condicionados a las características del fenómeno sísmico que los origine, tales como magnitud, ubicación y profundidad del epicentro, profundidad del mar sobre este epicentro, por señalar algunos. Estas características son imposibles de prever. Otros factores que inciden en la gravedad de los daños ocasionados por un maremoto, son el nivel de comunicaciones y sistemas de alerta temprana y los planes de emergencia o respuesta ante eventos catastróficos que se hayan diseñado e implementado.

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) ha elaborado una serie de cartas de Inundación por Tsunamis (CITSU) para distintos sectores costeros de nuestro país. Las cartas confeccionadas para los puertos de Tocopilla (CITSU, TSU-131) y de Mejillones (CITSU, TSU-133), muestran una línea de inundación cuya cota máxima se ubica en torno de los 20 y 25 m, respectivamente. Estos antecedentes, en combinación con lo referente a la altura máxima de ola registrada (30m), pueden ser extrapolados a la situación particular del Sector Planta Desaladora en Caleta Viuda, distante 14 Km y 100 Km al sur y norte de ambos puertos, respectivamente. La Figura 2.3-42 muestra el área circunscrita a una cota topográfica de 30 msnm en torno de las obras proyectadas en el Sector Planta Desaladora, indicando aproximadamente el área que podría potencialmente ser afectada por un maremoto en su expresión máxima probable. Las obras asociadas al sistema de captación y al sistema de descarga y la estación de bombeo intermedio están insertas en esta área de influencia de maremoto, siendo por lo tanto las obras de la Planta Desaladora que podrían estar afectados por un evento de este tipo.

Figura 2.3-42. Área Inundación Potencial por Riesgo de Maremoto Sector Planta Desaladora



Fuente: Elaboración propia

2.3.4.5 Conclusiones

2.3.4.5.1 Geología

Las obras asociadas al Proyecto RT Sulfuros cubren transversalmente una amplia zona a lo ancho del Norte Grande de nuestro país. De esta manera, el marco geológico de las obras queda ampliamente representado por rocas de diversas edades y características litológicas, abarcando desde unidades volcánicas jurásicas en la Cordillera de la Costa, hasta las más recientes unidades sedimentarias del Terciario, en el interior, además de variados cuerpos intrusivos de edades diversas, estando gran parte de ellas cubiertas por depósitos cuaternarios no consolidados. El marco estructural a nivel regional, es responsable y está estrechamente ligado a las características morfológicas de la zona, por cuanto destacan en general tres elementos principales que de oeste a este son: la Cordillera de la Costa, la Pampa del Tamarugal y las sierras interiores cercanas a los yacimientos cupríferos, entre sí limitados por la

extensa Zona de Falla de Atacama y los sistemas de fallas inversas. Por sectores, las conclusiones para esta componente son las siguientes:

Sector RT: Las unidades geológicas corresponden principalmente a rocas intrusivas de edad variable entre el paleozoico y el eoceno-oligoceno, principalmente de esta última edad y de composición que gradúa entre la granodiorítica y la monzodiorítica, cubiertas por depósitos de edad reciente (plio-pleistocénicas) de carácter poco consolidado y de facies principalmente aluvial y de piedemonte. Estructuralmente, uno de los rasgos más destacables corresponde a la falla Oeste, la cual tiene una especial relevancia en la ocurrencia de los depósitos minerales existentes. Se considera que esta falla continúa activa hasta el presente. Por otra parte, la falla Estanques Blancos corresponde a una falla normal, casi vertical, de rumbo NE-SW y de unos 12 Km de extensión; esta falla afecta al Pórfido Chuqui y a su vez, es afectada por los últimos movimientos de la Falla Oeste. Por último, la falla Mesabi constituye otro elemento estructural destacable en este sector.

El trazado de la canaleta de relaves, recorre terrenos correspondientes principalmente a depósitos aluviales antiguos (gravas, arenas, ripios y limos no consolidados) de edad plioceno a holoceno y a depósitos de carácter calcáreo palustre asignadas a la Formación Opache, de edad mioceno superior – pleistoceno superior, los que engranan lateralmente con depósitos clásticos de ambiente fluvial y aluvio-palustre de la Formación Lasana. Las características estructurales de la zona no están claramente expresadas en superficie dada la amplitud de la cobertura sedimentaria reciente, si bien se puede inferir que no hay elementos estructurales relevantes asociados a este trazado.

Sector Tranque Talabre: El sector del Tranque Talabre se desarrolla principalmente en los mismos terrenos antes mencionados, vale decir formaciones Opache y Lasana, y particularmente sobre depósitos salinos correspondientes a los salares Talabre y El Indio, compuestos por limos y arcillas con alto contenido de yeso y halita. Hacia el noroeste del Tranque Talabre se reconoce un lineamiento estructural de dirección NE-SW, que conforma el límite entre los afloramientos calcáreos y los depósitos no consolidados holocenos cuya traza coincide en parte con el curso del río Salvador, cerca de los cerros de Quetena y es paralelo con las fallas Central y Estanques Blancos, situadas más al norte, por lo que podría representar una estructura de falla similar, de tipo normal y plano vertical, oculta bajo la cubierta sedimentaria. Por otra parte, la falla Loa, de disposición NE-SW similar a la anterior, se infiere desarrollada debajo de los terrenos ocupados por los depósitos de relaves actualmente existentes en este sector.

Sector Planta Desaladora: El sector de las obras marinas se asienta en terrenos geológicamente asignados a depósitos de carácter coluvial-aluvial, de edad holocena y de tipo no consolidado. Escapa a lo anterior las obras asentadas directamente en el estrán arenoso que recubre a su vez un estrán rocoso que ocupa la línea intermareal. Este sector queda limitado al este por un alto escarpe o farellón de carácter volcánico y composición andesítica (Formación La Negra) con localizados afloramientos intrusivos granodioríticos, de edad cretácica.

Sector Planta Desaladora – RT: El trazado del acueducto que se extiende transversalmente entre el sector Planta Desaladora y el sector RT, de casi 160 Km de longitud, atraviesa una amplia diversidad de unidades litológicas y de diversas edades, donde los primeros 30 km, de oeste a este, corresponden en general a formaciones volcánicas e intrusivas del mesozoico (Formación La Negra) que conforman la denominada Cordillera de la Costa. Un tramo central de 50 km de longitud, se desarrolla sobre depósitos recientes en la Pampa del Tamarugal. Finalmente, la última etapa del trazado, cruza terrenos compuestos por rocas sedimentarias

terciarias e intrusivos paleozoicos. Las características estructurales, en una primera porción occidental del trazado, tienen una disposición según una dirección aproximada N 60°E y N 40°E, algunas de ellas correspondientes a fallas de movimiento normal, con caída del bloque oriental. Este segmento queda limitado hacia el este por la zona de falla o megafalla de Atacama, de dirección N-S y de observada actividad reciente. Un tramo central del acueducto recorre terrenos que por su carácter sedimentario moderno no permite la expresión estructural en superficie. En el segmento final del acueducto destaca la presencia de un bloque morfológico elevado, denominado Sierra del Medio, el cual está limitado al oeste por un sistema de fallas inversas y al este por un lineamiento de carácter regional, el cual controla el curso superior del río Loa.

2.3.4.5.2 Geomorfología

Sector RT y Tranque Talabre: Las obras asociadas a estos sectores se encuentran emplazadas sobre las unidades geomorfológicas: (i) Sierra del Medio, la cual se define como cerros aislados con orientación N-S principalmente, los cuales se encuentran distribuidos al norte y oeste del área donde se emplaza la mina de RT, con alturas promedio de 3200 msnm; (ii) Piedemonte que corresponde a depósitos antiguos distribuidos en extensos abanicos, depósitos de piedemonte y depósitos aluviales activos, que se presentan en esta unidad como una red de estrechos cauces aluviales intermitentes; (iii) la depresión del Loa que se define como una llanura cuya altura varía entre los 2.300 y 3.000 msnm, alcanzando un ancho máximo de aproximadamente 50 km, siendo el Río Loa y el Río Salado los cursos de agua más importantes que la atraviesan; y (iv) la zona de intervención antrópica, la cual agrupa las áreas que ya han sufrido alteración morfológica, ya sea por asentamientos urbanos y/o los procesos asociados a la actividad minera.

Sector Tranque Talabre: Este sector se encuentra emplazado sobre la unidad geomorfológica depresión del Loa, la cual presenta hacia el occidente pequeñas cuencas endorreicas donde se localizan los salares de Talabre, El Indio, Salinas de Aguas Verdes y Rudolph-Brinkerhoff y morfológicamente se caracteriza por presentar una topografía plana, a excepción de los valles y cañones formados por los cauces de los ríos Loa y Salado.

Sector Planta Desaladora: La ubicación de las obras marinas e instalaciones de la planta desaladora-Sector km 14 se realizarán sobre un abanico aluvial de edad reciente originado por la sedimentación de la carga sólida transportada por una corriente fluvial.

En los alrededores del área de emplazamiento de esta planta desaladora se observa el piedemonte coluvial-aluvial rodeando el abanico aluvial, el cual es formado por la depositación de sedimentos transportados por acción eólica y fluvial.

Sector Planta Desaladora - RT: El sector Trazado Sector Planta Desaladora-Sector RT inicia su recorrido en el farellón costero, con alturas cercanas a los 1.000 msnm y fuertes pendientes, y continua transversalmente por la cordillera de la Costa sobre los depósitos de relleno aluvial de las depresiones internas de esta cordillera. El trazado continúa su recorrido atravesando la Pampa del Tamarugal, que corresponde a una extensa meseta de altura promedio de 1.000 msnm y continúa sobre los pediplanos y sistemas de glaciares presentes en el borde entre la sierra del Medio y la Pampa, formados por dislocaciones tectónicas durante el pleistoceno. En el último tramo este trazado cruza dos cerros aislados con orientación Norte-Sur de la unidad geomorfológica Sierra del Medio; finalizando este trazado en el sector RT, en un reservorio ubicado al Este de la Mina Radomiro Tomic.

2.3.4.5.3 Riesgos Naturales

Las especiales condiciones de hiperaridez del Norte Grande, contribuyen a la conformación de un relieve en general llano, de manera que todas las obras asociadas al Proyecto y casi el 90% del trazado de ductos están insertos en terrenos planos o de muy escasa pendiente. Estas mismas condiciones hacen latente uno de los principales riesgos naturales presentes en este escenario: el riesgo de flujos aluviales, especialmente bajo precipitaciones mayores a 2 mm/día en la costa y 20 mm/día en el interior, las que presentan períodos de retorno de entre 10 y 100 años. En efecto, determinados segmentos del trazado cruzan áreas en las que se observan los efectos de estos fenómenos que podrían ocasionar importantes daños en el caso de registrarse precipitaciones de magnitud extrema. De especial importancia es un tramo del acueducto ubicado inmediatamente sobre el farellón costero, por cuanto la localidad de Tocopilla quedaría dentro del área de influencia de una eventual fuga.

La actividad sísmica es otro de los riesgos naturales relevantes para estas obras y particularmente los maremotos que pudieran derivarse de ella. Se constata la existencia de una laguna sísmica que se ha prolongado por casi 135 años, aumentando la probabilidad de ocurrencia de un nuevo evento, el cual bajo determinadas condiciones de ubicación (costa afuera) y magnitud ($> 7,5$ grados), podría vincularse a perturbaciones del mar capaces de provocar serios daños en las instalaciones costeras. La investigación de registros sísmicos históricos permite inferir indirectamente, que el tiempo de respuesta podría ser bastante estrecho frente a una eventualidad como la mencionada y que los posibles daños llegarían a extenderse hasta un margen de unos 300m, quedando incluido el sector de las instalaciones de las obras de captación y descarga y el acceso norte del camino a Tocopilla.

2.3.4.6 Referencias Bibliográficas

- Araya, J. & Börgel, R. 1972. "El uso de la carta 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar en la confección de unidades geográfico-físicas". Primer Simposio Cartográfico Nacional, Instituto Geográfico Militar.
- Blanco, N y Tomlinson, A. 2009. Carta Chiu Chiu, Escala 1:50.000, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica. Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- CODELCO, 2012. Informe de Proyecto. Proyecto Explotación de Sulfuros RT Fase II. Capítulo 7 Geología y Recursos Minerales. Informe Interno.
- Comte, D. y Pardo, M. (1991). Reappraisal of Great Historical Earthquakes in the Northern Chile and Southern Peru Seismic Gaps (Paper), Natural Hazards 4: 23-44,
- Ferraris, F., 1978. Hoja Tocopilla, Escala 1: 250.000, Mapas Geológicos Preliminares de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Geohidrología (2011). Modelo de Simulación Hidrogeológica Mina Radomiro Tomic. Informe Final. Item 3.2: Estudio Hidrogeológico. Preparado para División Codelco Norte. Abril, 2011.
- Hauser, A., 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Boletín N° 45.
- Knight Piésold (2010). Modelamiento Hidráulico Tranque Talabre Proyecto N°SA202-00039/20. Informe Interno para División Codelco Norte.
- Maksaev, V. *et al*(2001). Cuadrangulo Cerros de Paqui. Leyenda para los cuadrángulos 1:50.000 Cerros de Paqui, Chonchi, calama y Chiu Chiu. Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Maksaev, V. *et al*(2001). Cuadrangulo Conchi. Leyenda para los cuadrángulos 1:50.000 Cerros de Paqui, Chonchi, calama y Chiu Chiu. Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Marinovic, N. y Lahsen, A., 1984. Hoja Calama, Escala 1: 250.000, Carta Geológica de Chile, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Börgel, R. (1983). Geografía de Chile Tomo II Geomorfología. Instituto Geográfico Militar. Santiago. Pp 182
- Quezada, J., Cerda, J y Jensen, A. (2010). Efectos de la tectónica y el clima en la configuración morfológica del relieve costero del Norte de Chile. *AndeanGeology* 37 # 1. Pp 78-109.
- Tomlinson, A; Blanco, N y Dilles, J. 2010. Carta Calama, Escala 1:50.000, Carta Geológica de Chile, Serie Preliminar. Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- SHOA, 1999. Carta de inundación por tsunami para el puerto Tocopilla, Chile, (TSU-131). Documento Explicativo. http://www.shoa.cl/servicios/citsu/pdf/citsu_tocopilla.pdf.
- SHOA, 2012. Mejillones. Carta de inundación por tsunami referida al evento del año: 1877. (http://www.shoa.cl/servicios/citsu/pdf/citsu_mejillones.pdf)

- MINVU- SEREMI Metropolitana, 2001. Riesgo y adecuación plan regulador comunal de San José de Maipo. Estimación del Peligro Sísmico. Informe Etapa 2- Anexo 1. ID N° 640-6-LP11. Departamento de Desarrollo Urbano e Infraestructura.

2.3.5 Hidrología, Hidrogeología e Hidroquímica

2.3.5.1 Introducción

En esta sección se presenta la Línea Base Ambiental de Hidrología, Hidrogeología e Hidroquímica para el Proyecto RT Sulfuros, en adelante, el Proyecto.

El objetivo es identificar y describir las características de la componente hídrica, tanto superficial como subterránea, del Proyecto.

Los objetivos específicos comprenden lo siguiente:

- Caracterización hidrológica general del área de Proyecto y específica para los sectores de las diferentes obras que éste considera (identificación y caracterización de las cuencas fluviales).
- Identificación y caracterización de las principales unidades hidrogeológicas de los sectores de obras, y definición de los acuíferos presentes en el ámbito de estudio, tanto en su distribución espacial como en composición hidroquímica, así como la interacción entre ellos y las aguas superficiales representadas por el Río Loa.
- Establecer el alcance y estado de interrelación, si la hubiere, entre los depósitos del tranque Talabre y los acuíferos subyacentes.

2.3.5.2 Definición Área de Influencia

En consideración a la escala de análisis de cada componente y a las características de las áreas del Proyecto, el área de influencia para las componentes de hidrología, hidrogeología e hidroquímica en los sectores definidos para el proyecto se describen a continuación:

Hidrología

Se definió considerando el emplazamiento de las partes y obras del Proyecto y su inserción en cuencas hidrográficas. En este sentido la hidrología a estudiar abarca principalmente la cuenca del río Loa y cuencas costeras entre km 14 de la ruta CH-1 y Tocopilla las que corresponden a los sectores Planta Desaladora y Planta Desaladora - RT. En el sector de la obra de impulsión, el área de influencia se limita al entorno al punto de cruce de la tubería con las quebradas y río Loa. El sector donde se emplazarán las obras marítimas y la planta desaladora, corresponde al área de desembocadura de una quebrada sin escurrimiento permanente, para la cual se analiza su influencia con el Proyecto.

En los sectores RT y Tranque Talabre, donde se ubicarán la Planta Concentradora y la Canaleta de Relaves, el área de influencia hidrológica se limita a subcuencas que generan un escurrimiento superficial que pueda afectar las obras asociadas al proyecto.

En el Anexo 2.3-6 se muestra plano con área de influencia de la componente Hidrología.

Hidrogeología e hidroquímica

Para la definición de estas componentes se consideró el emplazamiento de las obras y la interacción de éstas con los cuerpos de agua subterránea que se encuentran en los distintos sectores del proyecto. Es por esto que, en las componentes hidrogeología e hidroquímica, correspondientes a planta desaladora y planta desaladora-RT respectivamente, se delimitará

por las áreas entorno al trazado de las obras contenidas en estos sectores (buffer 50 m entorno a obras).

En los sectores RT y Tranque Talabre, las áreas se delimitan en función del grado de interacción de las obras contenidas en estos sectores con el(los) acuífero(s) presente(s) en la Pampa Cere y la Pampa Carbonatera, además de la interacción con el Río Loa. Ante esto, se demarca como área de influencia para estos dos sectores, las zonas circundantes a las áreas de emplazamiento de las obras en relación con los acuíferos que pudieran relacionarse con las obras o procesos asociados al proyecto.

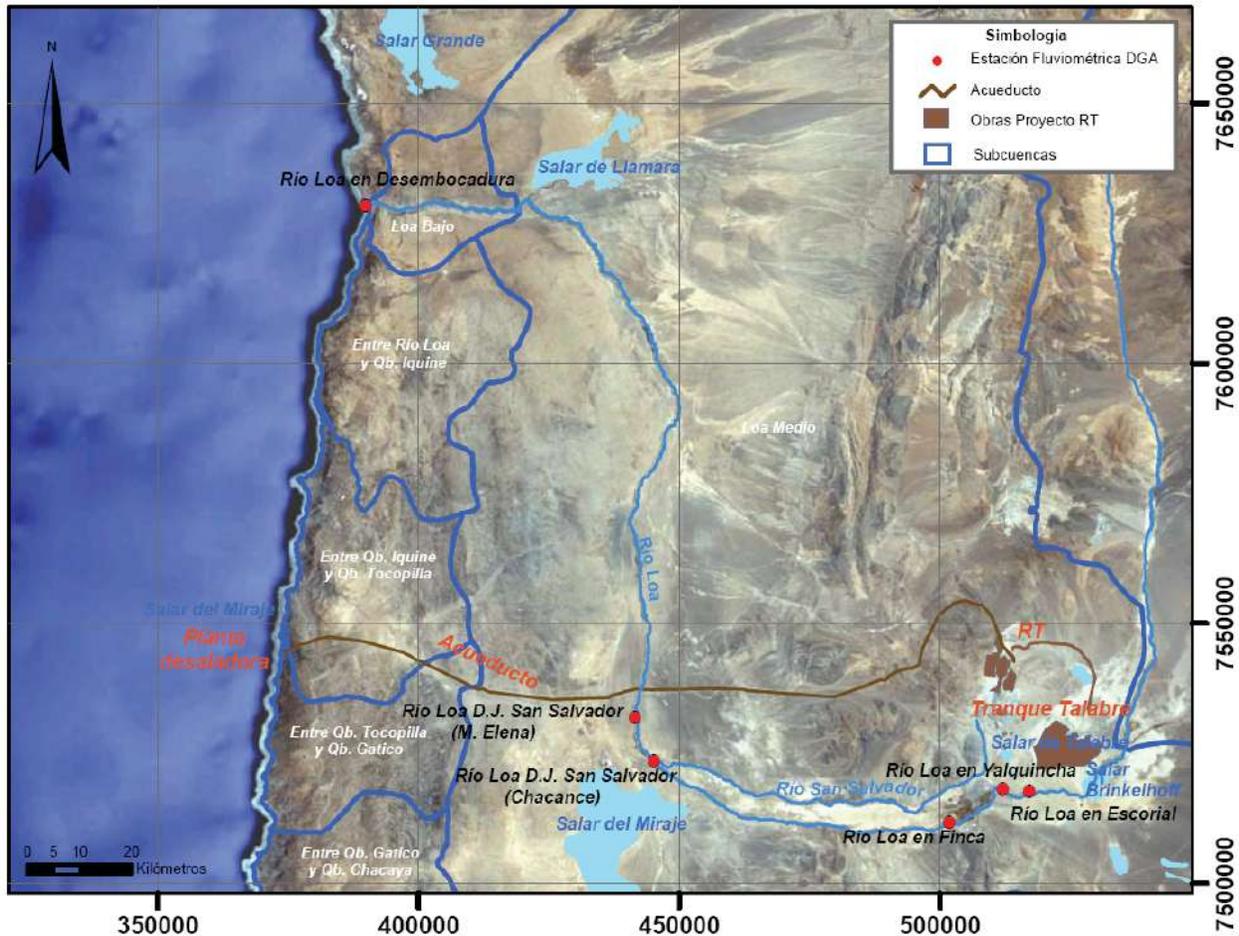
En el Anexo 2.3- 7 se muestra plano con área de influencia de la componente Hidrogeología e Hidroquímica.

2.3.5.3 Metodología

La línea base de hidrología, hidrogeología e hidroquímica consideró, en primer término, la información disponible de carácter público, tales como los estudios realizados por la Dirección General de Aguas y SERNAGEOMIN. Las líneas base de hidrogeología e hidroquímica se realizaron sobre la base de antecedentes anteriores, los cuales son el resultado de trabajos encargados por CODELCO durante los últimos años, a distintas consultoras de hidrogeología. Estos trabajos están individualizados dentro de las referencias bibliográficas.

Los sectores del proyecto están insertados dentro de las cuencas hidrográficas del río Loa y dos costeras próximas a Tocopilla, como se muestra en la Figura 2.3-43.

Figura 2.3-43. Delimitación DGA Cuencas Hidrográficas



Fuente: Elaboración propia

En particular, la caracterización hidrológica considera la siguiente metodología:

- La caracterización hidrológica, considera una primera etapa de análisis de estadística pluviométrica y fluviométrica disponible y el tratamiento de la información en cuanto a relleno y extensión de estadísticas, basado en correlaciones mensuales o información de estudios existentes.
- Para los sectores RT y Planta Desaladora, los cálculos de caudales máximos en los sectores involucrados se realizaron aplicando el Método Racional, considerando que en su mayoría se trata de cuencas pequeñas. Para este análisis se determinaron las precipitaciones máximas de diseño, a partir de información procedente de estaciones meteorológicas existentes. A continuación, se elaboró un mapa de isoyetas para el conjunto del área de estudio. Una vez conocido el comportamiento de la precipitación y su conversión en escorrentía superficial, se procedió a determinar el valor de los caudales máximos en cada uno de los puntos en que el Proyecto atraviesa la red natural de drenaje.

El método de la Fórmula Racional establece que el caudal máximo que produce una cuenca para período de retorno "T" está dado por:

$$Q = \frac{C * I_{tc}^T * A}{3,6}$$

Siendo:

Q : Caudal en m³/s

C : Coeficiente de escorrentía o fracción de la precipitación que escurre superficialmente

I_{tc}^T : Intensidad de lluvia con período de retorno "T" y una duración "tc", expresada en mm/hora

tc : Tiempo de concentración de la cuenca

A : Área aportante en km²

El coeficiente de escorrentía (C) se estimó según Tabla propuesta por Manual de Carreteras, Volumen 3 de la Dirección de Vialidad, MOP.

El tiempo de concentración se define como el tiempo que demora la partícula de agua más alejada de la cuenca en llegar al punto de control. Para su cálculo se ha utilizado la fórmula Californiana y la de Giandotti.

Fórmula de Giandotti:
$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H}}$$

Fórmula Californiana:
$$T_c = 0,95 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

donde:

T_c : tiempo de concentración en horas

A : superficie de la cuenca en km²

L : longitud del cauce principal en km

H : diferencia de nivel entre la cota media de la cuenca y el punto de salida en metros

Considerando que la fórmula Californiana entrega valores razonables para cuencas mayores a 2 km², para cuencas menores a este valor se utilizó sólo la fórmula de Giandotti y para mayores a 2 km² el promedio de ambas fórmulas (Manual de Carreteras, Volumen 3 de la Dirección de Vialidad, MOP).

- Para el sector Planta Desaladora – RT (línea de impulsión) se consideró el Estudio Hidrológico de Quebradas Impulsión Radomiro Tomic (Codelco, 2012), el cual identifica las quebradas que cruza la tubería y realiza el cálculo de crecidas utilizando el Método Racional para las cuencas pequeñas de área inferior a 10 km² y el método del Hidrograma Triangular para las cuencas mayores. La identificación de todos los puntos de atraveso o influencia del Proyecto de la red natural de drenaje fue realizada a partir de la cartografía oficial del IGM (Cartas 1:50.000), imagen satelital (Google Earth) y de recorridos de terreno desarrollados siguiendo los trazados de la tubería. También se definieron zonas donde la tubería va paralela dentro de la caja de un cauce importante.

El estudio de la hidrología en el punto en que el Proyecto cruza o interfiere con el río Loa, por tratarse una cuenca controlada, se aplicó una metodología específica. En primer lugar se recopiló información fluviométrica que dispone la Dirección General de Aguas para este curso y antecedentes presentados en otros estudios disponibles consultados. A

continuación, se llevó a cabo un análisis estadístico consistente en el cálculo de caudales para los períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años.

- Para el sector RT que involucra el trazado de la canaleta de relaves, se consideró el Estudio Hidrológico de Quebradas Trazado Trazado canaleta de Relaves (Conic-BF - Codelco, 2013), el cual agrupa las quebradas que cruza la tubería y realiza el cálculo de crecidas utilizando el Método Racional para las cuencas pequeñas de área inferior a 10 km² y el método del Hidrograma Triangular para las cuencas mayores.

La caracterización de la componente hidrogeológica se realizó sobre la base de antecedentes anteriores que son el resultado de trabajos encargados por CODELCO durante los últimos años, a distintas consultoras especializadas en hidrogeología. Estos trabajos están individualizados dentro de las referencias bibliográficas.

Del mismo modo que con la componente geológica, el análisis hidrogeológico de los distintos sectores se enfocó de acuerdo a dos escalas de trabajo, aplicando para los sectores Planta Desaladora y el trazado de la línea de impulsión de agua una escala 1:250.000, en consideración a la extensión de este último trazado. Por otra parte, para los sectores RT y Tranque Talabre se aplicó una escala de mayor detalle, de 1:50.000, por la cantidad de información disponible al respecto y por la trascendencia de las instalaciones proyectadas en relación con esta componente.

Por su parte, la caracterización química del agua presenta los resultados de análisis de calidad de agua disponibles en la bibliografía, junto con otros desarrollados por la División Radomiro Tomic. Para esta caracterización se utilizaron puntos de monitoreo (pozos, quebradas, vertientes y las aguas claras del tranque Talabre.

2.3.5.4 Resultados y Análisis

2.3.5.4.1 Hidrología

a) Marco Hidrológico General

La Región de Antofagasta constituye una de las áreas más áridas del territorio nacional, en la cual las precipitaciones son muy poco frecuentes. Los rasgos hidrológicos de la región están determinados por sus condiciones climáticas y morfológicas. Los cursos de agua son escasos, y la mayoría se ubica en el sector de la cordillera de los Andes y es retenido en su trayecto hacia el oeste por la cordillera de Domeyko. Esta morfología da como resultado la existencia de cuencas endorreicas, que junto a las altas tasas de evaporación que se producen en la zona, han dado origen a la existencia de numerosos salares, donde destaca el Salar de Atacama por su extensión.

En esta región, los únicos ríos de escurrimiento permanente son el río Loa, el río San Pedro y el río Vilama. Otros recursos hídricos superficiales escurren por algunos cursos de agua menores situados en la zona altiplánica y cordillera principal, además de numerosas aguadas en quebradas y bordes de salares, especialmente hacia el oriente de la cordillera de Domeyko.

Los restantes recursos hídricos son exclusivamente de aguas subterráneas, especialmente en salares y en el sector de la Depresión Intermedia, entre la cordillera de Los Andes y de Domeyko.

La cuenca del río Loa es la única cuenca exorreica de la región que logra llevar recursos hídricos desde la cordillera andina hasta el océano Pacífico. El río Loa dispone de un cauce de

440 km de longitud, que atraviesa el desierto de Atacama. La cuenca hidrográfica del río Loa comprende una superficie de 33.081 km². El régimen hidrológico del río es del tipo pluvionival con escurrimiento permanente durante todo el año. Pese a contar con una de las cuencas más grandes del país, tiene un bajo caudal, puesto que es activa sólo en un 20% debido a las condiciones desérticas de la región, sólo en el sector alto de la cuenca es capaz de captar recursos hídricos de precipitaciones cordilleranas. El caudal medio anual del río asciende a 680 L/s aguas abajo de la ciudad de Calama (Estación Río Loa en La Finca, DGA 2012). Los tributarios más importantes, que aportan regularmente al Loa, son los ríos Salado y San Salvador. Sus crecidas obedecen a intensas lluvias de verano caídas en la alta cordillera, producto del denominado “Invierno Altiplánico”.

Pluviometría Regional

El régimen de precipitaciones de la zona se describe sobre la base de las precipitaciones mensuales y anuales de la zona y también las precipitaciones máximas diarias asociadas a eventos extremos. Estas últimas nos permiten determinar los caudales de crecidas asociados a diferentes periodos de retorno.

Para los análisis hidrológicos se recopiló información de las estaciones pluviométricas de la DGA e información interna de CODELCO. Las estaciones utilizadas son las señaladas en la Tabla 2.3-79 y cuya longitud estadística utilizada se muestra en la Tabla 2.3-80. En la Figura 2.3-44 se muestra la ubicación geográfica de las estaciones utilizadas para el desarrollo de la línea base hidrológica.

Tabla 2.3-79. Estaciones Pluviométricas

Estación	Código BNA	Coordenadas UTM Datum PSAD 56- Huso 19		Altitud msnm
		Norte (m)	Este (m)	
Conchi Viejo	02104007-K	7.572.650	528.511	3.491
Conchi Muro Embalse	02104009-6	7.561.561	537.836	3.010
ChiuChiu	02104010-K	7.529.707	537.415	2.524
Ayquina	02105018-0	7.536.512	570.229	3.031
Calama	02110013-7	7.517.389	509.832	2.300
Coya Sur	02112009-K	7.523.409	435.920	1.250
Quillagua	02112008-1	7.609.476	444.799	802
Río Grande	02510007-7	7.494.951	585.625	3.250
Parshall-2	02103008-2	7.573.397	549.826	3.318
Sierra Gorda	02700001-0	7.469.327	467.518	1.616
Baquadano	02710002-3	7.422.970	411.374	1.032
Tocopilla	02210002-5	7.557.838	377.253	150
Antofagasta	02710003-1	7.380.080	355.542	50

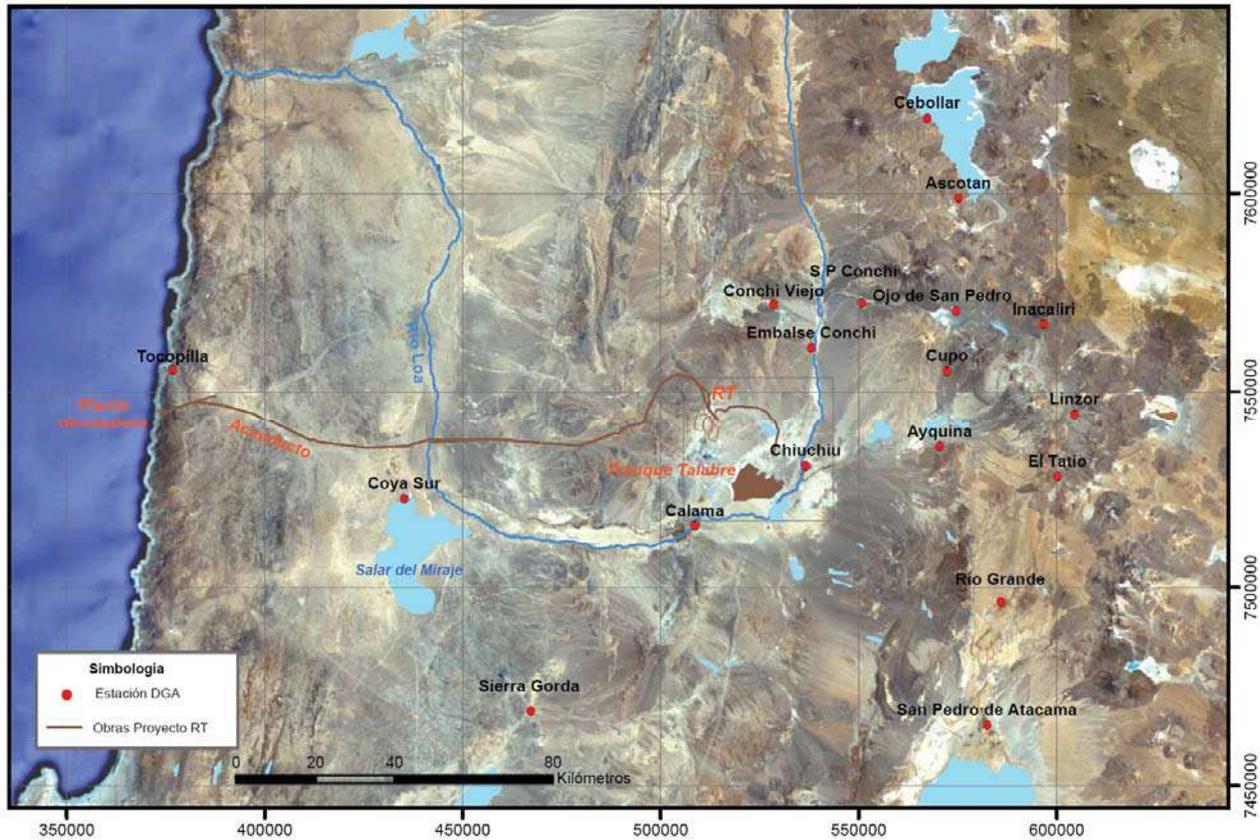
Fuente: DGA

Tabla 2.3-80. Disponibilidad Estadística Meteorológica

Estación	Años con Estadística Precipitaciones																																																					
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011							
Conchi Viejo																																																						
Conchi Muro Embalse																																																						
ChiuChiu																																																						
Ayquina																																																						
Calama																																																						
Coya Sur																																																						
Quillagua																																																						
Río Grande																																																						
Parshall-2																																																						
Sierra Gorda																																																						
Baquedano																																																						
Tocopilla																																																						
Antofagasta																																																						

Fuente: DGA

Figura 2.3-44. Ubicación Estaciones Pluviométricas



Fuente: Elaboración propia

Precipitación Media Anual

Para configurar el régimen de precipitaciones anuales de la zona, se utilizó la estadística mensual de precipitaciones en las estaciones de la DGA mencionadas.

Para completar lo más posible los datos estadísticos faltantes, primero se procedió a rellenar los meses sin información a partir de la mejor correlación de los caudales del mes con datos existentes en estaciones vecinas. Para años completos sin información mensual o con muy pocos meses, se rellenó el valor de la precipitación anual en base a correlación con la estación que muestre mejor ajuste. La gran mayoría de los meses la precipitación es nula en todas las estaciones analizadas lo que refleja un inestable patrón de precipitaciones. Es por esto que se presentan años que no fue posible rellenar en algunas estaciones debido que el patrón de precipitaciones de la estación no sigue una correlación con alguna estación vecina.

En la Tabla 2.3-81 se muestra la información pluviométrica procesada con los valores de precipitación anual y valor medio estadístico. Con esta información se confeccionó un mapa de isoyetas de precipitación anual de la región, apoyado además por el elaborado por la DGA en el Balance Hídrico Nacional (1984). Cabe mencionar que este mapa tiene un carácter esquemático y aproximado, ya que debido a la inestabilidad regional del patrón de precipitaciones se dificulta trazar una línea de isoprecipitación continua en la región. Este mapa se muestra en la Figura 2.3-45, donde se evidencia la baja pluviosidad en la zona del Proyecto,

como valor medio histórico del orden de 10 mm anuales en el Sector RT disminuyendo a valores mínimos hacia la costa.

A continuación en la Figura 2.3-46 se incluyen, para algunas estaciones, las curvas de variación estacional, en donde no se han incluido las estaciones más costeras (próximas al Proyecto) debido a los escasos eventos de precipitación que presentan en su estadística. Se observa claramente la diferencia del régimen de precipitaciones en sectores de mayor altitud, sobre los 2.800 msnm, donde las precipitaciones se concentran en los meses de enero a marzo. Para la zona intermedia, por ejemplo Calama y Chiu Chiu, las precipitaciones son muy bajas y sin una estacionalidad marcada. En la zona más baja las escasas precipitaciones se producen preferentemente en invierno.

Tabla 2.3-81. Precipitaciones Anuales

ESTACIÓN	CONCHI V.	CONCHI M.E.	CHIU-CHIU	CALAMA	SIERRA G.	COYA SUR	AYQUINA	PARSHALL2	R.GRANDE	TOCOPILLA
Altitud (msnm)	3.491	3.010	2.524	2.300	1.616	1.250	3.031	3.318	3.250	150
Año	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
1967				5,1				25,9		
1968				2				27,2		
1969								25,3		
1970	28,0	14,0	5,3	0			37,5	0,0		
1971	16,1	11,0	1,8	0			12,7	8,0		
1972	112,1	35,0	29,8	20,3			212,7	117,5		
1973	40,9	17,2	8,6	0,14			61,5	32,6		
1974	2,0	7,5	2,0	1,0			14,0	5,0		
1975	95,0	30,8	6,9	9,1		5,0	91,5	53,0		
1976	20,5	8,8	10,0	11,5		0,0	47,0	32,8		
1977	69,6	35,0	3,5	3,2		0,0	104,2	62,2	168,0	
1978	24,5	15,5	1,1	0		0,0	18,5	10,8	35,9	
1979	52,0	32,0	9,5	8,6		0,0	23,0	22,5	67,1	
1980	10,5	2,0	0,0	0		0,0	17,6	19,0	31,6	
1981	37,0	16,0	1,5	0		0,0	28,0	15,0	113,4	
1982	7,0	3,5	1,0	1,0		0,0	7,0	21,5	9,1	
1983	13,2	21,0	9,5	14,2		0,0	22,0	16,4	73,4	
1984	60,5	42,5	14,0	10,7		4,5	82,5	44,5	220,8	
1985	30,0	17,5	2,5	0		0,0	28,7	40,0	95,9	
1986	18,5	19,0	12,0	2,4		0,0	72,5	40,8	116,1	
1987	43,5	38,5	24,0	3,0		0,5	82,0	66,3	148,1	
1988	23,0	3,5	2,0	3,1		0,0	9,5	16,7	9,0	
1989	19,0	10,5	1,0	2,5		0,0	43,0	30,0	91,3	
1990	16,5	20,0	0,0	0,0		0,0	13,5	32,5	64,0	

ESTACIÓN	CONCHI V.	CONCHI M.E.	CHIU-CHIU	CALAMA	SIERRA G.	COYA SUR	AYQUINA	PARSHALL2	R.GRANDE	TOCOPILLA
1991	10,2	9,6	0,0	0,0		1,5	0,5	2,5	9,6	
1992	16,0	8,5	0,5	11,5			12,5	13,1	7,5	
1993	32,6	47,5	7,5	0			47,0	42,6	37,9	
1994	30,5	14,5	4,5	0	6		52,0	33,0	42,4	0,0
1995	111,0	22,0	0,0	0	0		18,5	18,5	81,3	0,0
1996	15,4	0,0	4,8	7,3	0		4,5	4,5	20,2	0,0
1997	207,7	50,0	6,5	1,3	4		53,5	53,5	129,1	0,0
1998	14,2	1,0	0,0	0,5	0		10,5	10,5	30,1	0,0
1999	56,0	13,5	9,0	0	0		16,2	16,2	70,2	0,0
2000	24,5	14,0	9,7	1,8	0		54,6	54,6	112,7	0,0
2001	50,1	34,2	20,3	11,2	2		147,1	147,1	194,3	0,0
2002	51,6	12,0	7,5	4,7	0		64,0	80,0	100,9	16,0
2003	12,1	8,5	6,5	7,5	0		5,0	5,0	21,6	0,0
2004	19,1	15,0	5,2	0,5	0		7,0	7,0	42,8	0,0
2005	47,0	27,0	2,3	7,0	1,5		28,5	28,5	67,2	0,0
2006	17,5	34,2	1,5	0,5	7,5		14,0	14,0	4,5	0,0
2007	10,0	3,0	3,1	0	0		4,0	4,0	0,0	0,0
2008	11,5	5,0	0,0	0	0		12,2	12,2	35,6	0,0
2009	31,5	6,5	9,9	0,2	0		10,5	10,5	20,5	0,0
2010	4,0	0,0	2,5	0	0			0,0	16,9	0,0
2011	66,7	35,0	3,3	6,7	0			0,0	68,3	0,0
Pp Media	37,6	18,1	6,0	3,6	1,2	0,7	39,8	29,4	67,4	0,9

Nota: Los valores destacados (azul) corresponden a estadística rellena mediante correlaciones

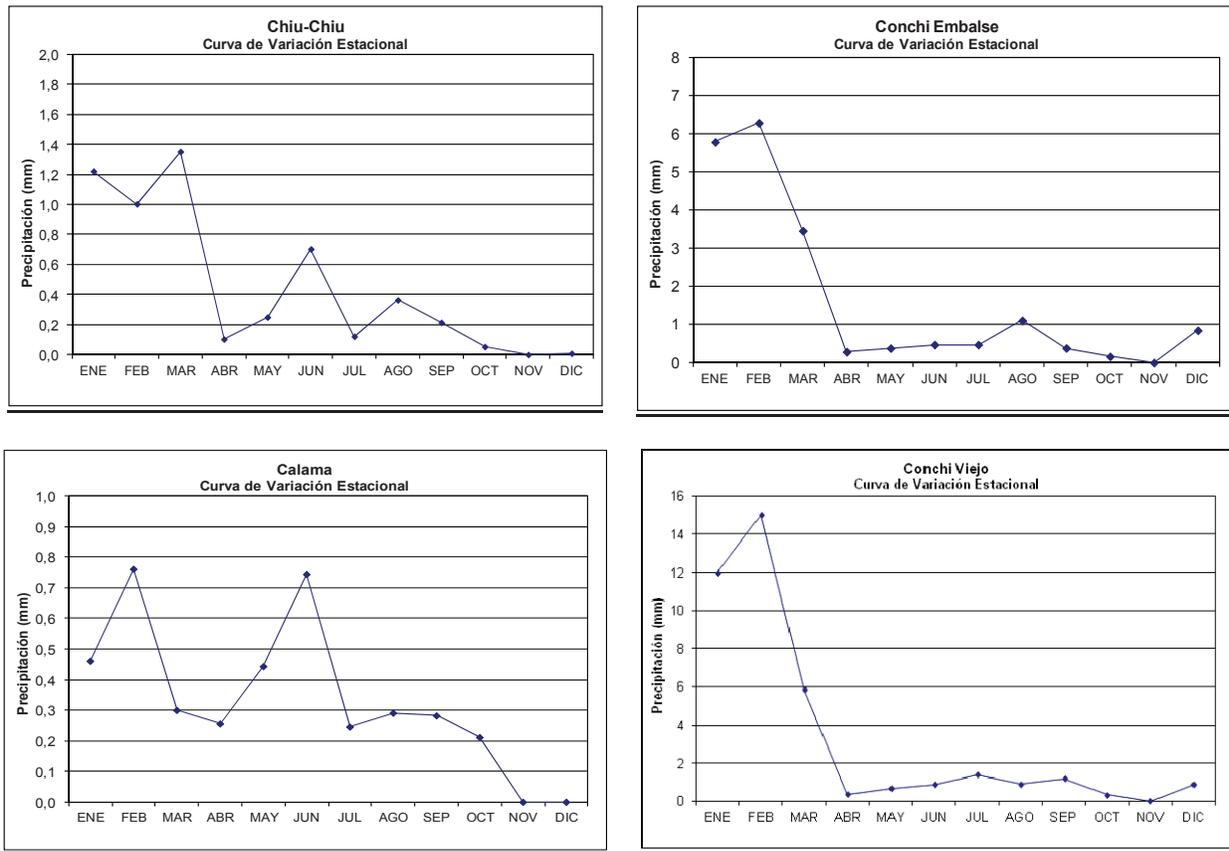
Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3-45. Mapa Isoyetas de Precipitación Anual



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3-46. Curvas de Variación Estacional



Precipitaciones Máximas

Para estimar caudales máximos de crecidas que podrían producirse en las diferentes áreas de influencia del Proyecto, se calcularon las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno. Para el análisis se revisó en primer término, y a modo de referencia, el estudio "Precipitaciones Máximas 1, 2 y 3 Días" (DGA, 1991), permitiendo contar con una referencia preliminar de la precipitación máxima diaria para un período de retorno de 10 años para la zona de estudio. Las precipitaciones utilizadas para el estudio antes mencionado, contienen datos sólo hasta el año 1987. Adicionalmente, se recopiló y revisó la información disponible en las distintas estaciones meteorológicas que registran datos de precipitaciones extremas en la zona de estudio y para los fines de este análisis se incorporó la información de lluvias registradas hasta el año 2011.

Las estaciones Antofagasta y Chiu Chiu son las que presentan la estadística más extensa y completa. Consecuentemente con ello, éstas son las estaciones patrón a utilizar en el presente estudio para complementar los datos faltantes. En la Tabla 2.3-82 se presentan los registros de precipitaciones diarias máximas anuales en las estaciones pluviométricas consideradas en el análisis, en donde se destacan en rojo los años que fueron rellenados a partir de información de una estación vecina.

Tabla 2.3-82. Precipitaciones Diarias Máximas Anuales

AÑO	Conchi Viejo	Conchi Embalse	Chiu Chiu	Ayquina	Calama	Coya Sur	Quillagua	Río Grande	Sierra Gorda	Baquedano	Tocopilla	Antofagasta
1965					6,7							
1966					0,0							
1967				0,5	2,7							
1968				0,5	1,4							
1969				3,0	0,2							
1970				14,5	0,0		0,0					
1971				2,0	0,0		0,0					
1972				44,0	9,5		0,0					
1973	2,1			14,5	0,0		0,0					
1974	2,0		0,0	9,0	0,0	0,0	0,0					
1975	14,5		3,5	44,5	7,0	5,0	0,0			0,0		
1976	5,0		5,0	13,5	6,0	0,0				1,0		
1977	19,5		2,5	29,5	1,5	0,0		52,0		0,0		
1978	16,0	0,0	1,0	15,5	0,0	0,0	0,0	24,5		0,0		0,0
1979	15,5	9,6	3,5	6,5	4,0	0,0	0,0	19,2		1,0		0,5
1980	2,0	1,0	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0	10,1		0,0		0,4
1981	11,0	9,5	1,5	6,0	0,0	0,0	0,0	42,3		0,0		0,7
1982	3,5	4,0	1,0	3,0	0,5	0,0	0,0	5,0		0,0		3,5
1983	2,5	5,5	8,0	6,0	13,5	0,0	0,0	12,0		1,0		6,0
1984	9,5	11,0	4,5	12,5	5,2	3,0	0,4	27,2		6,0		2,0
1985	9,0	4,0	1,5	6,5	0,0	0,0	0,0	19,6		0,0		0,0
1986	11,5	16,0	11,0	19,0	1,5	0,0	0,0	55,3		0,5		1,0
1987	10,5	14,0	21,0	23,5	3,0	0,5	0,0	22,9		3,6		13,2
1988	19,0	1,5	2,0	5,5	3,1	0,0	0,0	4,5		0,0		0,0
1989	8,5	5,0	0,5	13,5	2,0	0,0	0,0	12,9		0,0		0,5
1990	2,5	11,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	14,1		0,0		0,0
1991	2,8	11,0	0,0	0,5	0,0	1,5	0,0	3,6		17,5		17,0
1992	4,3		0,5	7,5	7,5		1,0	4,7		0,0		3,0
1993	8,8		3,0	8,5	0,0		0,0	7,9		0,0		0,0

AÑO	Conchi Viejo	Conchi Embalse	Chiu Chiu	Ayquina	Calama	Coya Sur	Quillagua	Río Grande	Sierra Gorda	Baquedano	Tocopilla	Antofagasta
1994	4,5		3,5	24,0	0,0		0,0	11,2	6,0	0,0	0,0	0,8
1995	65,0		0,0	11,5	0,0		0,0	39,9	0,0	0,6	0,0	1,0
1996	7,0		4,8	4,5	3,5		0,0	8	0,0	0,3	0,0	0,5
1997	42,0		3,0	14,0	0,5		0,0	17,5	2,5	0,0	0,0	0,0
1998	10,0		0,0	6,0	0,5		0,0	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1999	15,0		8,0	6,0	0,0		0,0	29,1	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	5,0		4,5	30,3	1,5		0,0	17,8	0,0	1,0	0,0	1,8
2001	10,0		4,5	26,0	7,7		3,0	28,4	2,0	0,0	0,0	0,0
2002	11,5		3,5	26,0	3,7		0,2	29,5	0,0	3,0	11,5	3,8
2003	6,5		6,5	5,0	7,5		0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0
2004	11,0		3,5	3,0	0,5		0,0	24,1	0,0	0,0	0,0	0,1
2005	6,5		1,1	13,0	3,5		0,5	12,5	1,5	7,5	0,0	0,4
2006	5,0		1,5	6,5	0,5		0,0	2,5	7,5	3,0	0,0	11,5
2007	5,0		2,5	4,0	0,0		0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
2008	9,5		0,0	0,0	0,0		0,0	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	14,5		6,0	10,5	0,2		0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	1,6
2010	4,0		1,5	1,5	0,0		0,0	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0
2011	10,5		1,5	9,0	4,0		0,0	11,4	0,0	3,0	0,0	6,1

Nota: Los valores destacados (azul) corresponden a estadística rellena mediante correlaciones

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior (Tabla 2.3-82) se observa que sólo en las estaciones ubicadas a mayor altitud presentan eventos extremos de importancia en la mayoría de los años, mientras que en la zona intermedia como Calama se presentan en pocos años y en la zona más baja son muy esporádicos de baja magnitud.

A partir de los datos registrados, se realizaron análisis estadísticos para el cálculo de precipitaciones para los períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, aplicando los modelos de distribución Normal, Log Normal, Pearson, Log Pearson y Gumbel. Se descartó del análisis la estación Tocopilla ya que presenta sólo un dato de precipitación mayor que cero. Debido a la cantidad de valores nulos de precipitación, es necesario eliminar estos valores para el cálculo de probabilidades y los resultados obtenidos son corregidos para considerar estos valores nulos, para lo que se utiliza la siguiente relación:

Probabilidad con valores nulos: $H(x) = p \cdot G(x)$

Donde: $G(x)$: probabilidad sin valores nulos

p : probabilidad de encontrar valores no nulos

A cada análisis se aplicó el test de Chi-cuadrado para ver la bondad del ajuste, adoptando finalmente el promedio de las que cumplían con el test señalado. En la Tabla 2.3-83 se presentan los valores adoptados de precipitación máxima diaria para cada estación para diferentes periodos de retorno.

Tabla 2.3-83. Precipitaciones Máximas Diarias (mm)

Estación	Periodo de Retorno (años)			
	T=10	T=25	T=50	T=100
Conchi Viejo	22,2	33,5	43,5	54,8
Conchi Embalse	14,7	18,7	21,7	24,9
ChiuChiu	7,7	11,0	13,8	16,8
Ayquina	27,5	39,1	48,8	59,5
Calama	5,7	7,4	8,6	9,9
Coya Sur	2,0	2,5	2,9	3,3
Quillagua	1,2	1,4	1,5	1,7
Río Grande	35,9	47,6	56,8	66,5
Sierra Gorda	2,8	3,4	3,8	4,2
Baquedano	4,3	6,1	7,7	9,6
Antofagasta	6,6	10,0	13,1	16,7

Con los valores calculados se elaboró un mapa de isoyetas de precipitación máxima para un periodo de retorno 10 años cubriendo la totalidad del área del Proyecto (Figura 2.3-47).

Caudales Río Loa

El río Loa posee una longitud aproximada de 440 kilómetros con una cuenca hidrográfica que supera los 33.081 km² y se origina cerca de Ollagüe, a los pies del volcán Miño a más de 4.000 msnm. Recorre un cañón por más de 150 kilómetros en su recorrido inicial hacia el sur hasta llegar al oasis de Chiu Chiu. En este tramo inicial, el Loa recibe a sus principales emisarios: el río San Pedro de Inacaliri a la altura del embalse Conchi y el río Salado, algunos kilómetros al sur de Chiu Chiu. Posteriormente el Loa toma orientación oeste y recorre 115 km internándose en el desierto de Atacama hasta llegar a la localidad de Chacance donde se junta con el río San Salvador y donde se reorienta hacia el norte por más de 80 km hasta llegar a Quillagua en donde da su último giro hacia el oeste y, tras internarse en la cordillera de la Costa a través de un profundo cañón de 500 metros de altura, desemboca al mar en Caleta Huelén.

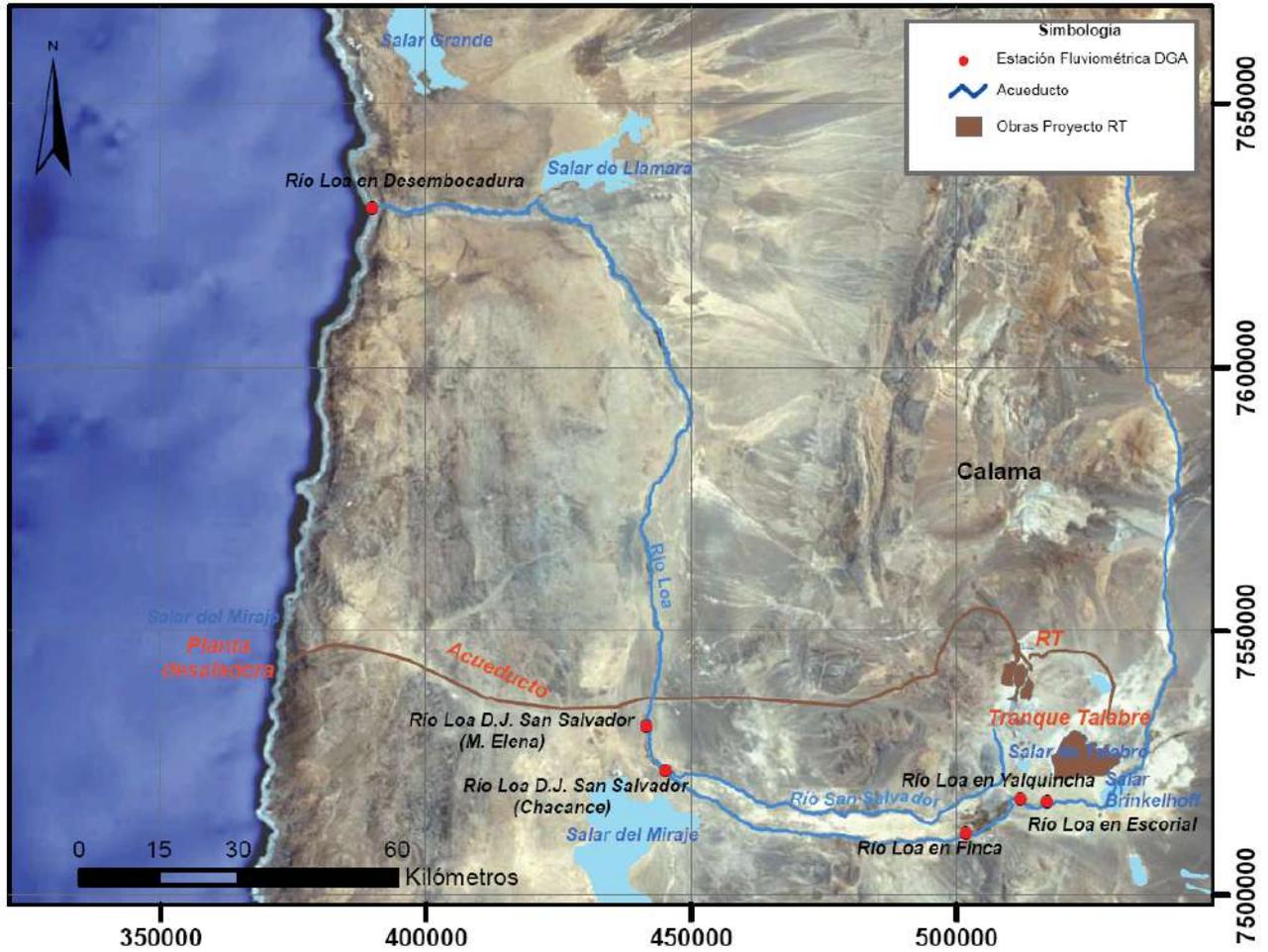
A pesar de su gran superficie hidrográfica, el Loa tiene un bajo caudal debido a las características desérticas de la zona. El régimen del río es principalmente pluvial, acentuando su caudal durante los meses del verano producto de las intensas precipitaciones en la zona altiplánica (fenómeno conocido como Invierno Altiplánico).

Considerando la presencia del río Loa en las proximidades de las área involucradas en el Proyecto, se realizó una caracterización del régimen del río en la zona, para lo cual se utilizó la información recopilada para el informe Estudio Hidrológico río Loa (Hatch, 2012), elaborado principalmente a partir de estadística fluviométrica de la DGA. Las estaciones utilizadas se señalan en la Tabla 2.3-85, y en la Figura 2.3-48 se muestra su ubicación geográfica.

Tabla 2.3-85. Estaciones Fluviométricas Río Loa

Nombre Estación	Código	Coordenadas UTM Datum PSAD 56		Altitud (msnm)
		Norte (m)	Este (m)	
Río Loa en Escorial	02110001-3	7.515.476	517.147	2.450
Río Loa en Yalquincha	02110002-1	7.517.326	512.004	2.300
Río Loa en Finca	02110004-8	7.511.795	501.714	2.100
Río Loa D.J. San Salvador (Chacance)	02112006-5	7.523.692	445.698	1.238
Río Loa D.J. San Salvador (M. Elena)	02112007-3	7.531.966	438.202	1.240
Río Loa en Desembocadura	02120001-8	7.631.331	389.443	12

Figura 2.3-48. Ubicación Estaciones Fluviométricas



Fuente: Elaboración propia

En el estudio señalado (Hatch, 2012) se incluye un análisis de frecuencia para los caudales medios mensuales en las estaciones de Yalquincha, La Finca y Desembocadura, basados estadísticas de estaciones de la DGA del año 2004, y cuyos resultados se muestran en las siguientes tablas (Tabla 2.3-86, Tabla 2.3-87 y Tabla 2.3-88).

Tabla 2.3-86. Caudal Medio Mensual Río Loa en Estación Yalquincha (m³/s)

P Ex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	1,88	2,44	2,09	1,91	1,87	1,93	1,81	2,04	2,23	2,44	3,32	3,87
10	1,72	2,10	1,90	1,75	1,73	1,76	1,66	1,87	2,08	2,22	2,82	3,06
20	1,55	1,79	1,70	1,59	1,58	1,58	1,50	1,68	1,91	1,98	2,36	2,36
50	1,30	1,40	1,40	1,34	1,33	1,31	1,27	1,38	1,58	1,62	1,80	1,57
85	1,08	1,15	1,14	1,12	1,07	1,07	1,06	1,07	1,18	1,31	1,45	1,13
95	0,98	1,06	1,01	1,03	0,94	0,96	0,96	0,93	0,94	1,17	1,33	1,00

Fuente: Hatch, 2012

Tabla 2.3-87. Caudal Medio Mensual Río Loa en Estación La Finca (m³/s)

P Ex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	1,68	2,06	1,78	1,59	1,42	1,09	0,70	0,64	0,61	1,42	3,10	3,73
10	1,23	1,63	1,54	1,39	1,24	0,92	0,61	0,55	0,54	1,11	2,00	2,28
20	0,86	1,23	1,28	1,18	1,04	0,75	0,52	0,45	0,46	0,83	1,21	1,31
50	0,47	0,71	0,89	0,86	0,76	0,51	0,38	0,31	0,32	0,47	0,53	0,55
85	0,28	0,36	0,55	0,57	0,51	0,32	0,25	0,20	0,20	0,23	0,28	0,30
95	0,23	0,25	0,39	0,44	0,40	0,24	0,19	0,15	0,15	0,16	0,23	0,26

Fuente: Hatch, 2012

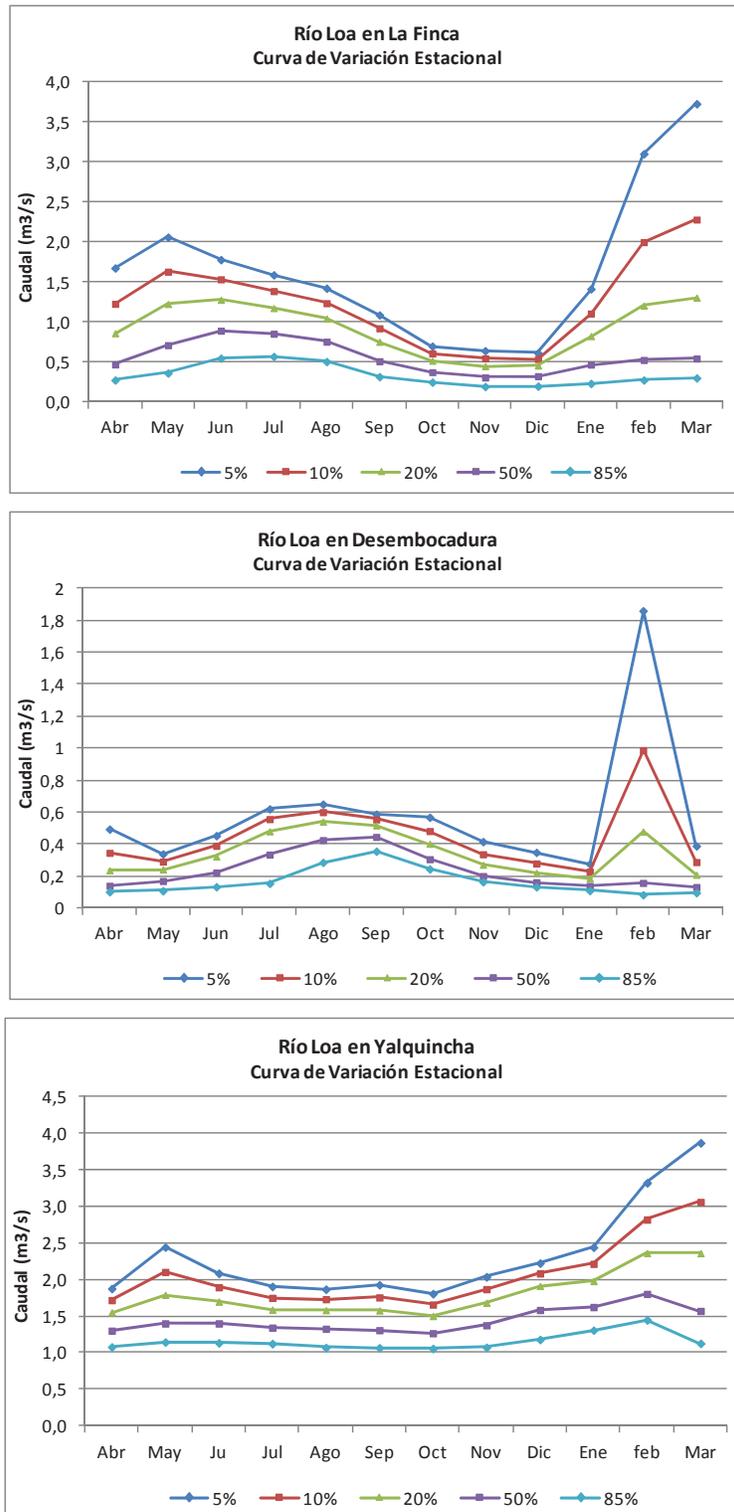
Tabla 2.3-88. Caudal Medio Mensual Río Loa en Desembocadura (m³/s)

P Ex (%)	Abr	May	Ju	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	feb	Mar
5	0,50	0,34	0,45	0,62	0,65	0,59	0,57	0,42	0,35	0,28	1,86	0,39
10	0,35	0,29	0,39	0,56	0,60	0,56	0,48	0,34	0,28	0,23	0,99	0,29
20	0,24	0,24	0,32	0,48	0,54	0,52	0,40	0,27	0,22	0,19	0,48	0,21
50	0,14	0,17	0,22	0,34	0,43	0,45	0,31	0,20	0,16	0,14	0,16	0,13
85	0,10	0,11	0,14	0,16	0,29	0,36	0,25	0,17	0,13	0,11	0,09	0,10
95	0,10	0,09	0,10	0,05	0,20	0,30	0,23	0,16	0,13	0,10	0,08	0,09

Fuente: Hatch, 2012

En la Figura 2.3-49 se muestra la curva estacional del caudal medio mensual para las estaciones mencionadas.

Figura 2.3-49. Curva Estacional Caudal Río Loa



Se observa en general un régimen pluvionival, con los valores máximos registrados en verano con ocasión de lluvias estacionales, pero con un escurrimiento permanente producto del derretimiento de la nieve acumulada. En los años más húmedos este régimen es más notorio, mientras que en los años más secos con ausencia de lluvias importantes en verano, los caudales máximos se registran durante el invierno.

b) Marco Hidrológico en Relación a los Sectores del Proyecto

Sector RT

De acuerdo con el régimen de precipitaciones estudiado, en este sector se manifiesta de manera leve el efecto estacional del Invierno Altiplánico, si bien las mayores precipitaciones son en verano, éstas no alcanzan una magnitud importante como en zonas de mayor altitud. El área mina se ubica a una cota en torno a 2.950 msnm rodeada de cerros que se elevan entre los 3.200 y 3.400 msnm. La precipitación media anual del sector, según plano de isoyetas elaborado, estaría entre los 10 y 15 mm anuales, y la precipitación máxima diaria para un periodo de retorno de 10 años estaría entre 8 y 10 mm.

Área Mina:

En la Figura 2.3-50 se muestra las áreas de escurrimiento hacia la mina de RT que producen escorrentías eventuales y de poca magnitud, no generando cauces importantes afluentes al área.

Figura 2.3-50. Escorrentía Área Mina



Fuente: Elaboración propia, base Google Earth.

Para las subcuencas delimitadas como afluentes al área mina de la figura anterior, se calculó la escorrentía producto de lluvias extremas de hasta 100 años de periodo de retorno. Aplicando la Fórmula Racional de acuerdo con la metodología descrita anteriormente, los parámetros utilizados son los siguientes:

Tabla 2.3-89. Geomorfología Cuencas Afluentes Área Mina

Cuenca	Área	Cota (msnm)		H	L	i	Tiempo Concentración (min)			P _{max} 24h T=10 mm
	km ²	máx	mín	m	km	m/m	California	Giandotti	Adoptado	
Cuenca 1	10	3470	3030	440	2	22,0%	12	79	46	10
Cuenca 2	74	3600	3000	600	7	8,6%	46	194	120	10
Cuenca 3	3	3200	3070	130	0,9	14,4%	8	77	42	10
Cuenca 4	1	3100	3000	100	0,5	20,0%	4	50	50	10

Para el cálculo de caudal máximo de crecida se utilizó una precipitación máxima diaria periodo de retorno 10 años de 10 mm, de acuerdo con las isoyetas elaboradas. Aplicando la Fórmula Racional, en la Tabla 2.3-90 se muestran los caudales de crecida calculados.

Tabla 2.3-90. Caudal Máximo Cuencas Afluente Área Mina

Cuenca	1	2	3	4
T (años)	Qmax (L/s)			
10	952	3043	242	80
25	1407	4498	358	119
50	1911	6111	486	162
100	1382	7844	624	207

Los caudales calculados para cada cuenca escurren por varias quebradas que al llegar al llano donde se ubica el Sector RT, en el caso de las cuencas 1 y 2, se expanden en un abanico de cauces.

Para el caso de la Cuenca 1, afluente oeste del rajo, el caudal máximo de crecida de 1.382 L/s podría llegar al área por múltiples cauces pequeños, estimándose valores inferiores a 100 L/s cada uno.

Para la Cuenca 2, afluente al noroeste del área, el mayor caudal de crecida no debiera superar los 300 l/s, el cual escurriría divergiendo por más de 30 cauces o surcos de agua.

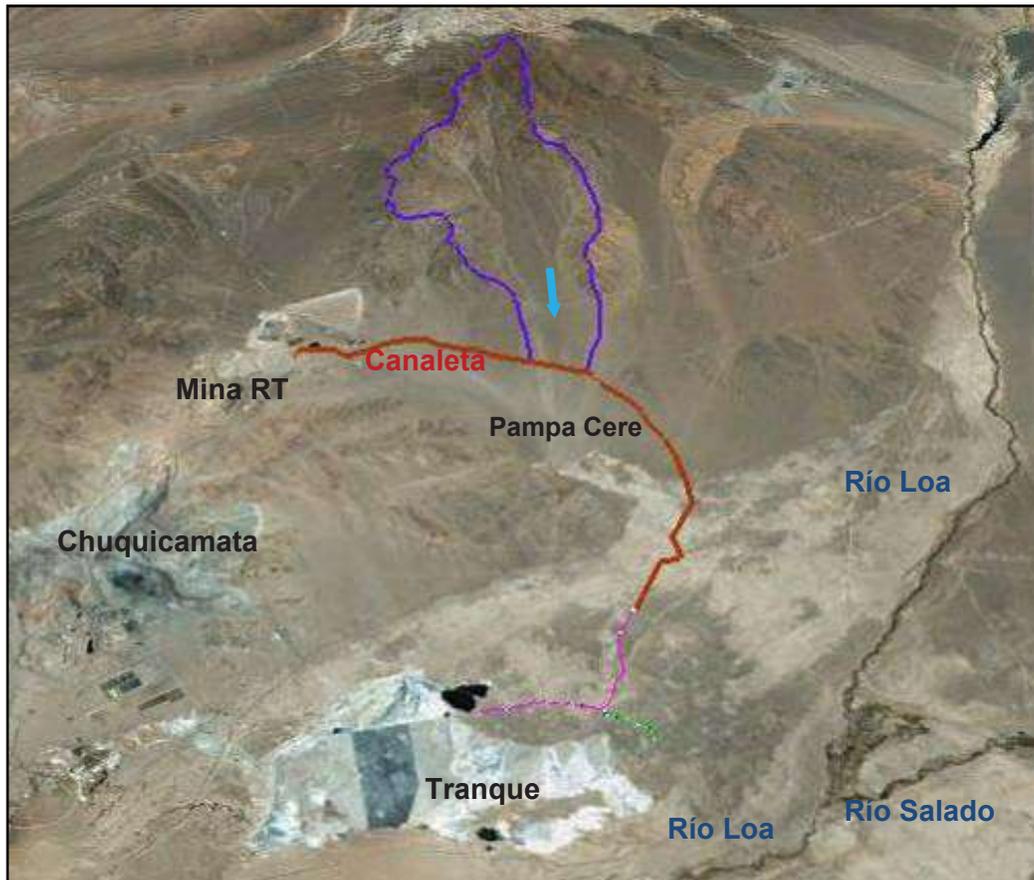
Para la Cuenca 3, afluente este del rajo, la escorrentía se encauzaría por unas 20 pequeñas quebradas, y el mayor caudal de crecida en alguna de ellas sería del orden de 50 L/s.

Para la Cuenca 4 se identifican unas 20 pequeñas quebradas que, por tratarse de una cuenca más pequeña que las anteriores, no produce caudales de crecida de importancia, estimándose en unos 15 L/s el máximo para alguna quebrada.

Canaleta de Relaves:

La canaleta de relaves, que va desde la mina hasta el tranque de Talabre entre las cotas 2.900 y 2.500 msnm aproximadamente, sólo atraviesa un área donde intercepta numerosos cauces pequeños generados a partir de abanicos aluviales originados por quebradas que acceden principalmente desde el norte, siendo el más importante el asociado a la quebrada Paqui, cuya cuenca hidrográfica se muestra en la Figura 2.3-51.

Figura 2.3-51. Hidrología Canaleta de Relaves



Fuente: Elaboración propia, base Google Earth.

En el Anexo 2.3-8 se incluye el informe Estudio Hidrológico de Quebradas Trazado Canaleta de Relaves (Conic-BF - Codelco, 2013), en el que se identificaron 14 quebradas como importantes que interceptan la canaleta y en que las quebradas menores que se descartan debieran ser encausadas gravitacionalmente hacia éstas para dimensionar una obra de cruce. En este sentido, las áreas hidrográficas aportantes a cada punto de cierre de cuenca involucran la quebrada principal y, si corresponde, otras de menor magnitud que confluirían a este punto bajo la situación futura con proyecto.

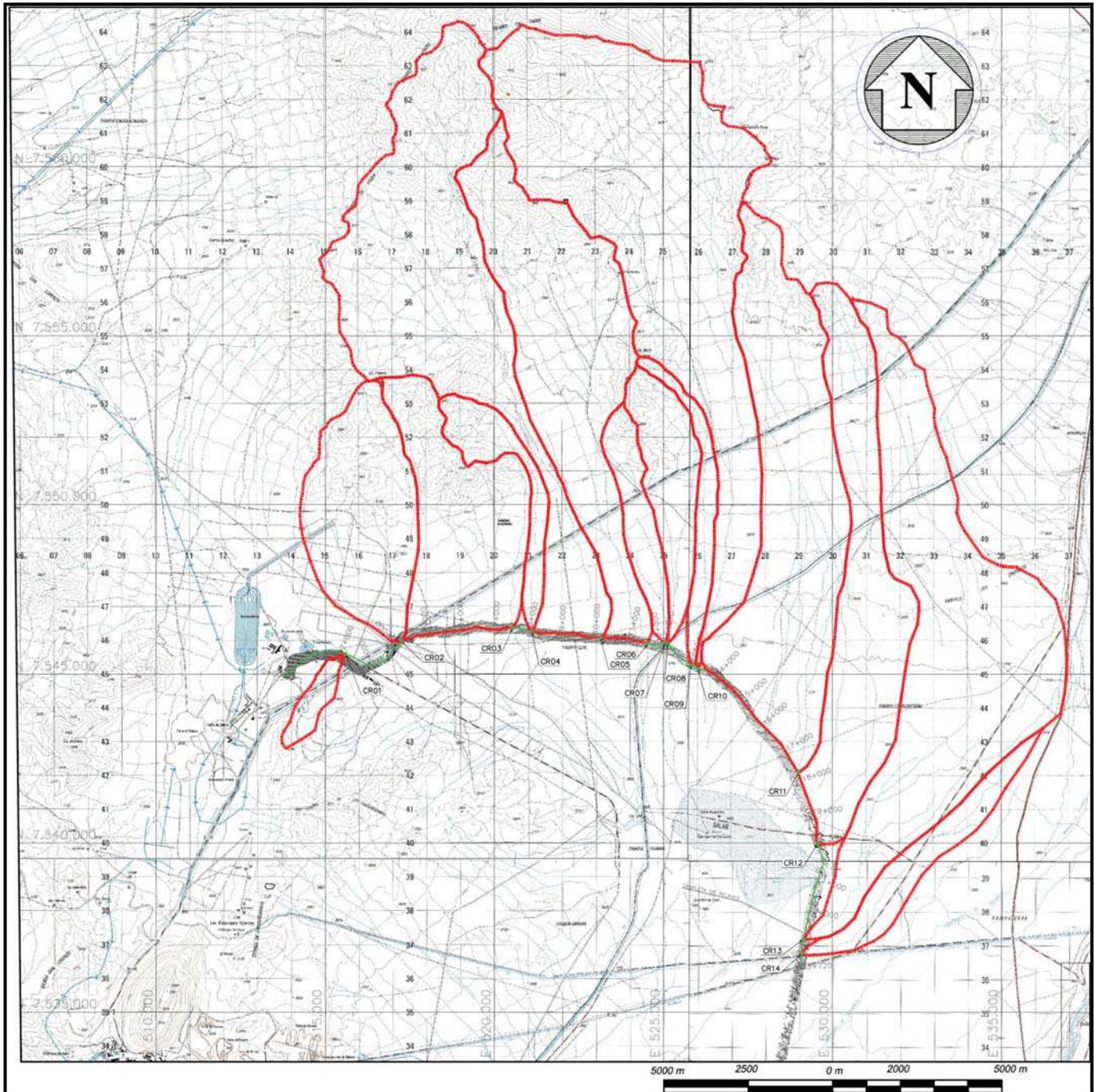
En la Figura 2.3-52 se muestran las quebradas definidas en el estudio señalado y en la Tabla 2.3-91 se señalan las coordenadas UTM (Datum WGS 84) de la intersección de éstas con la canaleta y el área de cuenca aportante al punto de cierre hidrográfico o atraveso.

Tabla 2.3-91. Ubicación Puntos de Atraveso y Áreas Aportante

Atraveso	Kilometraje (*)	Coordenadas UTM		Área
	(km)	Este (m)	Norte (m)	(km ²)
CR01	2.10	515,586	7,545,594	1.92
CR02	4.16	517,258	7,545,939	18.77
CR03	7.50	520,530	7,546,383	20.45
CR04	8.10	521,113	7,546,275	5.87
CR05	10.16	523,139	7,546,085	46.79
CR06	11.56	524,526	7,545,906	33.85
CR07	12.00	525,042	7,545,908	5.77
CR08	12.18	525,128	7,545,886	9.37
CR09	13.15	525,851	7,545,265	4.56
CR10	13.36	526,035	7,545,156	59.91
CR11	17.72	528,980	7,542,087	38.23
CR12	19.94	529,556	7,539,980	26.52
CR13	22.88	529,144	7,537,155	49.34
CR14	23.30	529,083	7,536,743	7.42

Fuente: BF-Conic – Codelco, 2013

Figura 2.3-52. Cuencas Hidrográficas Afluentes Canaleta Relaves



Fuente: BF-Conic – Codelco, 2013

En la Tabla 2.3-92 se muestran los resultados finales del estudio de BF-Conic en cuanto a los caudales de crecidas asociados a las cuencas aportantes a los puntos de atraveso identificados, para periodos de retorno de 100 y 150 años.

Tabla 2.3-92. Caudales Puntos de Atraveso Canaleta Relaves

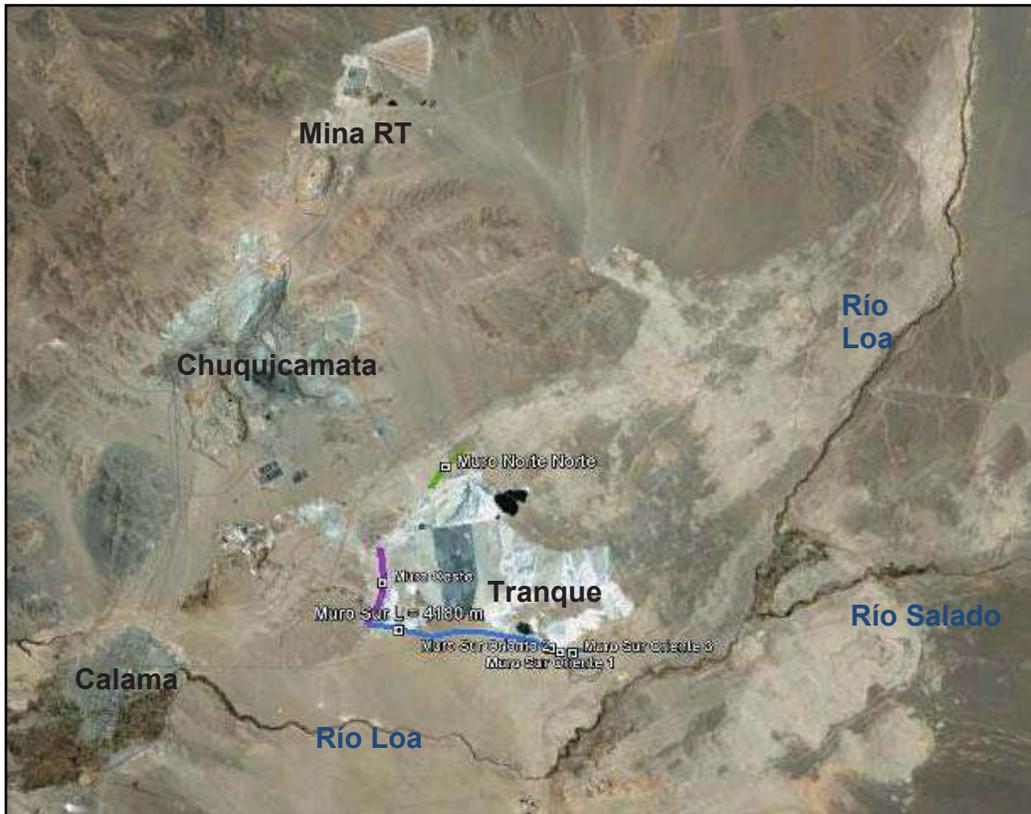
Atraveso	Área (km ²)	Q (T=100 años) (m ³ /s)	Q (T=150 años) (m ³ /s)
CR01	1.92	1.46	1.68
CR02	18.77	1.57	2.85
CR03	20.45	1.42	2.63
CR04	5.87	1.79	2.06
CR05	46.79	4.03	6.69
CR06	33.85	2.83	4.84
CR07	5.77	1.13	1.30
CR08	9.37	2.01	2.31
CR09	4.56	0.62	0.71
CR10	59.91	4.71	7.82
CR11	38.23	1.61	2.72
CR12	26.52	0.85	1.47
CR13	49.34	1.13	2.12
CR14	7.42	0.67	0.78

Fuente: BF-Conic – Codelco, 2013

Sector Talabre

De acuerdo con el régimen de precipitaciones estudiado, en el área Tranque Talabre se manifiesta de manera leve el efecto estacional del “Invierno Boliviano”, si bien las mayores precipitaciones son en verano, éstas no alcanzan una magnitud importante como en zonas de mayor altitud. En la Figura 2.3-53 se muestra la ubicación geográfica del sector.

Figura 2.3-53. Hidrología Sector Talabre



Fuente: Elaboración propia, base Google Earth.

El sector del tranque se ubica a una cota de 2.500 msnm sin cursos de agua relevantes afluentes al tranque y las precipitaciones son muy escasas y sin influencia de los eventos de precipitación asociados al Invierno Boliviano. La precipitación media anual es de 4 mm y la precipitación máxima diaria para un periodo de retorno de 10 años estaría en 7 mm. Estos eventos extremos no producen cursos de agua de importancia afluentes al tranque.

El río Loa pasa a unos 2,5 km al suroriente del tranque y en este sector se ubica la estación fluviométrica Yalquincha de la DGA. Los mayores caudales se producen en los meses de enero a marzo con caudales medio mensual en torno a 3 m³/s para periodo de retorno de 10 años.

Además se consideraron los registros de caudales máximos diarios de dicha estación (Tabla 2.3-89) para estimar los valores máximos de crecidas del río en el sector de Talabre. Realizando un análisis de frecuencia a estos registros, el mejor ajuste se obtuvo en la distribución Log-Normal, obteniéndose los siguientes caudales máximos según periodo de retorno (Tabla 2.3-93).

Tabla 2.3-93. Caudal Máximo Río Loa en Yalquincha

Periodo Retorno años	Q max 24h (m ³ /s)
100	14,2
50	12,0
25	10,0
10	7,5

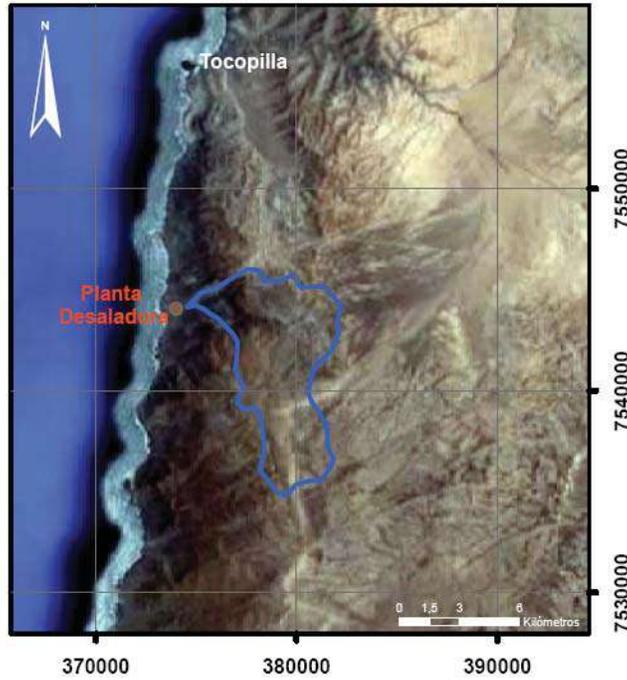
En el sector de Talabre, el cauce principal del río Loa tiene un ancho en su lecho de unos 4 m para el cauce de escurrimiento base permanente, que sería del orden de 2 m³/s. El caudal máximo de crecida de 14,2 m³/s sobre este caudal base, es decir 12,2 m³/s, escurriría sobre un talud bien extendido que de acuerdo con la pendiente del sector no debiera superar una altura de 50 cm. El cauce en esta sección extendida presenta alturas del orden de 1 m, por lo que el riesgo de desbordes para esta crecida centenaria es mínimo. Además, el contorno del tranque presenta cotas como mínimo 10 m sobre el río lo que minimiza aún más el riesgo de desborde del río hacia el tranque.

Sector Planta Desaladora

En este sector se iniciará el acueducto de impulsión de agua al reservorio ubicado en el área mina de RT. De acuerdo con el análisis de precipitaciones realizado, en la zona costera éstas son muy escasas y sólo se limitan a eventos esporádicos y de pequeña magnitud. La planta desaladora se ubicará sobre una terraza marina y no se identifican cursos de agua de carácter permanente, debido a la escasa precipitación. La precipitación media anual es inferior a 1 mm y la precipitación máxima diaria de periodo de retorno 10 años del orden de 1 mm.

En la Figura 2.3-54 se muestra el área de la cuenca hidrográfica afluente al sector donde se emplazarán las obras marinas. En la Figura 2.3-55 se muestra una vista del área donde se proyectan las obras, donde se observa la quebrada afluente al sector, que desemboca en el mar en un abanico de cauces menores. No presenta escurrimiento permanente y sólo se aprecia un cauce más principal a unos 250 m al sur de las obras proyectadas.

Figura 2.3-54. Cuenca Quebrada Afluyente Sector Planta Desaladora



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3-55. Vista Cuenca Sector Planta Desaladora



Fuente: Elaboración propia

Se calculó el caudal máximo que podría escurrir por la quebrada afluente al área, considerando que ocurrieran precipitaciones para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años según los cálculos anteriores. Aplicando la Fórmula Racional de acuerdo con la metodología descrita anteriormente, los parámetros utilizados son los siguientes:

Área cuenca = 46,6 km²
 Longitud cauce principal = 13,6 km
 Altura máxima = 1.600 msnm
 Altura salida = 80 msnm
 Tiempo Concentración = 1,66 horas

En la Tabla 2.3-94 se muestra la aplicación de la Fórmula Racional. Los caudales de crecida obtenidos son bajos, consecuente con las bajas precipitaciones y el tamaño del área de la cuenca aportante.

Tabla 2.3-94. Caudal Máximo Quebrada Afluente Sector Planta Desaladora

T	C(10)	CFc	C(T)	P24T	Tc	CDTc	ITcT	Qmax
años				mm	hrs		mm/hr	l/s
10	0,11	1,00	0.110	1.0	1.66	0.263	0.2	226
25	0,11	1,10	0.121	1.3	1.66	0.263	0.2	333
50	0,11	1,23	0.135	1.6	1.66	0.263	0.3	453
100	0,11	1,32	0.145	2.0	1.66	0.263	0.3	581

El caudal máximo para 100 años de retorno debiera ser conducido por el cauce principal de la quebrada, la cual tiene un ancho variable entre 5 y 10 m. Considerando la pendiente del cauce hacia aguas arriba estimada en un 10%, la altura de escurrimiento durante una crecida de 581 l/s debiera ser del orden de 7 cm.

Sector Planta Desaladora-RT (Línea de Impulsión de Agua)

El trazado de la línea de impulsión tiene 160 km de longitud. En su primer tramo de 4 km este trazado asciende fuertemente hasta una altitud de unos 1.100 msnm por altas cumbres que dividen dos cuencas costeras, es decir, en este tramo el trazado no interviene con la red hídrica. En los siguientes 4 km con una pendientes más suave atraviesa primero la cuenca de la Quebrada Tres Puntas ascendiendo a los 1.400 msnm y desde allí comienza un leve descenso para atravesar la cuenca de la Quebrada Barriles, hasta llegar a la planicie que caracteriza la pampa desértica. Por esta planicie cruza el río Loa y numerosos cauces menores hasta su término en el reservorio. Estas cuencas mencionadas constituyen el cauce natural de drenaje de lluvias ocasionales. El acueducto termina en un reservorio ubicado al oriente del área mina del sector RT, a aproximadamente 1.700 m del rajo.

En Anexo 2.3-9 se incluye el informe Estudio Hidráulico Cruces de Quebradas y Paralelismos (Codelco, 2012) donde se señalan las quebradas identificadas como importantes a considerar en el cruce con el acueducto, que son las señaladas en la Tabla 2.3-95, y el análisis hidrológico para el cálculo de los caudales máximos de crecidas asociadas a un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 2.3-95. Ubicación Quebradas y Área Cuencas Aportantes

Cuenca	Kilometraje	Coordenadas (m)		Área
	km	Norte	Este	km ²
A1.1	4,90	7.546.258	378.698	0,98
A1.2	5,55	7.546.461	379.290	0,68
A1	5,90	7.546.619	379.609	1,1
A2	6,25	7.546.743	379.884	0,52
A3.1	16,85	7.546.315	390.327	73,3
A3	19,80	7.545.538	393.270	1,5
A4	23,00	7.544.719	396.257	160,9
A5	40,90	7.537.421	412.433	8,2
A6	45,35	7.536.505	416.717	3,4
A7	48,75	7.536.118	419.806	18,3
A8	51,05	7.535.796	422.368	8,9
A9	57,95	7.535.507	429.129	64,6
A10	63,55	7.535.722	434.768	50,3
A11	65,10	7.535.945	436.325	3312
A12	73,10	7.537.305	443.994	32,0
A13	74,30	7.537.290	445.169	3,8
A14	74,60	7.537.292	445.456	39,6
A15	78,25	7.537.273	449.144	380,5
A16	79,25	7.537.301	450.135	5,5
A17	81,20	7.537.353	452.149	555,7
A18	87,35	7.537.402	458.253	28,0
A19	89,45	7.537.371	460.328	49,0
A20	98,36	7.536.670	469.154	8,2
A21	100,80	7.536.490	471.552	167,8
Paralelismo 1	117,7-119,9	7.538.902	487.947	7,3
A23	123,90	7.541.151	493.479	9,7
A24	126,70	7.542.058	496.036	6,2
A25	127,45	7.542.792	496.157	3,8
A26	128,05	7.543.387	496.257	5,9
A27	129,25	7.544.570	496.453	16,7
A28	130,60	7.545.790	496.951	3,1
A29	132,10	7.547.168	497.622	59,4
A30	132,90	7.547.866	497.961	5,7
A31	133,00	7.547.949	497.999	4,0
A32	133,25	7.548.192	498.117	4,2
A33	133,70	7.548.609	498.320	3,5
A34	134,30	7.549.146	498.582	7,1
A35	134,70	7.549.531	498.769	2,5
A36	135,00	7.549.817	498.908	2,7
A37	135,35	7.550.047	499.018	5,0
A38	136,00	7.550.628	499.302	5,1
A39	136,35	7.550.992	499.479	2,6
A40	136,95	7.551.524	499.736	6,0
A43	140,35	7.553.607	502.538	7,4
A44	142,15	7.554.160	504.127	1,6
Paralelismo 2	142,9-143,9	7.554.364	509.128	24,0
A45	144,00	7.554.016	505.857	1,0
A46	145,60	7.553.692	507.233	3,5
A46.1	146,30	7.553.488	508.068	0,7
B48	148,20	7.552.130	509.300	1,1
Paralelismo 3	148,4-148,8	7.552.322	509.128	7,3
B49	149,30	7.551.249	509.953	1,0
B50	149,65	7.550.926	510.086	1,1
B51	150,00	7.550.598	510.204	1,2
B52	150,65	7.550.008	510.428	1,6
B53	151,75	7.548.983	510.821	1,2
B54	152,80	7.548.003	511.197	1,6
B55	154,50	7.546.346	511.809	5,0
A57	156,36	7.544.838	512.742	34,9

Fuente: Techint-Codelco, 2012.

En la Figura 2.3-56 se muestra la ubicación de las quebradas seleccionadas y su área de cuenca hidrográfica aportante al punto de cruce con la línea del acueducto, y en la Tabla 2.3-96 los parámetros geomorfológicos y tiempos de concentración utilizados para el cálculo de caudal máximo.

En la Tabla 2.3-97 se señalan los caudales máximos calculados por el método de la Fórmula Racional y en la Tabla 2.3-98 los calculados mediante el Hidrograma Triangular SCS.

Figura 2.3-56. Quebradas que Atraviesa Línea de Impulsión

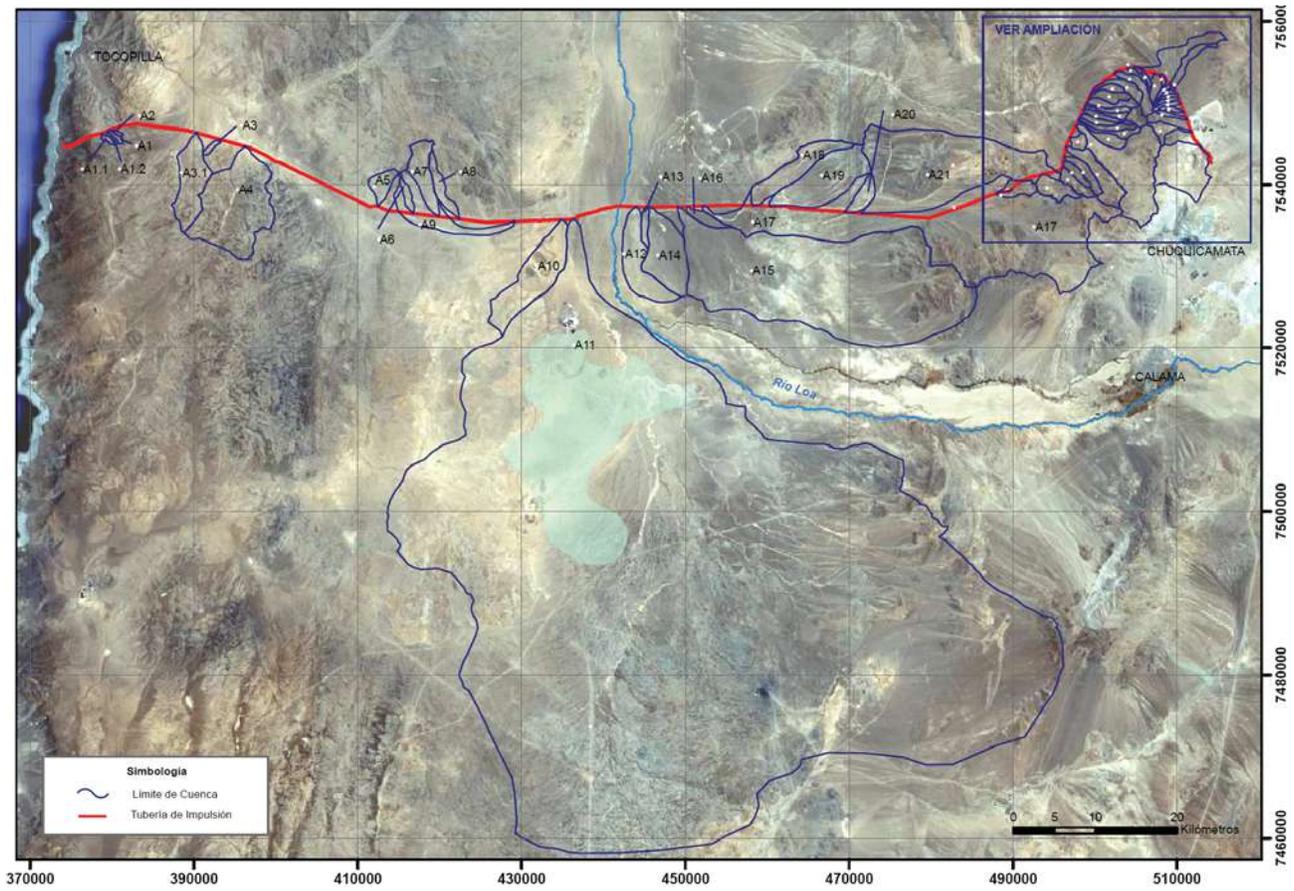


Figura 2.3-57. Quebradas que Atraviesa Línea de Impulsión (Sector Oriente)

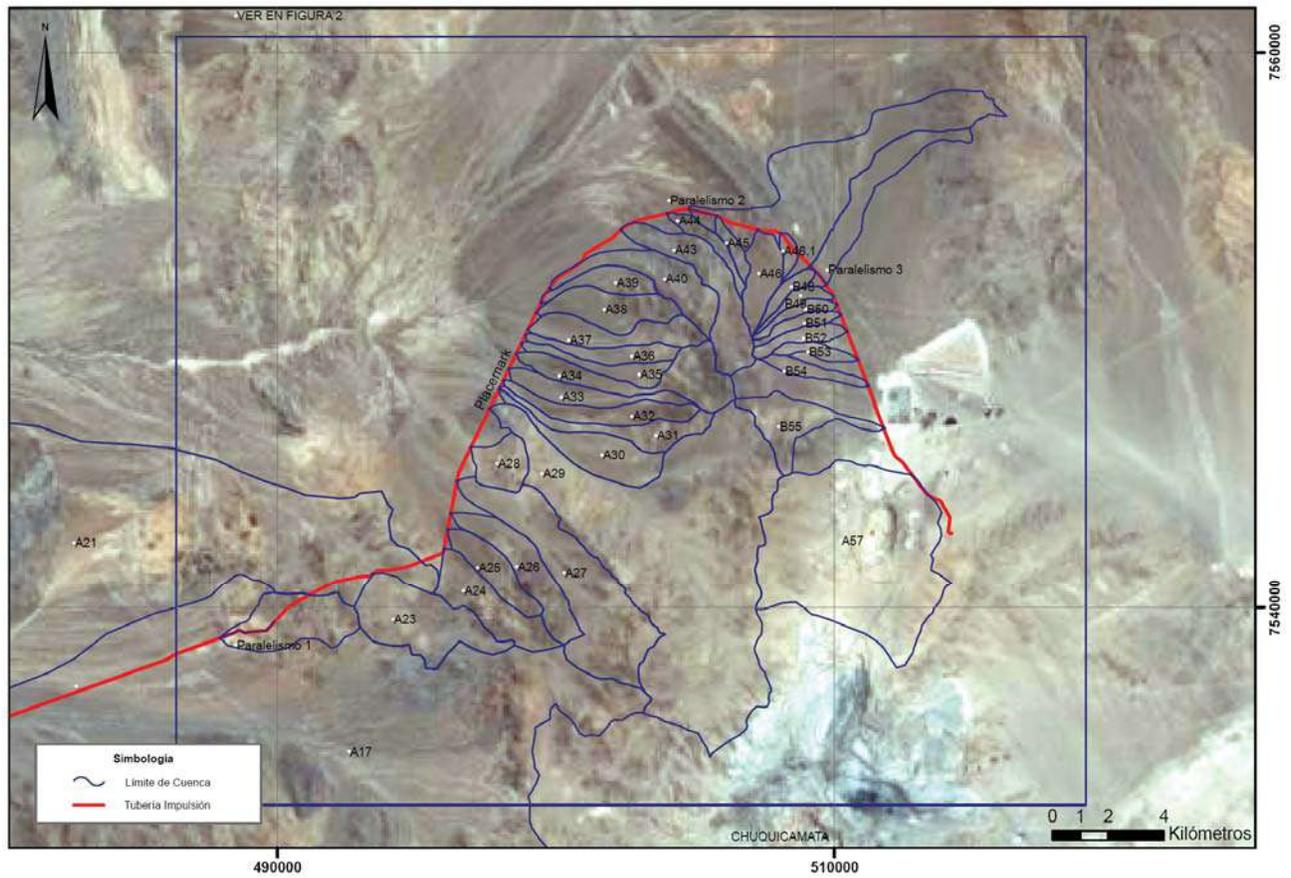


Tabla 2.3-96. Geomorfología Quebradas que cruzan Sector Planta Desaladora RT

Cuenca	Área (km ²)	H max (m)	H min (m)	ΔH (m)	L (km)	Lg (km)	Hm (m)	S (m/m)	Icauce (m/m)	Tpo.Conc. (hrs)
A1.1	0.98	1,500	1,104	396	2.3	-	1,300	-	0.127	0.3
A1.2	0.68	1,500	1,115	385	1.9	-	1,330	-	0.144	0.3
A1	1.1	1,613	1,132	481	2.2	-	1,340	-	0.133	0.3
A2	0.52	1,585	1,150	435	1.5	-	1,360	-	0.161	0.2
A3.1	73.3	1,757	1,165	592	12.5	9.05	1,500	0.0852	0.027	3.0
A3	1.5	1,613	1,348	265	2.9	-	1,440	-	0.041	0.6
A4	160.9	2,000	1,322	678	15.2	11.24	1,450	0.099	0.008	8.4
A5	8.2	1,876	1,437	439	5.2	-	1,550	-	0.022	2.4
A6	3.4	1,876	1,382	494	5.1	-	1,530	-	0.036	1.8
A7	18.3	1,950	1,341	609	10.5	5.78	1,570	0.0819	0.022	2.6
A8	8.9	1,800	1,301	499	9.0	-	1,450	-	0.018	4.3
A9	64.6	1,950	1,228	722	20.9	13.11	1,440	0.0659	0.010	6.0
A10	50.3	1,511	1,184	327	4.6	8.54	1,260	0.0366	0.017	2.3
A11	3312	3,562	1,181	2,381	83.5	49.87	1,400	0.0194	0.003	46.4
A12	32.0	1,316	1,176	140	11.9	7.23	1,220	0.02	0.004	6.6
A13	3.8	1,210	1,173	37	5.1	-	1,180	-	0.002	1.6
A14	39.6	1,316	1,175	141	11.5	6.68	1,230	0.0335	0.005	6.4
A15	380.5	2,750	1,208	1,542	37.0	24.16	1,520	0.067	0.012	20.1
A16	5.5	1,350	1,220	130	6.5	-	1,260	-	0.012	1.6
A17	555.7	3,693	1,251	2,442	45.0	32.24	1,930	0.0864	0.016	22.3
A18	28.0	1,950	1,392	558	14.4	7.29	1,540	0.037	0.010	4.2
A19	49.0	2,050	1,426	624	13.7	7.90	1,600	0.0564	0.013	3.8
A20	8.2	1,950	1,605	345	6.6	-	1,690	-	0.016	1.7
A21	167.8	3,109	1,646	1,463	21.0	1.51	2,180	0.0858	0.027	8.9
Paralelismo 1	7.3	2,861	2,330	531	5.7	-	2,550	-	0.039	2.0
A23	9.7	3,109	2,645	464	6.5	-	2,800	-	0.024	2.9
A24	6.2	3,206	2,675	531	5.4	-	2,800	-	0.026	2.3
A25	3.8	3,101	2,655	446	4.8	-	2,760	-	0.022	2.2
A26	5.9	3,206	2,645	561	6.2	-	2,850	-	0.033	2.4
A27	16.7	3,693	2,628	1,065	10.8	5.96	2,940	0.1774	0.029	2.5
A28	3.1	2,957	2,598	359	2.3	-	2,670	-	0.032	0.9
A29	59.4	3,693	2,630	1,063	16.0	9.42	2,970	0.1691	0.028	6.6
A30	5.7	3,141	2,635	506	6.8	-	2,800	-	0.024	3.0
A31	4.0	3,450	2,634	816	7.9	-	2,870	-	0.030	3.2
A32	4.2	3,300	2,633	667	7.6	-	2,830	-	0.026	3.3
A33	3.5	3,300	2,630	670	6.9	-	2,780	-	0.022	3.1
A34	7.1	3,629	2,630	999	8.3	-	2,980	-	0.042	2.8
A35	2.5	3,500	2,632	868	5.2	-	2,820	-	0.036	1.9
A36	2.7	3,400	2,633	767	5.8	-	2,840	-	0.036	2.1
A37	5.0	3,480	2,635	845	6.8	-	2,860	-	0.033	2.6
A38	5.1	3,350	2,652	698	5.4	-	2,850	-	0.037	1.9
A39	2.6	3,100	2,656	444	4.2	-	2,800	-	0.034	1.6
A40	6.0	3,480	2,688	792	7.1	-	3,000	-	0.044	2.3
A43	7.4	3,579	2,820	759	8.2	-	3,230	-	0.050	2.5
A44	1.6	3,250	2,900	350	4.2	-	3,020	-	0.028	1.7
Paralelismo 2	24.0	3,450	2,935	515	12.7	-	3,180	-	0.022	3.1
A45	1.0	3,200	2,970	230	2.8	-	3,050	-	0.035	1.0
A46	3.5	3,450	3,052	398	3.7	-	3,140	-	0.024	1.7
A46.1	0.7	3,200	3,093	107	1.5	-	3,130	-	0.041	0.5
B48	1.1	3,450	3,122	328	3.0	-	3,160	-	0.015	1.5
Paralelismo 3	7.3	3,791	3,111	680	7.3	-	3,240	-	0.018	3.5
B49	1.0	3,450	3,101	349	3.1	-	3,150	-	0.018	1.5
B50	1.1	3,450	3,099	351	3.4	-	3,170	-	0.021	1.6
B51	1.2	3,450	3,094	356	3.4	-	3,170	-	0.028	1.4
B52	1.6	3,450	3,080	370	3.6	-	3,180	-	0.028	1.5
B53	1.2	3,450	3,049	401	3.3	-	3,130	-	0.025	1.5
B54	1.6	3,518	3,021	497	4.0	-	3,140	-	0.033	1.5
B55	5.0	3,629	2,975	654	5.6	-	3,160	-	0.033	2.1
A57	34.9	3,629	2,913	716	6.0	3.87	3,000	0.1255	0.015	3.1

Fuente: Techint-Codelco, 2012.

Tabla 2.3-97. Caudal Máximo Método Fórmula Racional

Cuenca	Coefficiente Escorrentía	Intensidad (mm/hr)	Área (km ²)	Q (T=100) (m ³ /s)
A1.1	0.55	13.2	0.98	2.0
A1.2	0.60	14.4	0.68	1.6
A1	0.55	13.8	1.1	2.2
A2	0.60	16.1	0.5	1.4
A3	0.50	10.63	1.5	2.3
A5	0.40	5.56	8.2	5.1
A6	0.45	6.27	3.5	2.7
A8	0.40	3.87	8.9	3.8
A13	0.40	5.13	3.8	2.2
A16	0.40	5.58	5.5	3.4
A20	0.40	7.24	8.2	6.6
Paralelismo 1	0.40	10.07	7.3	8.1
A23	0.40	9.18	9.7	9.9
A24	0.40	10.23	6.2	7.0
A25	0.45	10.42	3.8	4.9
A26	0.40	10.34	5.9	6.7
A28	0.45	15.88	3.1	6.2
A30	0.40	9.02	5.7	5.7
A31	0.45	8.98	4.0	4.5
A32	0.45	8.70	4.2	4.5
A33	0.45	8.71	3.5	3.8
A34	0.40	9.94	7.1	7.8
A35	0.45	11.36	2.5	3.6
A36	0.45	10.87	2.7	3.7
A37	0.40	9.91	5.0	5.5
A38	0.40	11.39	5.1	6.5
A39	0.45	12.45	2.6	4.0
A40	0.40	10.96	6.0	7.3
A43	0.40	11.27	7.4	9.2
A44	0.50	12.77	1.6	2.7
A45	0.55	16.67	1.0	2.6
A46	0.45	13.60	3.5	6.0
A46.1	0.55	24.40	0.7	2.6
B48	0.55	14.22	1.1	2.4
Paralelismo 3	0.40	9.60	7.3	7.8
B49	0.55	14.27	1.0	2.2
B50	0.55	14.01	1.1	2.3
B51	0.50	14.84	1.2	2.5
B52	0.50	14.43	1.6	3.3
B53	0.50	14.41	1.2	2.3
B54	0.50	14.16	1.6	3.1
B55	0.40	12.04	5.0	6.7

Fuente: Techint-Codelco, 2012.

Tabla 2.3-98. Caudal Máximo Método Hidrograma Triangular

Cuenca	Área	Q (T=100 años)
	(km ²)	(m ³ /s)
A3.1	73.3	18.8
A4	160.9	12.8
A7	18.3	5.3
A9	64.6	9.8
A10	50.3	9.7
A11	3312	50.1
A12	32.0	4.2
A14	39.6	5.3
A15	380.5	14.2
A17	555.7	23.7
A18	28.0	6.0
A19	49.0	11.6
A21	167.8	19
A27	16.7	9.3
A29	59.4	17.1
Paralelismo 2	24.0	12.8
A57	34.9	12.9

Fuente: Techint-Codelco, 2012.

Además de las quebradas que cruza el acueducto, cuyo análisis hidrológico se realizó anteriormente, aproximadamente en el kilómetro 70 de su recorrido desde la costa se cruza el río Loa. El caudal máximo de periodo de retorno 100 años estimado para el punto de cruce se obtuvo del informe Estudio Hidrológico Río Loa (Techint-Codelco, 2012), el cual se basa sobre estadística fluviométrica de estaciones de la DGA y los estudios “Plan de Manejo Técnico del Río Loa a su paso por Calama y Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Calama” (DOH-Conic-BF, 2004).

En la Tabla 2.3-99 se muestran los caudales máximos determinados para el río Loa en Calama y en la Tabla 2.3-100 para el río Loa después de la junta con el río San Salvador (Chacance).

Tabla 2.3-99. Río Loa en Calama

Año	Caudal Máximo Instantáneo
	(m ³ /s)
1976	47.0
1977	154.8
1978	10.0
1979	9.8
1980	4.5
1981	10.8
1982	4.6
1983	2.3
1984	51.0
1985	12.0
1986	11.7
1987	12.1
1988	3.2
1989	26.7
1990	2.5
1991	3.7
1992	2.0
1993	1.8
1994	1.8
1995	26.5
1996	1.6
1997	27.3
1998	8.1
1999	81.6
2000	60.1
2001	226.3
2002	12.5
2003	0.39
2004	25.9
2005	18.1
2006	88.6
2007	1.47
2008	0.62
2009	2.2
2010	2.0
2011	31.8

Fuente: Techint-Codelco, 2012.

Tabla 2.3-100. Río Loa después junta Río San Salvador

Año	Caudal Máximo Instantáneo
	[m ³ /s]
2002	4.46
2003	0.90
2004	21.20
2005	8.10
2006	70.61
2007	1.50
2008	0.79
2009	0.37
2010	0.45
2011	42.51

Fuente: Techint-Codelco, 2012.

Considerando los eventos coincidentes en las dos secciones del río anteriores, se obtuvo que los caudales máximos en Chacance son aproximadamente un 20% menores a los que se presentan en Calama.

A partir de análisis de frecuencia se obtuvo que, para un periodo de retorno de 100 años, el caudal máximo en el río Loa es de 354 m³/s, lo que daría un caudal de 280 m³/s después de la junta con el río San Salvador. Este último valor sería el representativo para el sector de cruce del acueducto con el río Loa.

El sistema de suministro eléctrico en esta área considera en general tramos muy próximos a la línea de impulsión, por lo que la línea base hidrológica desarrollada para este sector son válidas para el trazado de la línea eléctrica.

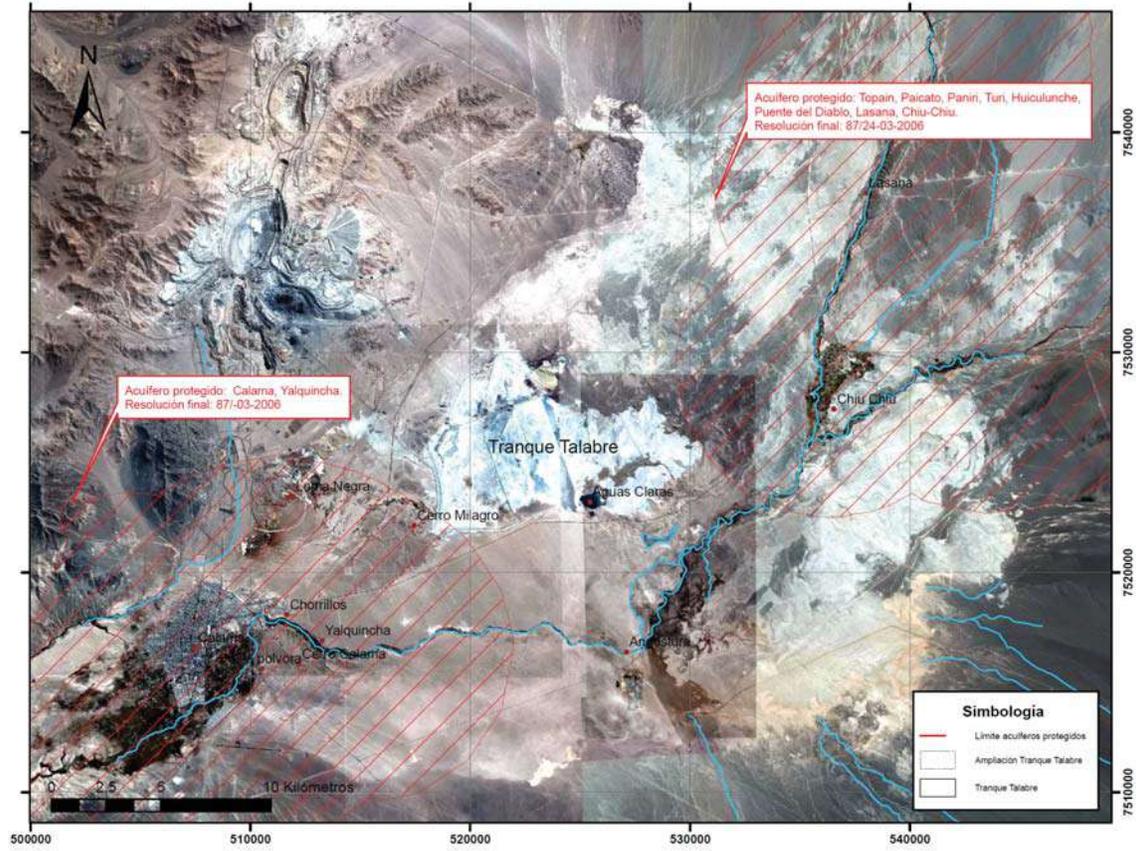
2.3.5.4.2 Hidrogeología

a) Caracterización Hidrogeológica Regional

El Proyecto RT Sulfuros se contempla realizar en un ámbito que, desde el punto de vista hidrogeológico, está caracterizado por el desarrollo de la cuenca del río Loa, el que es considerado como el de mayor longitud y el de mayor extensión superficial del país. En efecto, entre su nacimiento a los pies del volcán Miño, en el altiplano chileno y su desembocadura en caleta Huelén, recorre un total de 440 Kms, abarcando una hoya hidrográfica de unos 33.570 Km².

Sólo una pequeña parte del área del tranque Talabre se superpone con dos áreas delimitadas por las resoluciones DGA N°87 de 2006 y DGA N°529 de 2003 para la protección de acuíferos que alimentan vegas y bofedales. Estas corresponden a los acuíferos asociados a las vegas de Calama y Yalquincha, y asociados a las vegas de Topain, Paicato, Paniri, Turi, Topain, Huiculunche, Puente del Diablo, Lasana y Chiu-Chiu. Los límites de protección de estas dos zonas de acuíferos y su relación con las obras trazadas por el proyecto, se muestran en la Figura 2.3-58.

Figura 2.3-58. Áreas de Acuíferos Protegidos y Obras del Proyecto RT Sulfuros



Según la división del territorio chileno en provincias hidrogeológicas realizada por la DGA, en base a los patrones de escurrimiento del territorio chileno, la región de Antofagasta se encuentra dentro de las siguientes provincias hidrogeológicas (DGA, 1986):

- (i) Provincia de las Cuencas Costeras: Incluye las cuencas que no tienen respaldo andino. Este tipo de cuencas está directamente relacionado con la presencia de la Cordillera de la Costa, por lo que sólo se encuentra desde el Norte de Chile hasta Puerto Montt. Las cuencas ubicadas en el sector del Norte Grande se encuentran dentro de la subprovincia Costeras Arreicas, las cuales no presentan ningún tipo de escurrimiento en la actualidad, debido a la ausencia casi total de recursos hídricos del sector (con precipitación media anual <1 mm); definidas en general por patrones de escurrimientos antiguos y no presentan interés hidrogeológico.
- (ii) Provincia Andina de Vertiente al Pacífico: Se extiende por todo el país, lo cual la hace sumamente heterogénea en cuanto a las componentes climáticas, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas, por esto se realizó una división en 5 subprovincias hidrogeológicas, en base a la existencia de formaciones con características de acuíferos, naturaleza de estas formaciones, características de procesos de recarga (clima) y características de los procesos de descarga (naturales y artificiales).

La subprovincia Norte Grande se extiende desde el extremo Norte de Chile hasta el paralelo 27° latitud sur; corresponde a una zona desértica neta y se distinguen tres sectores, claramente diferenciables en cuanto a la naturaleza de sus acuíferos.

En el Primero (18° a 19° latitud sur), se presentan cauces transversales con respaldo altiplánico y salida al mar y los acuíferos están constituidos principalmente por los rellenos cuaternarios fluviales de los lechos de los ríos.

En el segundo sector de esta subprovincia, el principal sistema acuífero es el de la Pampa del Tamarugal (19° a 22° latitud sur), el cual está almacenado en el potente y extenso aunque muy heterogéneo relleno aluvial terciario y cuaternario de la depresión intermedia.

El tercer sector de esta subprovincia lo constituye el llamado Desierto de Atacama (22° a 27° latitud sur). A excepción del río Loa, que escurre de cordillera a mar y presenta algunos sistemas acuíferos asociados, este sector es arreico. Sólo existen, entre los 25° y 27° latitud sur, una cantidad de “aguadas” o vertientes, que a veces dan lugar a vegas, cuya alimentación probablemente provengan del sector volcánico altiplánico.

En resumen de lo anterior expuesto, los acuíferos conocidos se encuentran en los rellenos cuaternarios no consolidados (volcanoclásticos, sedimentarios fluviales, fluvioglaciales, aluviales, aluvionales, lacustres, eólicos y laháricos), siendo los acuíferos más productivos aquellos que localmente se conocen en formaciones no cuaternarias (terciarias volcánicas, terciarias sedimentarias consolidadas) como lo son las ignimbritas terciarias de las cuencas altiplánicas.

A continuación se presenta las principales unidades hidrogeológicas directamente involucradas en el Proyecto RT Sulfuros, organizado por sectores del área del Proyecto, en donde algunos de ellos se han agrupado por considerarse dentro de una zona hidrogeológica de similares características.

b) Caracterización Hidrogeológica por Sector del Proyecto

Sectores RT y Tranque Talabre

Los sectores de RT y Tranque Talabre se ubican sobre los terrenos situados al norte del cauce del río Loa, en su sector medio. Los estudios hidrogeológicos y geofísicos efectuados en la zona han permitido adoptar como caracterización de las unidades hidrogeológicas, una clasificación que agrupa seis unidades, que de techo a base son denominadas UH-1 a UH-6. Las características de estas unidades son descritas más abajo. En resumen, esta clasificación comprende dos unidades acuíferos (UH-2 y UH-5), denominadas Unidad Acuífero Superior y Unidad Acuífero Inferior o Principal, respectivamente. La Unidad UH-2 o Superior, muestra condiciones freáticas mientras que la Unidad UH-5 o Inferior, presenta características, en general, de tipo confinada. Ambos acuíferos están separados por un par de unidades de tipo acuitardo (UH-3 y UH-4), de litologías volcánicas y detríticas, respectivamente. El basamento que subyace todas estas unidades, de carácter impermeable, comprende una amplia variedad de tipos litológicos, desde sedimentarios y volcánicos hasta de carácter ígneo intrusivo, todas de edades pre-Terciaria. La unidad más reciente o superficial, de edad Plio—Pleistoceno, presenta condiciones que permiten considerarla parcialmente como acuífero.

Diversos estudios en la zona de interés y alrededores de Talabre han constatado que los valores más aproximados de conductividad hidráulica en el Acuífero Superior se encuentran entre $1,7 \times 10^{-2}$ y $2,6$ m/día, mientras que en el Acuífero Inferior estos valores fluctúan entre 3×10^{-2} y 41 m/día. Los valores de coeficiente de almacenamiento (S) obtenidos de manera empírica presentan para el Acuífero Superior valores que fluctúan entre 2×10^{-3} y 2×10^{-2} . Para el Acuífero Inferior, los valores obtenidos serían similares a los mencionados (Knight Piésold, 2010).

La zona no saturada (ZNS), que corresponde a la ubicada sobre el nivel freático, está compuesta principalmente por depósitos recientes de grava, aluvio-evaporíticos y materiales antropogénicos constituidos por las lamas originadas de la depositación de relaves. Esta zona muestra potencias que van entre los 170m, en el Sector RT y los 12m en Sector del Tranque Talabre. La Zona Saturada (ZS), que es la situada por debajo del nivel freático y se extiende hasta el basamento, muestra potencias variables entre los 300 y 500m o más y está constituida por las unidades hidrogeológicas UH-2 a UH-5, las que son descritas en detalle más adelante.

En preciso mencionar que particularmente en el Sector RT, no se observa desarrollo de la unidad Acuífero Superior, constituyendo:

- UH-1: Depósitos Aluvio-Evaporíticos Plio-Pleistocenos

Esta unidad está compuesta por gravas, arenas, depósitos detrítico-evaporíticos y depósitos limo-arenosos, incluyendo así todas las unidades geológicas no consolidadas además de la Formación Chiu Chiu. En el sector occidental de Pampa Cere, donde se ubica el área de la mina RT, el límite inferior de esta unidad es incierto, conectándose directamente con la unidad hidrogeológica UH-5 o Acuífero Inferior, de similares características litológicas. Lo anterior, ya que no existe la unidad de tobas denominada Ignimbrita Sifón (Marinovic y Lahsen, 1984) de edad Mioceno, que constituye la unidad hidrogeológica UH-4 y constituye la interfase entre los denominados Acuífero Superior y Acuífero Inferior. Esta unidad presenta un amplio rango en su potencia, de entre 10 y 170 m y se encuentra parcialmente saturada constituyendo entonces parcialmente un medio acuífero y en algunos sectores presenta comunicación hidráulica con el Acuífero Inferior. La unidad hidrogeológica UH-1 se subdivide en dos sub-unidades:

- UH-1a: Depósitos aluviales de permeabilidad alta. Sub-unidad compuesta en gran parte por gravas y arenas con matriz arenosa, que en algunos casos puede ser limo-

arenosa. El rango de permeabilidad estimado se encuentra entre 10^{-1} y 10^2 m/d, sobre la base de sus características sedimentológicas y referencias bibliográficas (Geohidrología, 2011).

- UH-1b: Depósitos detrítico-evaporíticos de permeabilidad media-baja. Sub-unidad que está albergada por la secuencia de la Formación Chiu Chiu y rellenos clástico-salinos de salares. El rango de permeabilidad estimado se encuentra entre 10^{-4} y 1 m/día. En este trabajo se ha incorporado la unidad de depósitos de piedemonte (MPg, Tsg) de edad Mioceno Superior-Pleistoceno Superior.
- UH-2: Acuífero Cárstico-Detrítico El Loa (“Acuífero Superior”)

Esta unidad, denominado “Acuífero Superior”, se compone por la secuencia calcárea y detrítica de la Formación Opache y la parte superior de la Formación Jalquinche, conformando un acuífero predominantemente de carácter freático y cuya permeabilidad es muy variable. Se ubica en la parte noreste de la cuenca en las secuencias sedimentarias de la Formación Lasana (May et al., 2005). Esta formación engrana con los depósitos de la Formación Jalquinche, que es la principal responsable de la generación de un acuitardo. Esta unidad hidrogeológica esta subdividida en tres sub-unidades, las cuales se describen a continuación:

- UH-2a: Rocas cárstico-arenosas de permeabilidad media-alta: está compuesta por rocas carbonatadas (calizas, calcilutitas, calcarenitas, areniscas y gravas calcáreas) y depósitos de arena y gravas (principalmente al noreste y este del Tranque Talabre). La permeabilidad de esta sub-unidad se ha estimado en el rango de 10^{-2} a 10^1 m/día. Con respecto a la potencia de esta sub-unidad, fluctúa entre 30-130 metros (de acuerdo a los perfiles hidrogeológicos realizados por Knight-Piésold (2010)), siendo homogénea en general. Sin embargo, el rango más habitual de observar es de 30-70 metros.
- UH-2b: Depósitos limo-arcillosos de permeabilidad baja: está compuesta por depósitos finos observados en pozos al noreste y sureste del Tranque Talabre. La potencia máxima de esta sub-unidad corresponde a 200 metros detectada en los pozos. Con respecto a la permeabilidad, no existen datos empíricos que puedan dar cuenta de la conductividad hidráulica de esta sub-unidad. Esta subunidad tiene un predominio menor al que muestra la subunidad anterior.
- UH-2c: Depósitos de arenas negras de permeabilidad alta (no aflorante): corresponde a depósitos de tipo detrítico que tienen una importante presencia en el sector donde se ubican los depósitos clásticos. La conductividad hidráulica estimada es de 10^{-2} a 10^2 m/día.

En general, la porosidad primaria de las rocas que se encuentran en este “Acuífero Superior” es baja, ya que las rocas alojadas en él corresponden a calizas y rocas carbonatadas, lo que hace que la presencia de agua esté condicionada por la disolución cárstica. Esta disolución genera una porosidad secundaria que toma la forma de micro-grietas, fracturas y disoluciones con marcado carácter estratiforme.

Es importante señalar, que existen zonas (de extensión local) donde el Acuífero Superior tiene un comportamiento confinado y de reducida presión. Esto se debe principalmente a la condición física (carácter cárstico) del acuífero y a la condición freática predominante. Por otra parte, existen zonas donde el Acuífero Superior no está presente, pudiéndose reconocer solamente el Acuífero Inferior en contacto directo con la Unidad no consolidada UH-1 en superficie, como ha sido determinado para el sector RT (ver sección A-A` en la Figura 2.3-60).

Ingeorec (2005) ha determinado valores para la transmisividad en el acuífero superior que varían entre los 100 y 400 m²/día y coeficientes de porosidad que varían entre 2 y 35. Ello sobre la base de pruebas de bombeo realizadas por CODELCO Norte en los pozos TL-03C (UTM: 524.490 m E / 7.522.914 m N), TL-10C (UTM: 528.422 m E / 7.522.926 m N) y TL-33C (UTM: 530.537 m E / 7.526.354 m N). Por otra parte, CIMM (2011) desarrolló una revisión de los antecedentes recopilados respecto de los parámetros hidráulicos, concluyendo como valores más representativos los entregados por los trabajos “Modelamiento Hidráulico Tranque Talabre y su relación con los acuíferos y cauces superficiales” y “Modelo Hidrogeológico Integrado, sector Calama Pampa Talabre”, ambos desarrollados por DCN (2009 y 2005, respectivamente). Estos valores de conductividad se encuentran entre 2x10⁻² m/día y 3 m/día (2 x 10⁻⁷ m/s y 3 x 10⁻⁵ m/s). Del primer estudio mencionado, también se obtienen mediciones para el coeficiente de almacenamiento (S), cuyo rango fue definido entre 2 x 10⁻³ y 2 x 10⁻², los cuales son considerados como de mayor fortaleza por su obtención de manera empírica.

- UH-3: Acuitardo Ignimbrítico

Esta unidad hidrogeológica está formada por tobas consolidadas, soldadas en grado variable cuyo comportamiento hidrogeológico es de baja permeabilidad, al grado de constituir un acuitardo. Las tobas, de acuerdo a la empresa de desarrollo de recursos hídricos “Aguas Yalqui”, poseen una potencia de 10-50 metros (descritas en 10 pozos). Esta unidad cuenta con una permeabilidad estimada, según Nazca 2001 (CIMM, 2012), de 10⁻⁶ m/día y que genera un confinamiento de la siguiente unidad.

- UH-4: Acuitardo El Loa

Esta unidad hidrogeológica está compuesta predominantemente de arcillas y limos que pertenecen a la parte inferior de la Formación Jalquinche (Secuencia Inferior Limo-Arcillosa). Es una unidad con un alto grado de homogeneidad. Su permeabilidad es muy baja, menor que 5x10⁻³ m/día y provoca un confinamiento sobre la piezometría del medio infrayacente (CIMM, 2012). Geohidrología (2011) indica un rango de conductividades de 10⁻⁶ a 10⁻² m/d para esta unidad, sobre la base de sus características sedimentológicas y las referencias bibliográficas.

La unidad hidrogeológica está dividida en tres sub-unidades:

- UH-4a: Depósitos limo-arcillosos de permeabilidad baja: representa las condiciones típicas de este acuitardo. Su potencia se ubica entre los 50-100 m, sin embargo, según DCN (2009) existen pozos que registran más de 190 metros.
- UH-4b: Depósitos arenosos de permeabilidad media-alta: corresponde a arenas identificadas al interior de la secuencia limo-arcillosa, no obstante, ellas presentan una muy escasa distribución y extensión.
- UH-4c: Lavas volcánicas de permeabilidad baja: está formada por la secuencia de rocas volcánicas, correspondientes a la Formación Calama. Esta sub-unidad posee una permeabilidad baja detectada con los sondajes realizados durante la campaña DCN 2008-2009.

El acuitardo se dispone generalmente entre el Acuífero Superior y el Acuífero Inferior. Su potencia máxima, de acuerdo a trabajos TEM, ha sido determinada en 300 m. En algunos sectores se dispone directamente sobre el basamento, sin presencia del Acuífero Inferior.

- UH-5: Acuífero Gravas de Calama (“Acuífero Inferior”)

En general, la denominación más utilizada es de “Acuífero Inferior”, sin embargo, por su asociación directa con la formación homónima ha sido también denominada “Acuífero Formación Calama”. Esta unidad está constituida por gravas, conglomerados y arenas gravosas, con matriz arenosa y limo-arenosa, la mayor parte de las cuales se encuentran saturadas. Se encuentra dividida en dos sub-unidades:

- UH-5a: Depósitos de gravas: representa las condiciones típicas del “Acuífero Inferior”. La conductividad hidráulica fluctúa entre 5×10^{-2} a 10^1 m/día y ha sido calculada empíricamente (CIMM, 2012).
- UH-5b: Depósitos limo-arcillosos: está compuesta por intercalaciones limo-arcillosas y su conductividad hidráulica ha sido estimada entre 10^{-5} a 10^{-3} m/día (CIMM, 2012).

Este “Acuífero Inferior” se localiza entre el Acuitardo y el Basamento Impermeable. Sin embargo, en sectores del borde de la cuenca subyace al Acuífero Superior o a los Depósitos Aluvio-Evaporíticos Plio-Pleistocenos, como ocurre en el Sector RT. Es importante señalar que predomina una condición piezométrica de confinamiento, que es provocado por la presencia sobreyacente de depósitos limo-arcillosos de la Formación Jalquinche. Respecto a su potencia, ésta varía en general entre 0-200 m, llegándose a registrar en ciertos pozos potencias de hasta 300 m. Utilizando métodos geofísicos se ha llegado a encontrar espesores de unos 400 m (límite aproximado de la aplicación TEM), estimándose de este modo que incluso puedan ser mayores. De acuerdo a la revisión efectuada por CIMM (2011), anteriormente mencionada, los valores para la conductividad hidráulica del acuífero inferior fluctúan dentro del rango 3×10^{-2} m/día y 4×10^{-2} m/día.

- UH-6: Acuífugo Rocas Pre-Terciarias (Basamento Impermeable)

El acuífugo está formado por la unidad denominada Basamento Igneo-Metamórfico, la cual posee una litología muy diversa en donde predominan las rocas ígneas y metamórficas sobre las secuencias estratiformes, compuestas por rocas volcánicas y sedimentarias. Esta unidad se ha subdividido en dos subunidades:

- UH-6a: Basamento rocoso de permeabilidad media a baja, correspondiente a los Estratos de Chuquicamata y subordinadamente a la Formación Icanche al occidente de la Falla Oeste, e incluyendo además otras unidades preterciarias. Generalmente la parte superior se encuentra localmente saturada. Algunas zonas pueden potencialmente albergar acuíferos de importancia incierta, asociados a zonas de fallas y fracturas. Su permeabilidad se ha estimado en 10^{-5} a 10^{-1} m/día, pudiendo alcanzar hasta 25 m/día en las zonas con desarrollo de permeabilidad secundaria asociadas fallas y fracturas (Geohidrología, 2011).
- UH-6b: Basamento rocoso de muy baja permeabilidad, que actúa como borde impermeable del sistema acuífero de RT-Pampa Cere. Corresponde a unidades intrusivas con conductividades hidráulicas primarias estimadas como bajas a muy bajas (10^{-9} a 10^{-5} m/día según Aquaconsult, 2010 in Geohidrología, 2011). Ensayos de permeabilidad (packer tests) efectuados en zonas con mayor desarrollo de fracturas dentro del rajo RT, han dado resultados de permeabilidades del orden de 10^{-3} a 10^{-6} m/día (WMC, 2007 in Geohidrología, 2011).

De lo anterior, se puede indicar entonces que la conductividad hidráulica de esta unidad UH-6 es muy baja y fluctúa entre 10^{-5} y 10^{-9} m/día, a excepción de ciertos sectores caracterizados por el desarrollo de roca muy fracturada, zonas de intenso fallamiento y localmente por efecto de procesos de alteración.

Esta unidad hidrogeológica aflora en los bordes de la Cuenca Calama y genera pocos cerros aislados al interior del área acuífera, exceptuando aquellos sectores que se encuentran al oeste del Tranque Talabre (incluyendo el Cerro Milagro), cerca de los muros oeste y norte.

Es importante señalar que esta unidad hidrogeológica se impone como condición de borde sobre las otras unidades acuíferas. Además, esta unidad ha sido considerada como ausente de flujos subterráneos, dada su baja conductividad hidráulica.

La Tabla 2.3-101 siguiente muestra una correlación entre las unidades hidrogeológicas y las unidades geológicas descritas para el área de estudio, además de un resumen de los valores de conductividad hidráulica medida en ellas.

Tabla 2.3-101. Unidades Hidrogeológicas Cuenca de Calama

Unidad Hidrogeológica	Unidades Geológicas asociadas.
UH-1: Depósitos Aluvio-Evaporíticos, no consolidados, no saturados	Han (dep. antrópicos, como suelos agrícolas), Ha (dep. aluviales activos), Hf (dep. activos fluviales y de ciénagas), PIHd (dep. de deslizamiento), PIHf (dep. antiguos fluviales y de ciénaga), Qd (dep. de derrumbe o gravitacionales), PIHs (dep. salinos), PIHa (dep. aluviales antiguos), Plch (Formación Chiu Chiu), MPg (dep. de piedemonte). K: $10^{-4} - 10^{-2}$ m/día
UH-2: Acuífero Superior	Formación Opache y parte superior de Formación Jalquinche. K: $10^{-2}-10^1$ m/día
UH-3: Acuitardo ignimbrítico	Tobas e ignimbritas. K: 10^{-6} m/día.
UH-4: Acuitardo El Loa	Parte Inferior de Formación Jalquinche (limos y arcillas) y rocas volcánicas de Formación Calama. K: $10^{-5} - 10^1$ m/día
UH-5: Acuífero Inferior	Gravas de la Formación Calama. K: 5×10^{-2} m/día – 10^1 m/día. Incluye limos y arcillas basales
UH-6: Basamento Impermeable o acuífugo pre-Terciario	Rocas consolidadas anteriores a la Formación Calama. K: $10^{-9} - 10^{-5}$ m/día (hasta 10^{-3} en roca fracturada)

La Figura 2.3-59 muestra el mapa hidrogeológico, siguiendo la clasificación de unidades hidrogeológicas antes descrita y sobre la base de la distribución de las unidades geológicas establecida en los trabajos mencionados en dicha sección. Se indica en este mapa, la ubicación de dos perfiles hidrogeológicos (A y B) elaborados en el marco del estudio realizado por Geohidrología (2011), los que se muestran posteriormente en la Figura 2.3-60. Además, se indica la ubicación de otros cuatro perfiles hidrogeológicos (B, C, D y F) elaborados en el marco del estudio realizado por la consultora Knight-Piésold (2010), los cuales son mostrados íntegramente en las 4 figuras que muestran perfiles hidrogeológicos en el sector del Tranque Talabre, habiéndoseles cambiado solamente la denominación original. Se indica en cada caso el nombre asignado en el informe fuente.

Las secciones A-A' y B-B' atraviesan el área de Pampa Cere (Ver Figura 2.3-60), comenzando en el caso de la primera sección, desde el área de botaderos del Sector RT. En ambas secciones se observa, en el extremo noroeste o borde de la cuenca, la ausencia de la unidad hidrogeológica UH-2 correspondiente al Acuífero Superior, quedando en contacto directo la unidad superficial UH-1 con el Acuífero Inferior o Principal (UH-5). Por el otro extremo, ya cercano al cauce del río Loa, se observa el desarrollo de la unidad Acuífero Superior (UH-2), separado del Acuífero Inferior por la presencia del Acuitardo Ignimbrítico (UH-3) y/o por el Acuitardo Detrítico (UH-4), también conocido como Acuitardo El Loa. Destaca la ubicación

profunda del nivel freático en el extremo NW de la sección A-A', bajo el sector de botaderos RT. En contraste, el nivel freático representado en la sección B-B' se muestra muy cercano a la superficie hacia el extremo SE de la sección, en proximidad al cauce del río Loa.

Las secciones C-C' a la F-F', trazadas sobre el sector correspondiente al Tranque Talabre, muestran a la unidad hidrogeológica del Acuífero Superior UH-2 separada estratigráficamente de la unidad Acuífero Inferior UH-5 (en estas secciones están designadas como unidad 4 y unidad 2, respectivamente, de acuerdo a la clasificación seguida por Knight-Piésold, 2010). Las secuencias intercaladas entre ambos acuíferos corresponden principalmente a sedimentos limo-arcillosos de permeabilidad baja, que bajo el sector del tranque Talabre alcanzan un espesor superior a 150m (ver secciones E-E' y F-F'), siendo menor (10-20m) aguas abajo del muro oeste (ver sección C-C').

Figura 2.3-59. Mapa Hidrogeológico Unidades Hidrogeológicas de los Sectores RT y Talabre

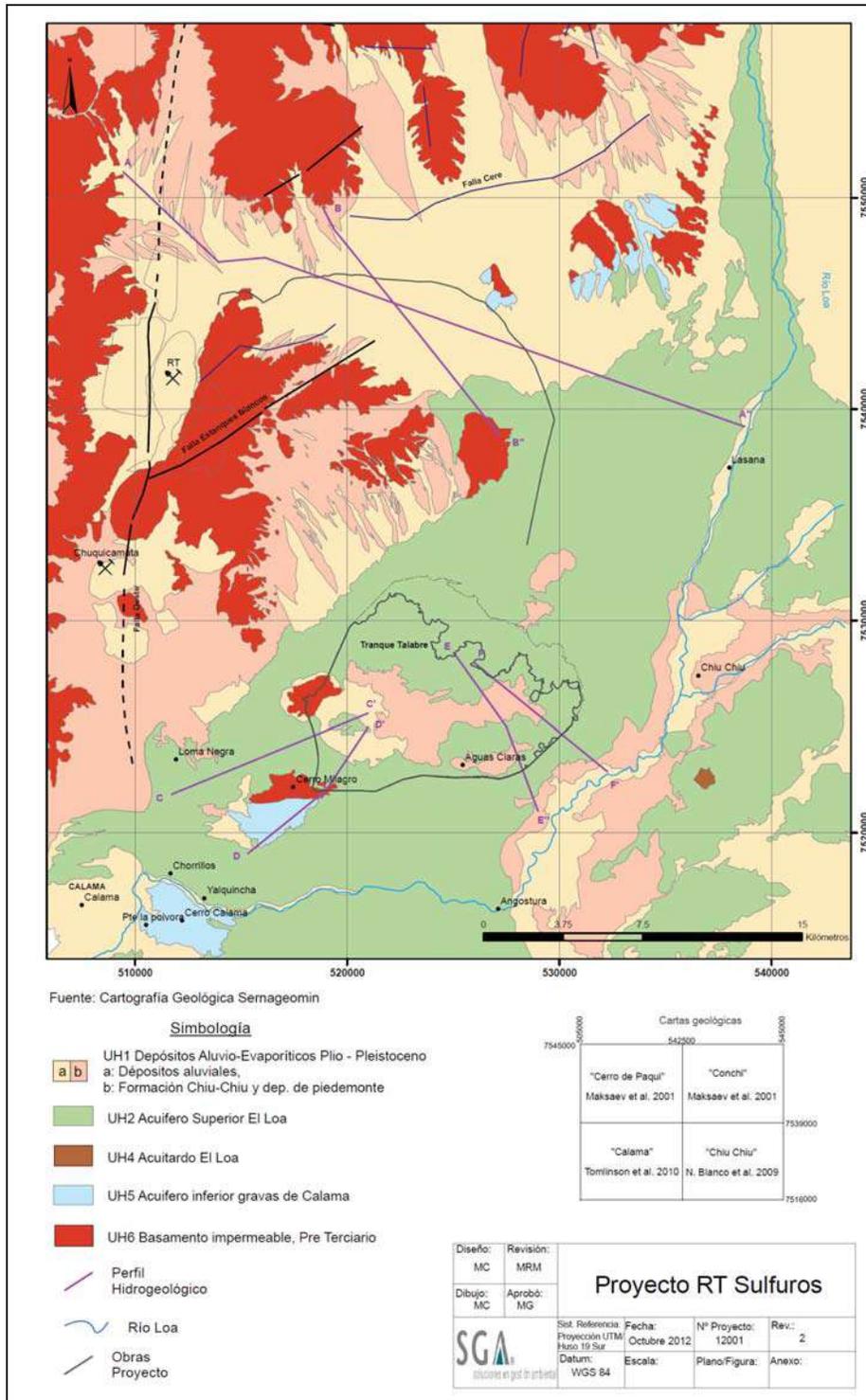


Figura 2.3-60. Perfiles Hidrogeológicos Sector RT-Pampa Cere

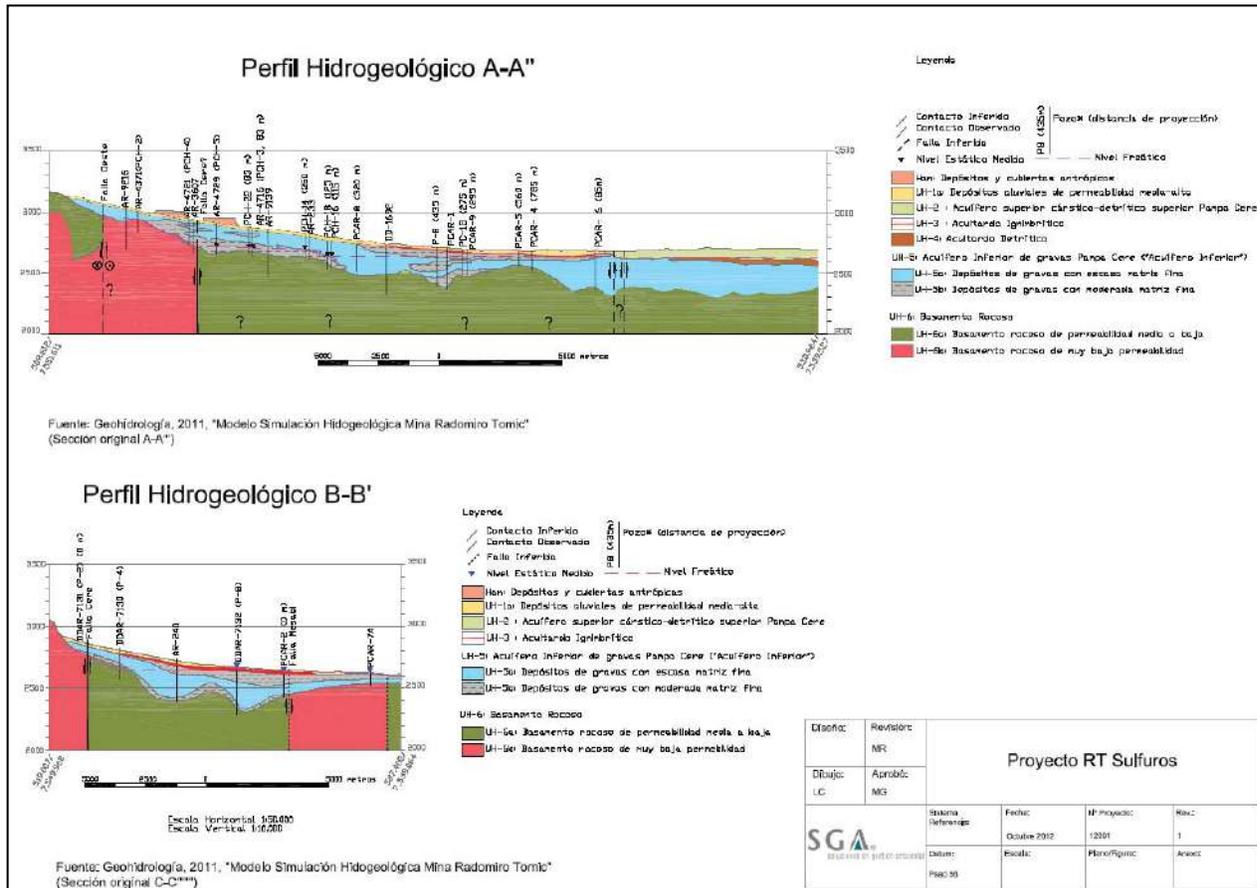
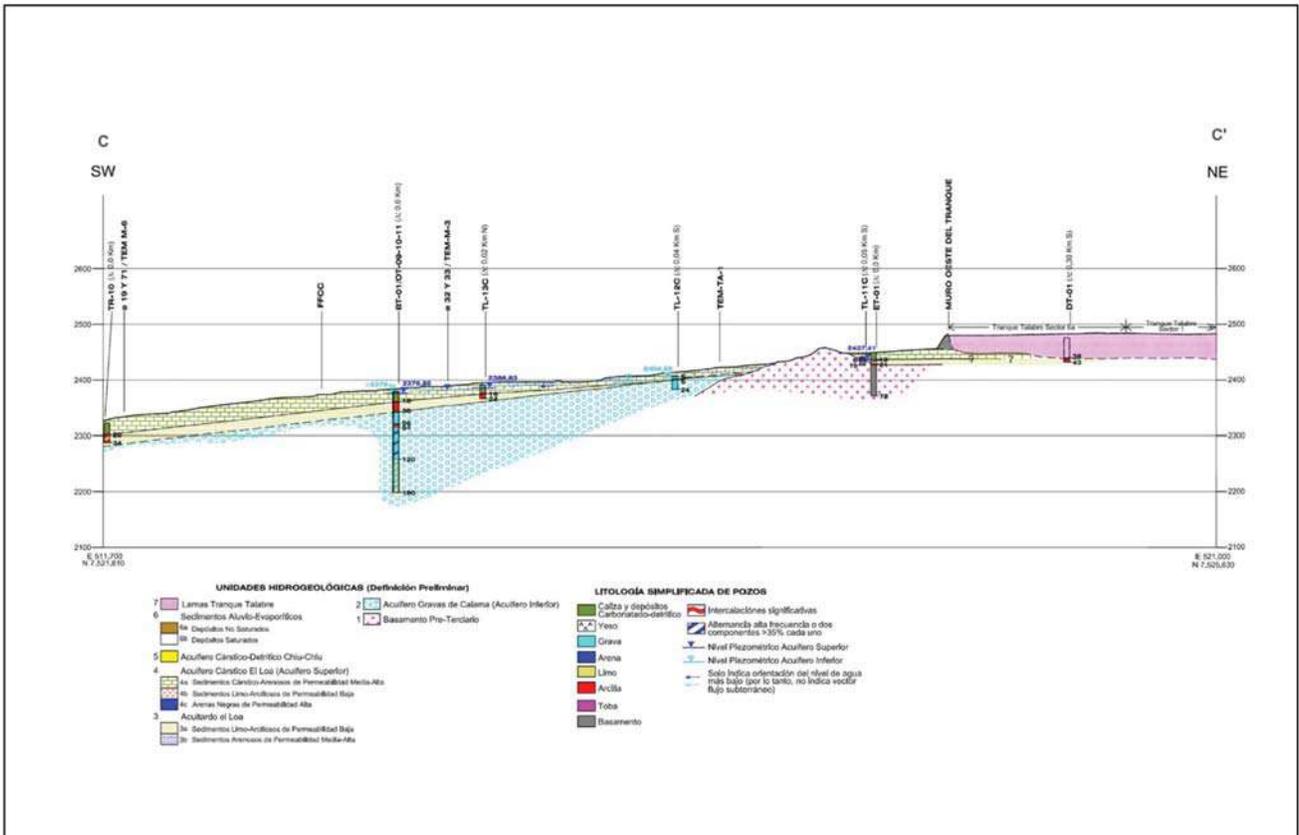
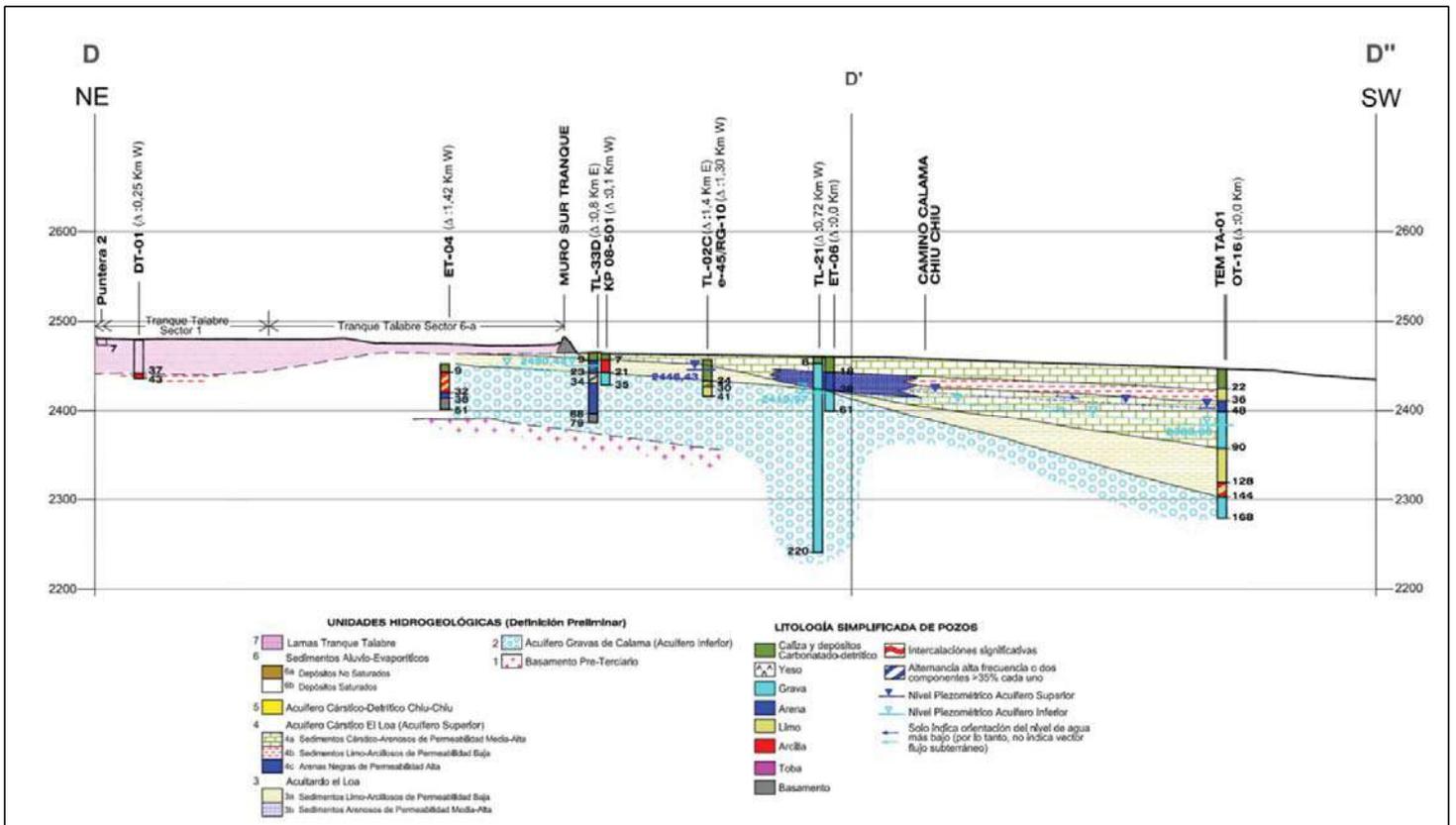


Figura 2.3-61. Perfil Hidrogeológico C-C' Sector Tranque Talabre



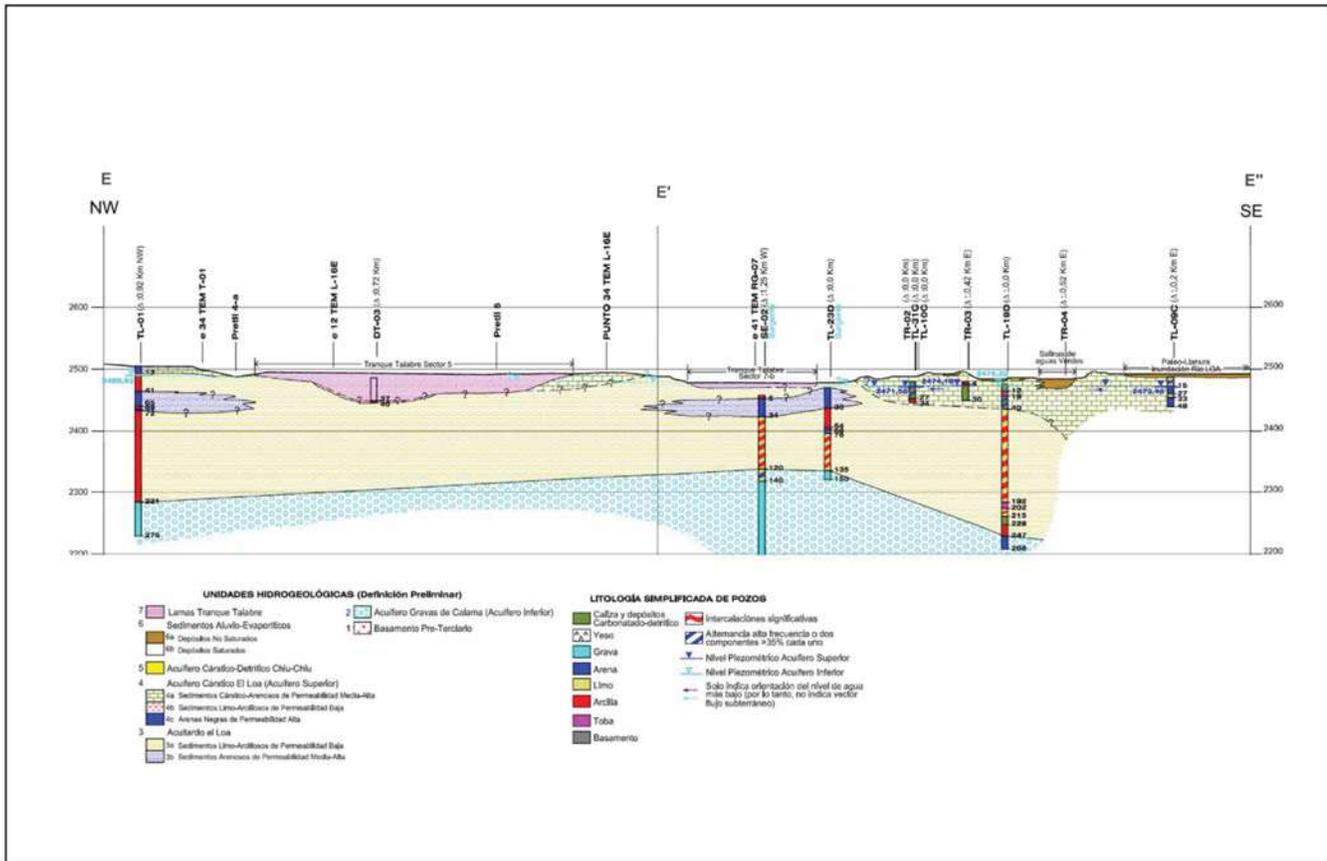
Fuente: Knight-Piésold (2010)

Figura 2.3-62. Perfil Hidrogeológico D-D'-D'' Sector Tranque Talabre



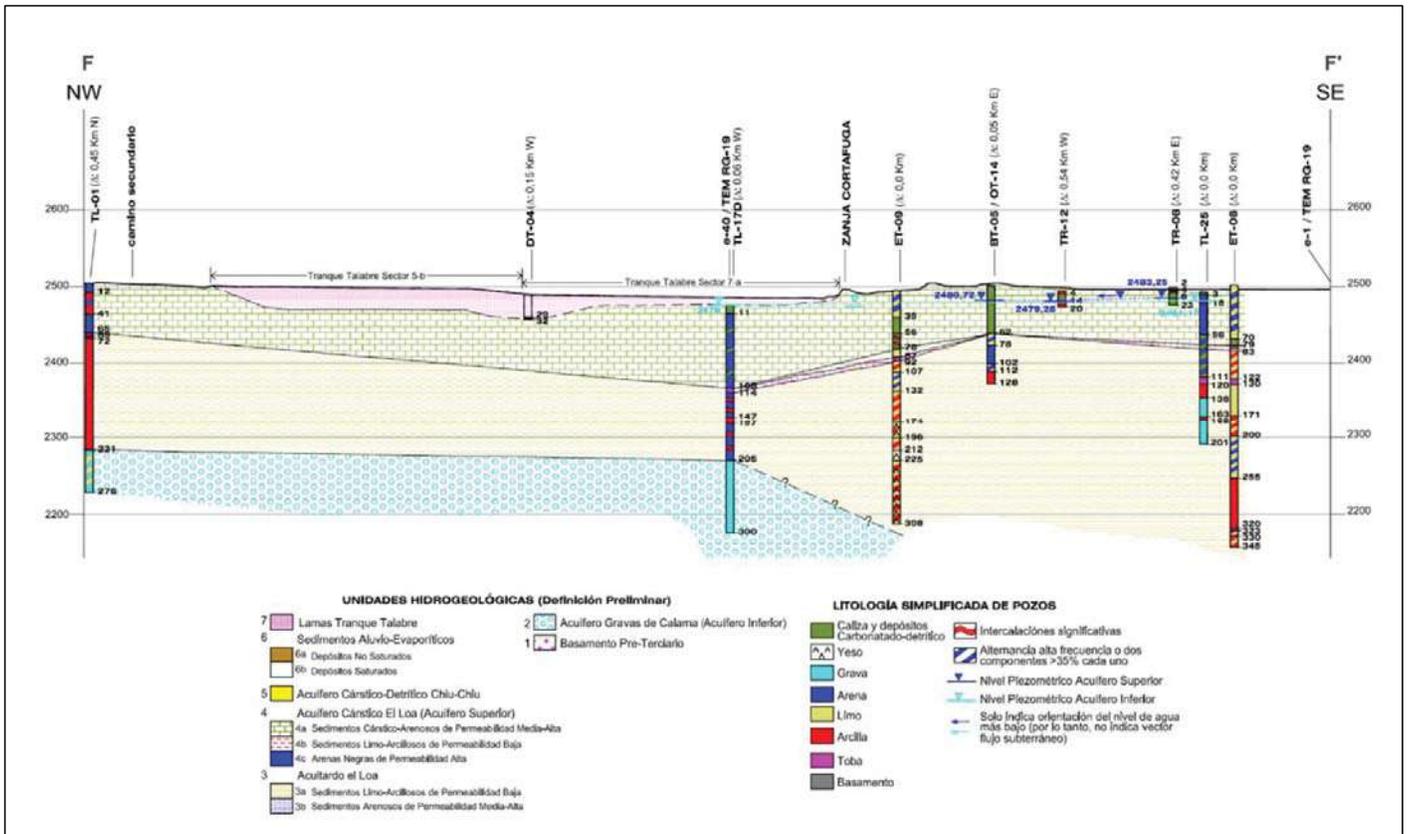
Fuente: Knight-Piésold (2010)

Figura 2.3-63. Perfil Hidrogeológico E-E'' Sector Tranque Talabre



Fuente: Knight-Piésold (2010)

Figura 2.3-64. Perfil Hidrogeológico F-F'' Sector Tranque Talabre



Fuente: Knight-Piésold (2010)

Piezometría de los Acuíferos Superior e Inferior

La información piezométrica obtenida de los registros de pozos, y en menor proporción a través de perfiles TEM, permitió caracterizar los niveles freáticos tanto para el acuífero superior como para el acuífero inferior.

En la Figura 2.3-65 se observa la superposición de las curvas isofreáticas del acuífero superior generadas en dos trabajos desarrollados en el área de este estudio. El primero, realizado por la consultora Knight Piésold el año 2010, en el sector del Tranque Talabre y zonas adyacentes, y el segundo, elaborado sobre mediciones hechas en el mismo año por Geohidrología en el sector denominado Pampa Cere (Geohidrología, 2011), situado al noreste del Tranque Talabre. Cabe destacar que en el sector RT no existe acuífero superior, así como tampoco en el sector aguas abajo conocido como Angostura.

En la figura se observa que ambas isopiezas no presentan variaciones significativas para las mediciones realizadas en el sector Pampa Cere. El gradiente hidráulico promedio para este sector se calculó en 1,2% con una dirección preferencial de flujo en sentido NE-SW, hacia la ciudad de Calama. En el sector este del Tranque se observa que existe una componente del flujo de agua subterránea que se dirige en dirección al río Loa. Además, se denota una disminución en el gradiente hidráulico en el sector central del Tranque Talabre (0,5%) en relación a los gradientes promedio calculados para este acuífero hacia la ciudad de Calama (1,3%) y en el sector de Pampa Cere (1,2%).

La Figura 2.3-66 presenta la superposición de las curvas isofreáticas del acuífero inferior realizadas en los trabajos ya mencionados de las consultoras Knight Piésold (2010) y de Geohidrología (2011). Se observa que las direcciones preferenciales de flujo, en general, son en sentido NE-SW hacia la ciudad de Calama. Además, en el sector este del Tranque Talabre se observa que existe una componente del flujo de agua subterránea que se dirige en dirección al río Loa. Los gradientes hidráulicos se pueden discretizar por sectores: en el sector norte del área mina se observó el mayor gradiente (7%) y una dirección preferencial del flujo en sentido NW-SE hacia Pampa Cere; en el área mina RT se observa el efecto de desagüe de mina en el rajo actual de RT, con direcciones de flujo hacia el rajo. En el sector denominado Pampa Cere, las isopiezas muestran diversas direcciones preferenciales de flujo en las direcciones NW-SE (desde Sierra Moreno), NE-SW y N-S, ambos originados en la ladera sur de Cerros de Paqui y con dirección al Salar Cere principalmente. Estas isopiezas presentan un gradiente promedio de 0,4%, el cual presenta una leve disminución hacia el sector del Salar de Cere (0,1%).

Sobre la base del registro de 124 puntos de monitoreo situados en los sectores Rajo y Operaciones RT, se ha reconocido que los niveles de agua subterránea más elevados se sitúan al sur, al oeste y al este del rajo RT, configurándose así una dirección de flujo hacia el interior del rajo, con gradientes hidráulicos que varían entre 0,21 y 0,26 (Figura 2.3-65). Ello refleja el efecto de la operación del rajo actualmente situado alrededor de los 2570 m.s.n.m. Este ingreso de agua al rajo se ha estado desaguando mediante pozos de bombeo desde el año 2007, a una tasa de 2 L/s en promedio (Geohidrología, 2011), lo que muestra indirectamente la tasa total aproximada de infiltración de agua al rajo, para un escenario actual. Por otro parte, se ha indicado que la influencia del rajo es relativamente local (Geohidrología, 2011).

Figura 2.3-65. Curvas Isofreáticas Acuífero Superior

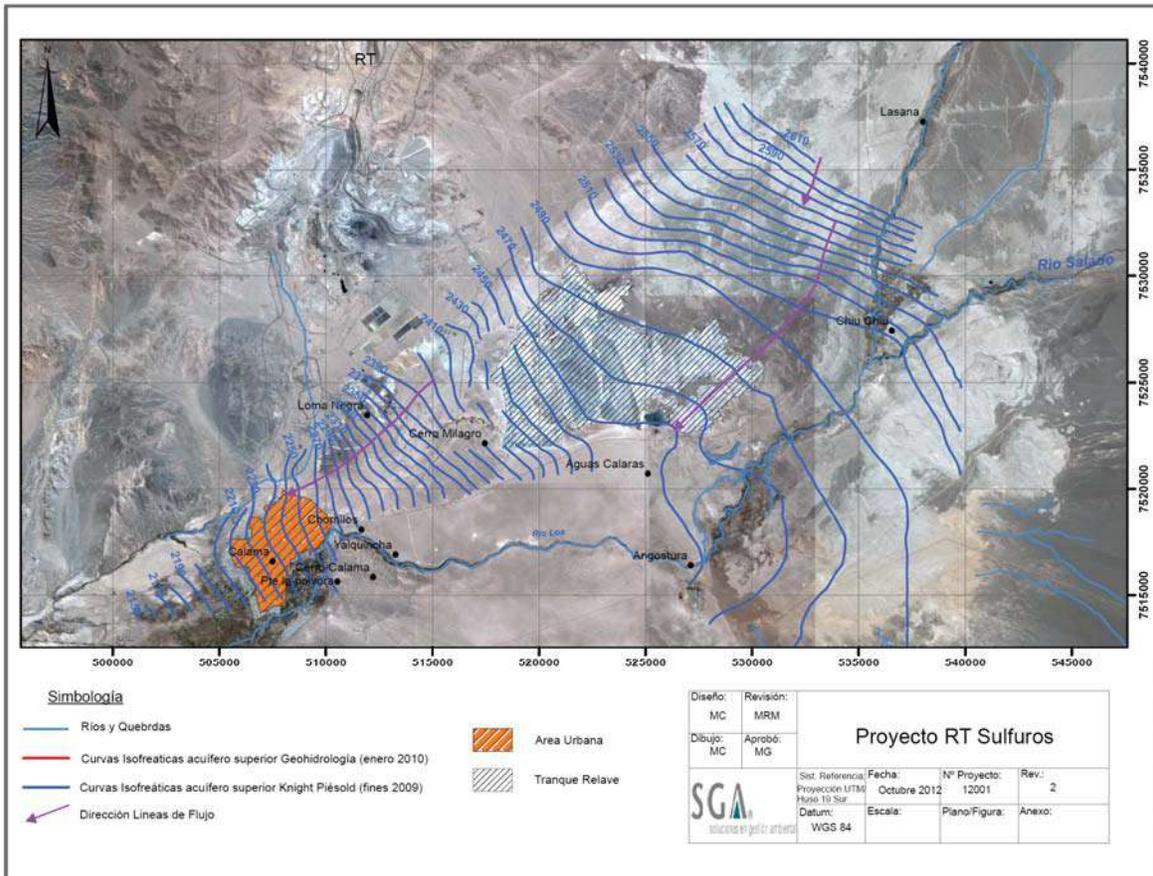


Figura 2.3-66. Curvas Isofreáticas Acuífero Inferior

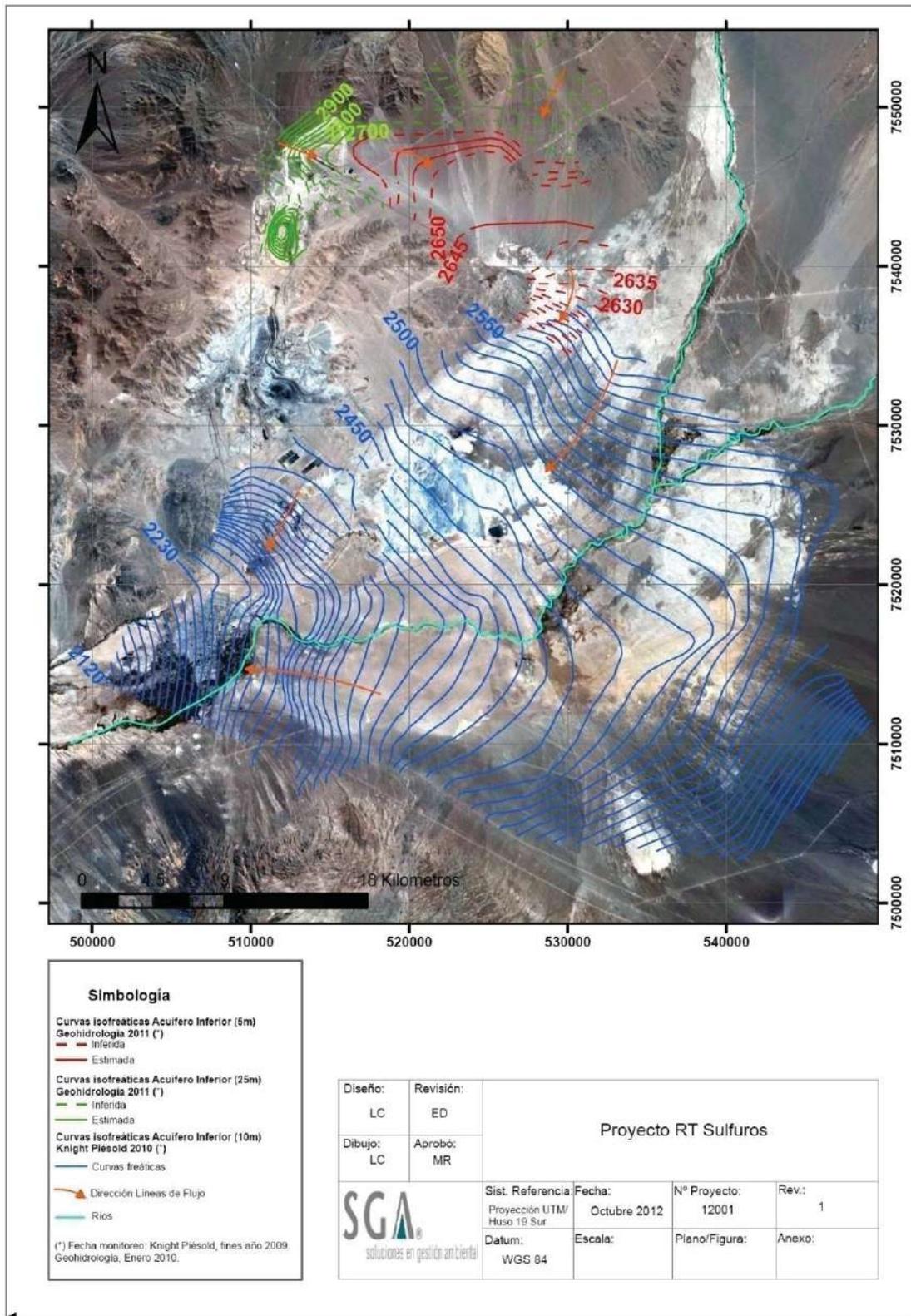
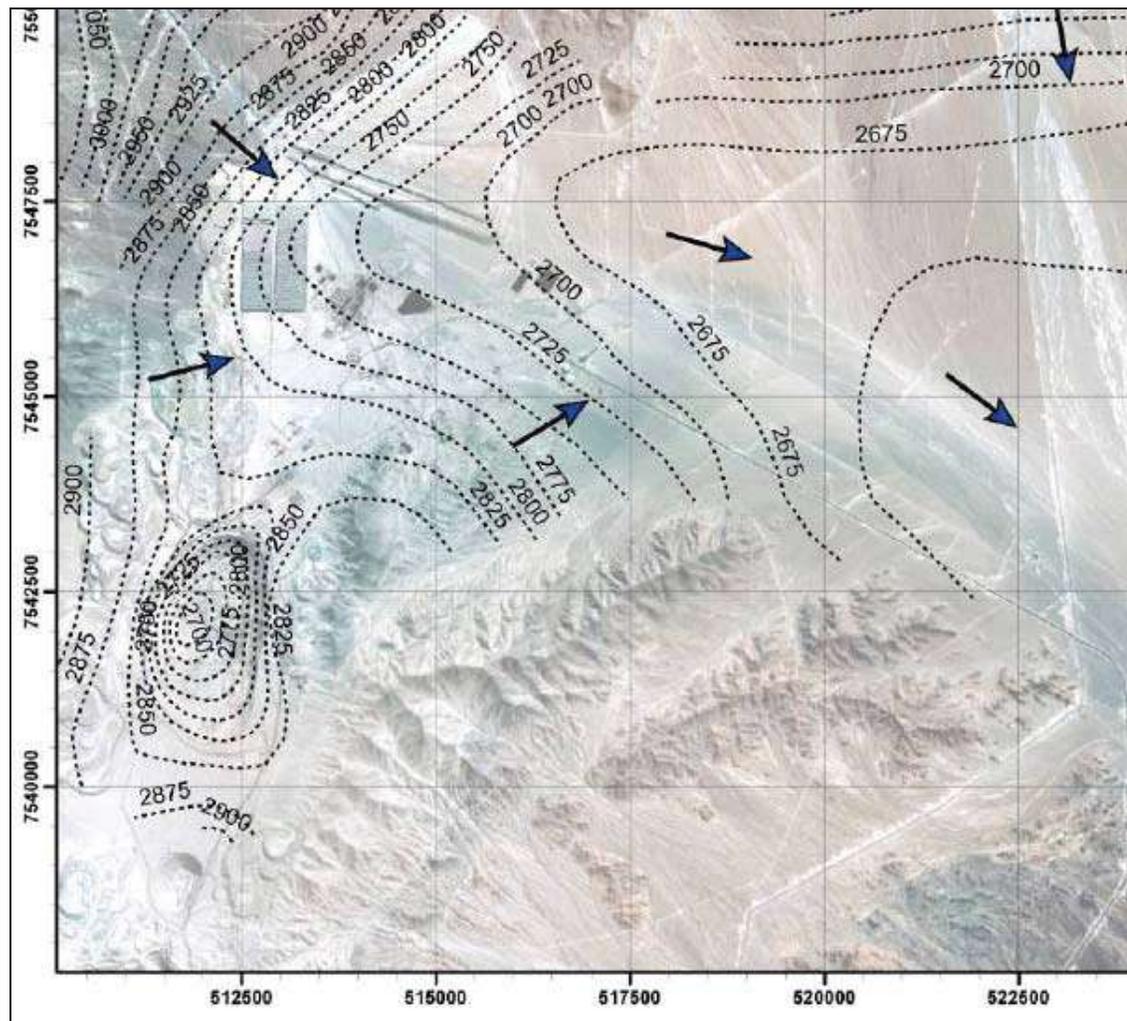


Figura 2.3-67. Piezometría Acuífero Inferior en Torno al Rajo RT Año 2010

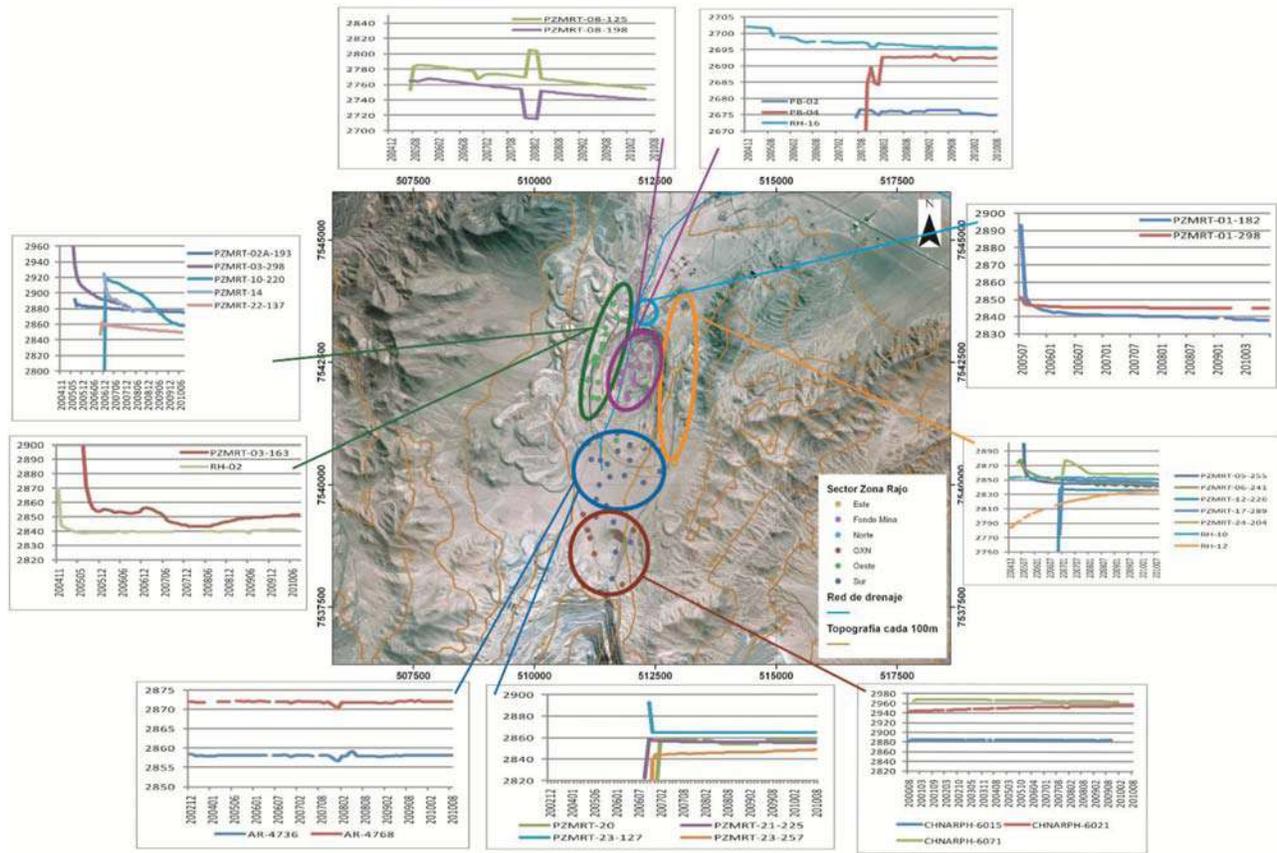


Fuente: Detalle ampliado de Figura 5.21 del informe Geohidrología (2011).

Del estudio Geohidrología (2011) podemos observar la evolución de niveles usando la sectorización mostrada en la Figura 2.3-68, de la cual se ha obtenido una serie de conclusiones respecto de la piezometría en el sector RT:

- En el área Norte y Sur los niveles se mantienen estables, en general, con excepción de algunos pozos como PMZRT-23-257.
- En el área Oeste y Este son estables o muestran un leve descenso en el tiempo, con excepción de algunos pozos del área Este, como RH-1.
- En el área de fondo mina del rajo RT, los niveles muestran claramente un descenso.
- En el área OXN los niveles tienden a elevarse en el tiempo.

Figura 2.3-68. Hidrogramas Niveles en el Rajo RT (Geohidrología, 2011)



El registro de niveles piezométricos efectuados en diversos puntos de monitoreo con instalación de multipiezómetros dentro del rajo, permite observar diferencias de nivel de hasta 60 m entre distintas habilitaciones a distintas profundidades. Esto muestra la existencia de agua en distintos dominios o sets de fracturas, que no siempre están interconectados, lo que dificulta asignar un valor único al nivel de agua subterránea en un punto dado.

Las curvas isofreáticas del sector de Talabre extraídas del trabajo de Knight Piésold, presentan un gradiente promedio de 2%. Estas curvas muestran una dirección de flujo preferencial NE-SW hacia Calama y en el sector del muro oeste del Tranque Talabre presenta una componente en dirección este-oeste. En el área de emplazamiento del Tranque Talabre se observa una disminución en el gradiente (0,8%).

Dinámica y Relación Río Loa – Acuíferos

El Río Loa durante su recorrido dentro del área del proyecto, en especial en el sector de Tranque Talabre presenta una dinámica muy característica, la cual, en algunos sectores podría estar función de la geología que atraviesa durante su recorrido, como es el caso del segmento comprendido entre Angostura y Yalquincha, donde el río se encuentra desconectado del acuífero posiblemente asociado a una capa de limos y arcillas que forman el lecho del río Loa, según los antecedentes de DCN (Ingeorec 2005).

En el estudio de CIMM 2012, se indica que entre la confluencia del río Salado y el extremo oriental del Salar de Brinkerhoff no hay conexión evidente, al igual que el sector de Angostura hasta la estación Yaquincha, donde, como se menciona anteriormente el lecho del río se compondría de una capa de limos y arcillas.

Entre el extremo oriente del Salar de Brinkerhoff y el sector de Angostura, existe conexión de acuerdo a los estudios de Ingeorec (2005) y el río recibe afloramientos del acuífero, mostrando que en este tramo el río Loa drena al acuífero (Figura 2.3-69).

En este segmento se genera un aumento neto de unos 500-600 L/s del río Loa alimentado por las aguas subterráneas del acuífero superior. De acuerdo a las isopiezas (KP, 2009) y sus líneas de flujo, las aguas que afloran en el río Loa provienen de aguas arriba del Tranque Talabre.

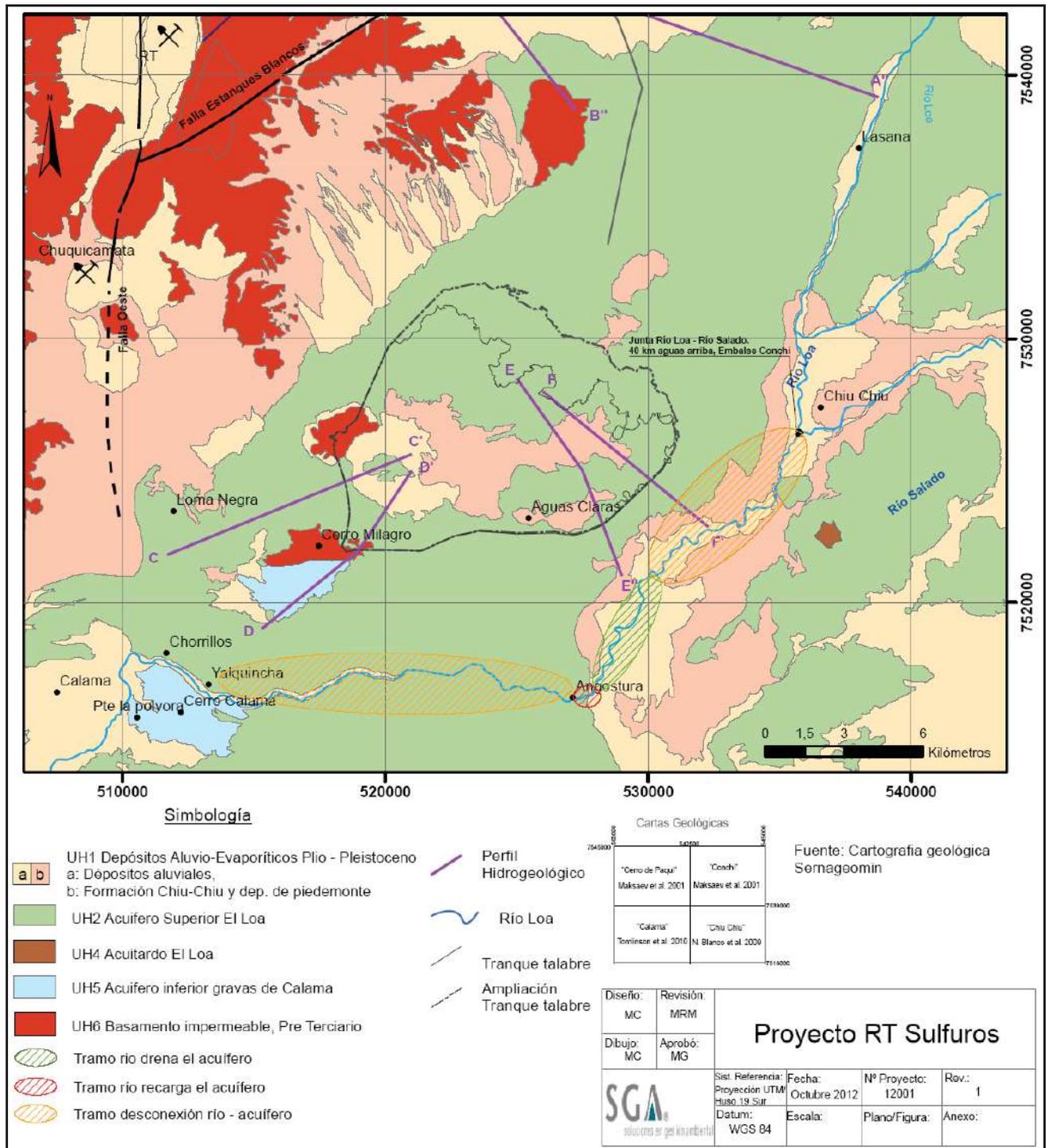
En el estudio de Ingeorec (2005) se identificaron siete vertientes que aportan a este tramo del río Loa. La primera se ubica 400 m aguas abajo de la confluencia del río Loa con el río Salado. Las otras seis vertientes se ubican en el tramo de aproximadamente 1,5 kilómetros aguas arriba del sector Angostura. En su mayoría todas estas vertientes afloran en la ribera norte del río.

Como se menciona anteriormente, desde el sector Angostura (extremo oeste del Salar de Brinkerhoff) y hacia el suroeste, el acuífero superior no contiene agua. Más aún, se ha identificado que en los sectores de los cerros Calama y Milagro, tanto el acuífero superior como el acuitardo intermedio desaparecen (CIMM, 2011), aflorando los depósitos detríticos y rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Calama (UH-5), determinando incluso una continuidad lateral de este acuífero inferior con las gravas Plio-Pleistocénicas (UH-1) situadas en los bordes de la cuenca.

Por otra parte, según se consigna en el estudio de Knight Piésold (2010), los antecedentes geológicos y los datos de niveles estáticos permiten aseverar, respecto al Acuífero Inferior o Principal, que no existe conexión hidráulica entre éste y los ríos Loa y San Salvador. Entre los datos geológicos mencionados, está que este acuífero se encuentra confinado por limos y arcillas suprayacentes y que bajo el sector del tranque Talabre el acuífero alcanza

profundidades de aproximadamente 100 m, lo que lo sitúa muy por debajo de la cota del río Loa.

Figura 2.3-69. Interacción Río - Acuífero



Modelo Hidráulico e Infiltración Tranque Talabre

La infiltración de agua desde el tranque Talabre hacia el acuífero y modelamiento numérico del flujo subterráneo, se presenta sobre la base del estudio “Modelamiento Hidráulico del Tranque Talabre y su relación con Acuíferos y Cauces Superficiales” (Knight Piésold, 2010).

El estudio señalado se realizó sobre la base de numerosos antecedentes hidrogeológicos disponibles de estudios anteriores, los cuales sirvieron también como antecedentes para la línea base expuesta para este sector sobre geología e hidrogeología.

Uno de los objetivos del estudio fue establecer la conexión hidráulica entre el tranque y el acuífero, y cuya infiltración fue incorporada como dato de recarga en el modelo de flujo subterráneo del acuífero.

Infiltración Tranque Talabre

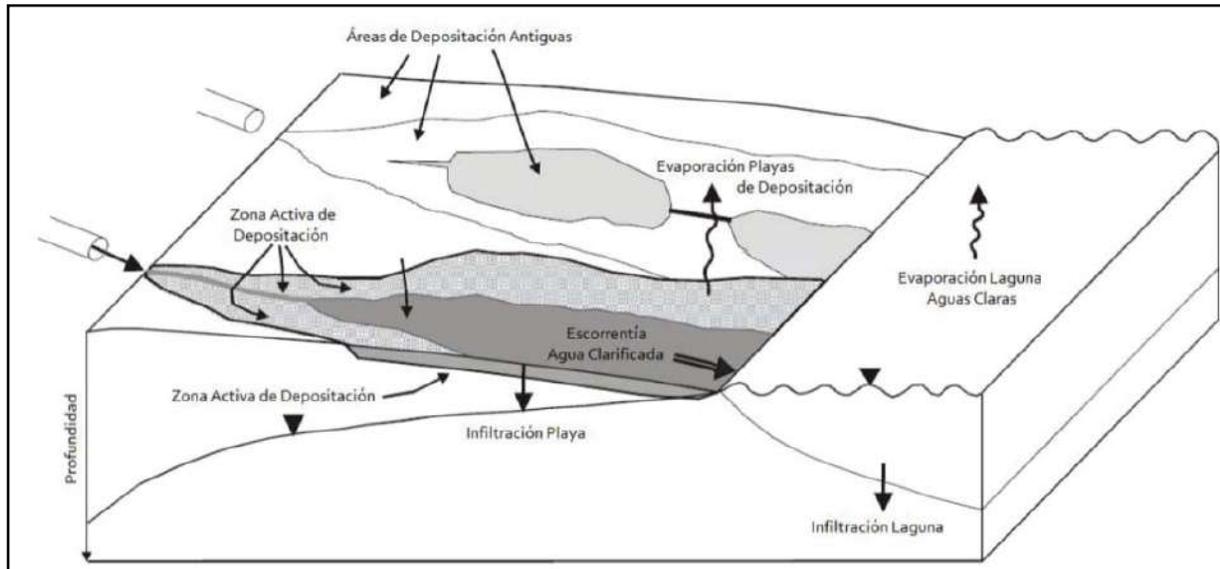
Para estimar la infiltración neta desde el tranque al acuífero, se utilizaron 2 esquemas de análisis: (1) balance hídrico con información mensual; y, (2) análisis de flujo en secciones verticales características para determinar la filtración a través de sectores específicos del tranque Talabre. En este último caso se hace uso del código SEEP/W.

Infiltración vía balance hídrico: con el balance de masas se estimó el valor global del caudal de infiltración. Éste se muestra en la Figura 2.3-70 y viene dado por la siguiente expresión (Knight Piésold, 2010):

$$\text{Descarga desde relaves} + \text{Precipitación} = \text{Evaporación} + \text{Retención en Relaves Descargados} + \text{Infiltración} + \text{Restauración en Relaves Anteriores} + \text{Agua Recuperada} + \text{Drenaje de Muros}$$

Este balance se realizó a nivel mensual entre enero de 2001 a junio de 2009, estimando sobre la base de estadísticas meteorológicas, operacionales y fórmulas empíricas cada componente del balance. Es importante mencionar que en este análisis la tasa de evaporación es muy incidente en el valor final de las filtraciones, de tal manera que para los efectos posteriores se usa sólo como una referencia del orden de magnitud de las filtraciones esperadas.

Figura 2.3-70. Balance Hídrico Tranque Talabre



Fuente: Knight Piésold, 2010

Infiltración estimada en secciones

Para lograr este objetivo se elaboraron perfiles hidrogeológicos en distintos sectores que consideran los muros, y la información hidrogeológica disponible. Con estas secciones se evaluó la infiltración mediante el uso del programa SEEP/W, el cual resuelve la ecuación de flujo en medios porosos no saturados mediante un análisis de elementos finitos.

La aplicación del modelo dio como resultado una infiltración desde el tranque de **35,6 l/s**, siendo el mayor flujo a través del muro oeste. Además, se realizó un análisis de sensibilidad que demostró que variaciones del nivel freático en la cubeta tienen un bajo impacto en la tasa de infiltración, inferior al 10%.

Modelo Numérico de Flujo Acuífero de Talabre

Aspectos generales e implementación modelo numérico

Para el análisis se consideró la elaboración de un modelo conceptual de flujo subterráneo y de transporte, considerando que el tranque representa una fuente puntual en el flujo regional del área mientras que el fenómeno de transporte de la infiltración desde el tranque se analizó a una escala más local.

Sobre la base de la hidrogeología estudiada en el área, las unidades que condicionan mayoritariamente el flujo subterráneo son: i) acuífero superior, ii) acuitardo, iii) acuífero inferior y iv) basamento impermeable. A partir de los ensayos de bombeo disponibles se determinaron valores de conductividad hidráulica (K) entre 0,017 y 2,6 m/d para el acuífero superior y entre 0,03 y 41 m/d para el acuífero inferior. La piezometría generada para ambos acuíferos determinó un gradiente hidráulico similar de 1,2% (Knight Piésold, 2010).

Las descargas por bombeo del acuífero inferior se realizan de 6 pozos ubicados en el Salar del Indio, a unos 6 km al oeste de Talabre, con registros de caudal entre 2002 y 2008 y valores medios entre aproximadamente 1 y 12 L/s, los cuales se encuentran habilitados, en el acuífero inferior, entre los 178 y 200 m de profundidad.

La recarga por efecto de las precipitaciones se estimó por el método de la Curva Número, aplicándolo a los meses de enero a marzo donde se producen las precipitaciones. En general, la recarga por lluvias es nula y sólo se produce para lluvias muy extremas. Se determinaron valores máximos de recarga de 2,2 mm/mes.

El modelo numérico de flujo subterráneo fue configurado en Visual MODFLOW y consideró una primera etapa de elaboración del modelo y calibración en régimen permanente para condición estacionaria año 2003. La siguiente etapa fue la implementación y calibración del modelo en régimen transiente para periodo 2003-2009.

El área del modelo abarca la cuenca de Calama según los acuíferos analizados. Se configuró en tres estratos (layers) considerando los acuíferos superior e inferior y el acuitardo entre ambos. La elevación o geometría de los estratos se basó en los antecedentes geológicos analizados. En la Figura 2.3-71 se muestra el área modelada y las condiciones de borde.

Calibración régimen permanente

La calibración del modelo en régimen permanente (niveles año 2003) busca reproducir el comportamiento del sistema establecidos en el modelo conceptual (niveles, dirección de flujo, relación río-acuífero que define descarga o recarga del acuífero a través del río Loa, zonas de recarga, zonas secas en unidad de calizas, etc.).

Para los efectos de este análisis se consideró un caudal de filtraciones de 21 L/s, el que representa una condición promedio de las condiciones existentes al año 2003. Para la asignación de este caudal en el área del tranque Talabre se consideró una distribución areal que se asocia con los perfiles característicos utilizados en el análisis con SEEP/W.

El resultado del proceso reprodujo el balance hídrico en el sistema modelado para el año 2003, el que se presenta en la Tabla 2.3-102, donde el término “error de balance” corresponde al error del ajuste del modelo numérico entre las entradas y salidas del modelo y la Figura 2.3-72 y Figura 2.3-73.

En la Figura 2.3-74 se visualizan las permeabilidades adoptadas como resultado de la calibración para los tres estratos del modelo (conductividad hidráulica horizontal).

Figura 2.3-71. Área Modelo Numérico Talabre



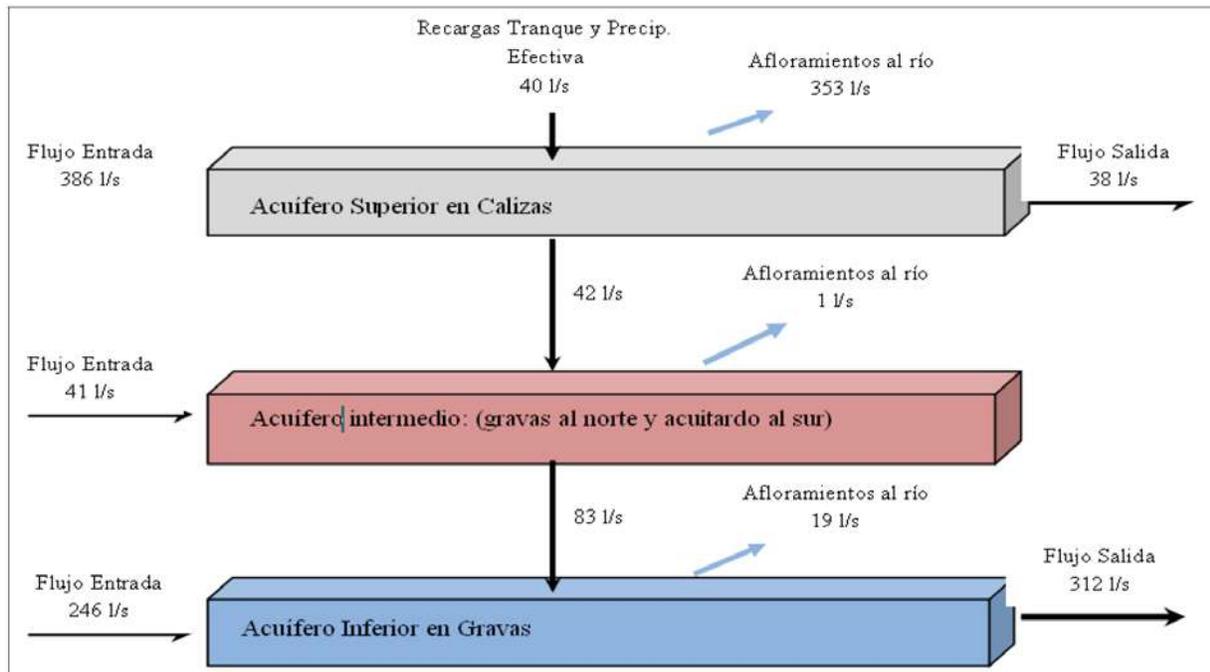
Fuente: Knight Piésold, 2010

Tabla 2.3-102. Balance Hídrico Calibración Régimen Permanente (2003) Modelo Talabre

Entradas (L/s)			Salidas (L/s)	
Recargas	Tranque	21	Flujo Salida Oeste	349
	Precipitación	19	Afloramiento Río Loa	372
Flujo Entrada	NE	241	Total	721
	SE	48	Error Balance (L/s)	
	NO	164	Entradas	714
	E	221	Salidas	721
Subtotal	Recargas (Tranque+Pp)	40	Error	0,90%
	Flujo Entrada	674		
Total		714		

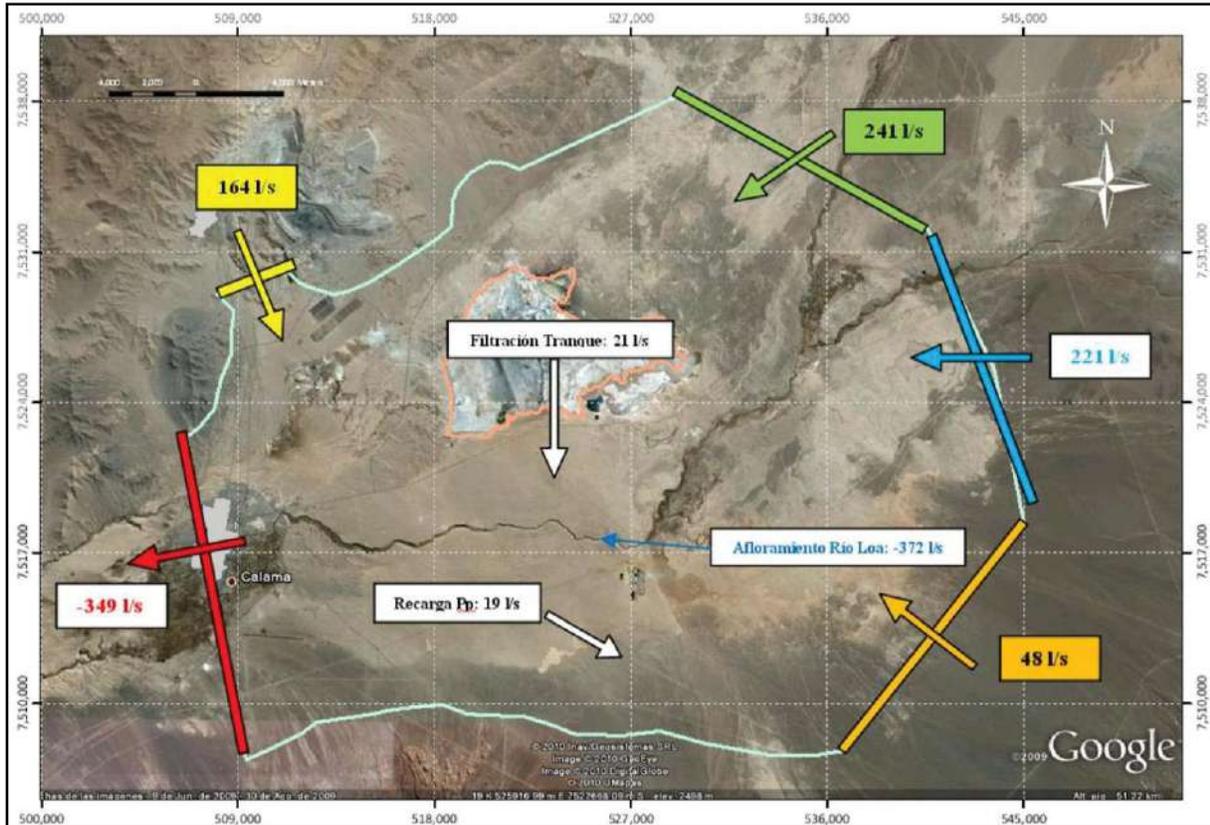
Fuente: Knight Piésold, 2010

Figura 2.3-72. Esquema Balance Hídrico Calibración Régimen Permanente (2003)



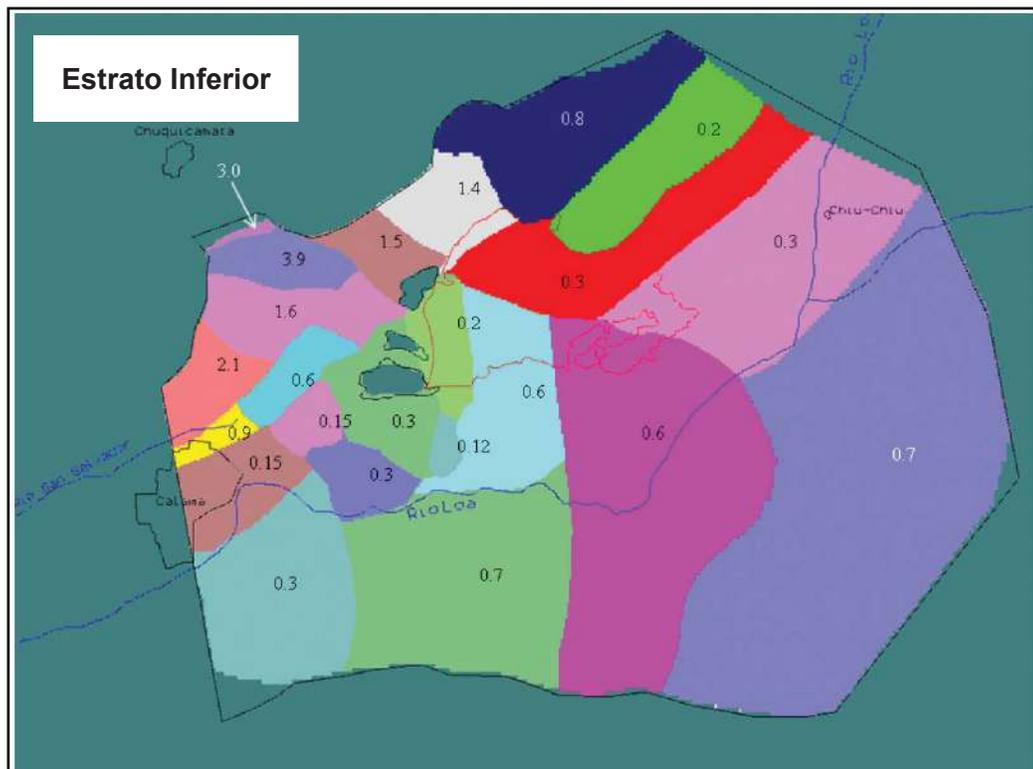
Fuente: Knight Piésold, 2010

Figura 2.3-73. Balance Hídrico Calibración Régimen Permanente (2003) Modelo Talabre



Fuente: Knight Piésold, 2010

Figura 2.3-75. Permeabilidad Acuífero Inferior Área Modelo Talabre (m/d) (cont.)



Fuente: Knight Piésold, 2010

Calibración en régimen transiente

La calibración del modelo en régimen transiente, para el periodo 2003-2009, incorpora la condición de explotación del periodo. Se agregó como condición de borde el paulatino descenso observado en la frontera NO del modelo, manteniendo la condición de altura constante en el resto del área. Como resultado importante de esta calibración, el flujo entrante por este límite NO se reduce de 164 L/s para el año 2003 (calibración permanente) a 50 L/s al año 2009. Esta variación resulta poco relevante para simular condiciones próximas al tranque al estar esta zona de recarga alejada de éste en cuanto a distancia y dirección de flujo.

Para efectos de las infiltraciones desde el tranque Talabre se consideró una regla de aumento de los caudales estimados por cada sección, para lo cual se incluyó una variación lineal entre el valor inicial de 21 L/s (para el año 2003) y 36 L/s (para el año 2009).

Cabe agregar del estudio realizado que, en términos de flujo subterráneo, la infiltración desde el tranque al acuífero, que se estiman en 36 L/s en condición base, al final del período, es porcentualmente bajo en relación al flujo pasante por el sector del tranque, del orden de 500 L/s, lo que significa una capacidad de dilución importante de la pluma contaminante proveniente del tranque, lo que hace que el acuífero tenga un grado de vulnerabilidad bajo a este fenómeno.

Modelo de Transporte Acuífero de Talabre

El modelo numérico de transporte se configuró sobre la base del modelo de flujo calibrado en régimen permanente y consideró al sulfato como compuesto trazador, debido a su carácter conservativo y a su presencia en el acuífero y de manera importante en las aguas claras del tranque. Cabe señalar que se han medido concentraciones altas de sulfatos de hasta 4000 mg/L (Knight Piésold, 2010) en pozos ubicados fuera del área del tranque (al poniente), la que se asocia a actividades mineras de la zona. En la Figura 2.3-76 se muestran los pozos de monitoreo utilizados para calibrar el modelo de transporte.

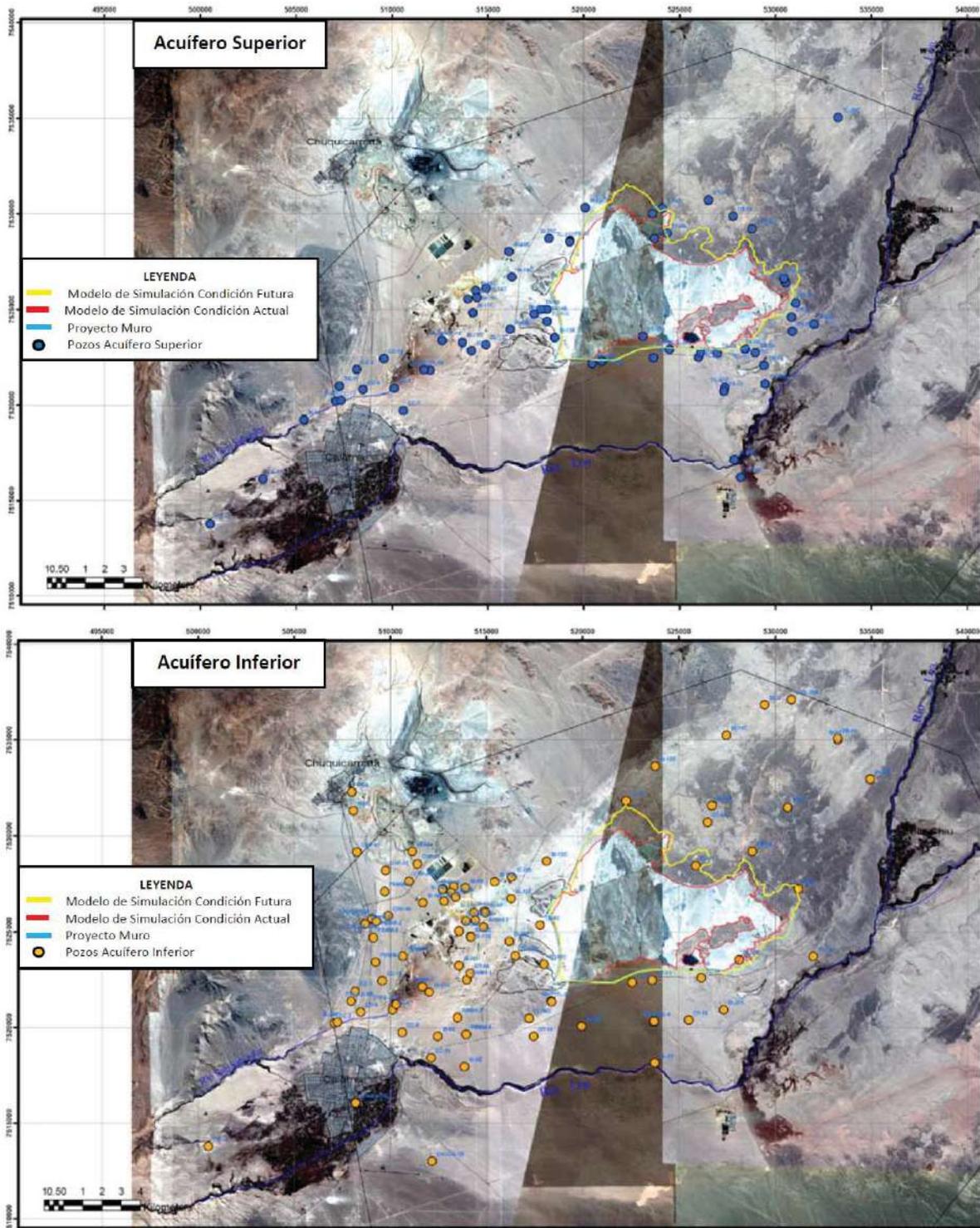
Para definir el modelo se consideró los efectos del tranque en los pozos ubicados al sur y poniente de éste, según la hidrogeoquímica analizada. El volumen y puntos de salida del contaminante desde el tranque se definieron a partir de los resultados del análisis de filtraciones del tranque.

Para la calibración se consideró al sulfato como un compuesto conservativo representativo de las condiciones del sistema. El proceso de calibración consideró en primer lugar el proceso advectivo de transporte, sin considerar los efectos de dispersión, donde la porosidad es el parámetro a calibrar. Posteriormente se calibra el proceso dispersivo (coeficiente de dispersión). El proceso de calibración demostró que el mecanismo de transporte predominante es del tipo advectivo.

Sobre la base de las concentraciones medidas de sulfato se determinó su concentración inicial en el área, la que como promedio se estima en 300 mg/L para los estratos superior e inferior. Por infiltración desde el tranque al acuífero superior se definió que los sulfatos, en promedio, alcanzan en torno a 4.000 mg/L.

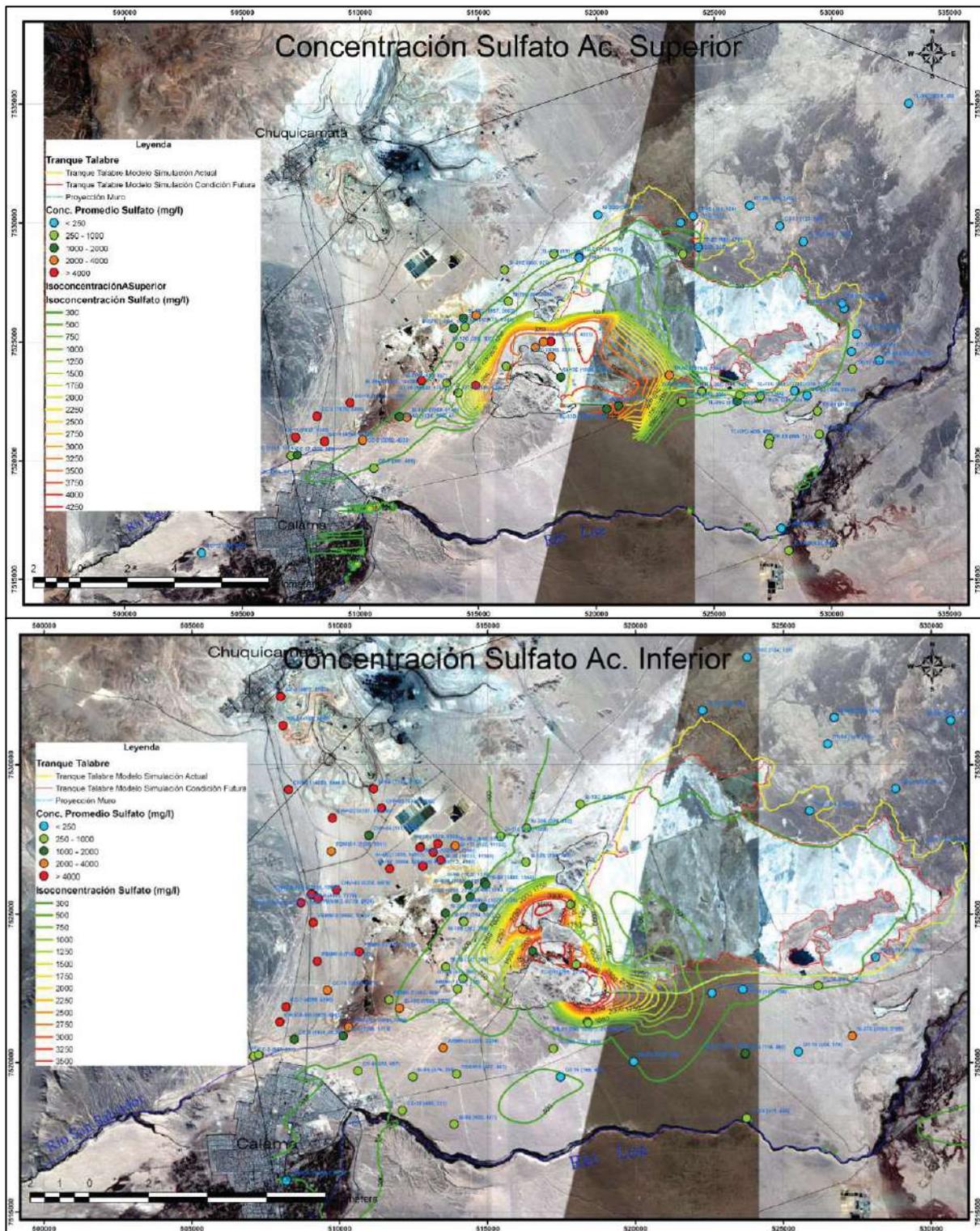
Las curvas de isoconcentración de sulfato obtenida por la calibración del modelo reproduciendo la situación actual, que se presentan en la Figura 2.3-77, muestran que para el acuífero superior la pluma contaminante abarca casi en su totalidad el paleocanal ubicado abajo del muro oeste mostrándose una marcada atenuación de la concentración hacia el norte. Estas curvas se distribuyen de manera similar en el acuífero inferior, con una marcada concentración en las cercanías del tranque Talabre, es decir, las partículas infiltran al acuífero inferior con las concentraciones presentes en el acuífero superior. Las concentraciones reproducidas para las proximidades de Calama y cercanías del río Loa se mantienen en los niveles medidos.

Figura 2.3-76. Pozos Calibración Modelo de Transporte



Fuente: Knight Piésold, 2010

Figura 2.3-77. Isoconcentración Sulfato Simulación Condición Actual

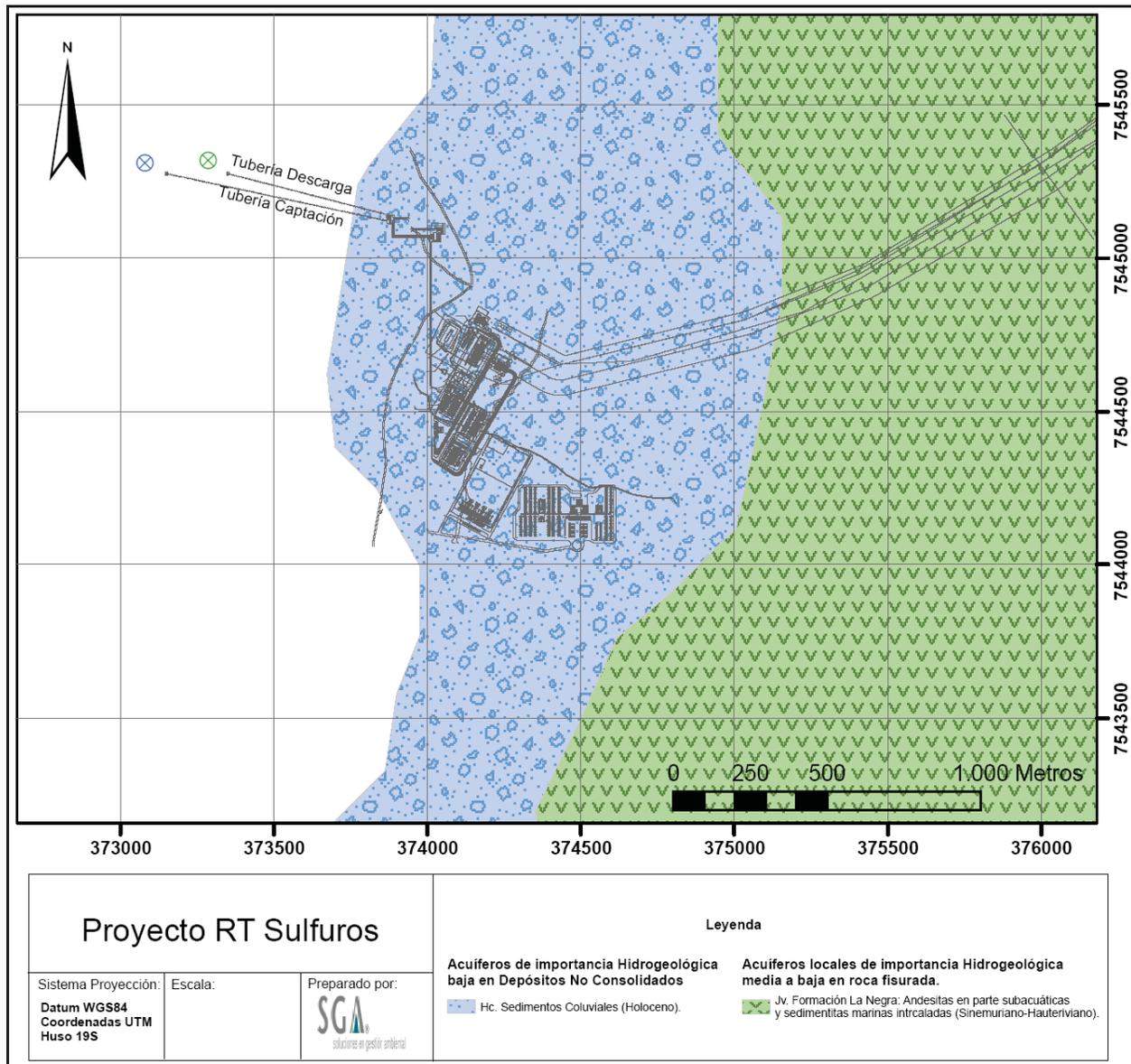


Sector Planta Desaladora

El sector de emplazamiento de la planta desaladora y las obras marítimas se caracteriza por la presencia de un cono de deyección con sedimentos cuaternarios apoyados sobre una terraza marina. Estos depósitos no consolidados de origen coluvial presentan alta permeabilidad y el aporte de flujos subterráneos, aportes que están condicionados por el clima desértico, con lluvias intensas muy ocasionales y precipitaciones medias anuales <1 mm. Los factores antes mencionados, junto con el limitado tamaño de la cuenca aportante y la pendiente general de los terrenos, permiten estimar que esta unidad hidrogeológica presenta una escasa a nula recarga, lo que infiere a esta unidad bajo a nulo potencial hidrogeológico.

En los alrededores del área de emplazamiento de la planta desaladora se observa la unidad hidrogeológica de rocas consolidadas volcánicas jurásicas, compuesto por lavas andesíticas de la Formación La Negra con muy baja a nula permeabilidad y considerada como el basamento (Figura 2.3-78).

Figura 2.3-78. Unidades Hidrogeológicas Planta Desaladora



Sector Trazado Planta Desaladora – RT (Línea de Impulsión de Agua)

El trazado de la línea de impulsión atraviesa en dirección Oeste-Este, cruzando transversalmente la cuenca del río Loa en su tramo medio hasta terminar el km 160 en un reservorio ubicado en el Sector RT. En su extenso recorrido, ésta atraviesa las siguientes unidades hidrogeológicas que se describen a continuación (Figura 2.3-79) y que serán las mismas que atraviesan las líneas eléctricas, ya que su trazado es paralelo al de la línea de impulsión. Estas unidades se describen a continuación.

Rocas No consolidadas:

- **Coluviales:** El recorrido del primer kilómetro de la línea de impulsión de agua será sobre esta unidad hidrogeológica correspondiente a los sedimentos de relleno, con mayor pendiente, alta permeabilidad y escasa a nula recarga.
- **Aluviales:** En esta unidad se encuentran agrupados los depósitos de relleno que comprenden desde los sedimentos semicompactados hasta el relleno aluvial reciente. Litológicamente definidas como gravas, arenas, arcillas y limos de composición polimíctica, en ocasiones cementados por sales. Estos depósitos aluviales tienen un espesor variable, con variaciones que van entre pocos centímetros hasta los 10 m (SQM, 2011). Los sondeos de exploración realizados al sur del poblado de María Elena evidenciaron espesores saturados medios superiores a los 100 m con profundidades del nivel de agua que van desde los 30 a 55 m aproximadamente, además estos depósitos presentan características hidrogeológicas pobres producto del alto contenido de material arcilloso, con porcentajes variables de arena y la nula recarga por las escasas precipitaciones medias anuales en el área (<10 mm).

Rocas consolidadas:

- **Volcánicas:** Se encuentra constituida por las Formaciones Jurásicas (La Negra), Cretácicas (Augusta Victoria y Arca) y Triásicas, (Agua Dulce), compuestas litológicamente por andesitas, riolitas, ignimbritas y rocas mixtas sedimentario-volcánica, presentan permeabilidad secundaria asociada al grado de fracturamiento y meteorización de esta unidad.
- **Intrusivas:** En esta unidad se encuentran agrupados los cuerpos intrusivos: (i) Paleozoicos de carácter granítico a diorítico (Granito Mesa y granodiorita Este); (ii) Jurásico-Cretácico de carácter diorítico a granodiorítico; (iii) Cretácicos-Terciarios constituidos por un conjunto de granitoides de variaciones composicionales entre granito y andesita (Granitoide Atahualpa y Granodiorita Andina), y (iv) Terciarios de composición dacítica, granítica y granodiorítica (Pórfido Chuqui, granodiorita Fortuna, Pórfido San Lorenzo y Diorita Los Picos).

Estos cuerpos intrusivos presentarían permeabilidad secundaria producto del grado de fracturamiento y meteorización de éstos en el área, y su potencial hidrogeológico estaría relacionado con estos factores y la conexión de estas fracturas, siendo consideradas en general, al igual que las rocas volcánicas, como el basamento de los rellenos acuíferos. Es por esto que no se espera no encontrar aguas subterráneas en este tipo de rocas en el área del proyecto.

- **Sedimentarias:** Esta unidad se encuentra conformada por las formaciones Calama, Estratos Sierra San Lorenzo, Secuencia marina y continental de Cerritos Bayos, Grupo Caracoles, Formación El Toco y el Miembro Inferior de la Formación El Loa. Litológicamente corresponde principalmente a gravas, areniscas, conglomerados, arcillas, limos y diatomitas, con espesores que van desde los 30 cm a los 100 m. Presenta porosidad primaria y su grado de permeabilidad está asociado a la cantidad de material fino presente en las rocas, el grado de compactación, el fracturamiento y la conexión entre éstas. Sondeos y estudios geofísicos realizados en el sector del poblado de María Elena permitieron identificar 2 niveles de roca con medio a alto potencial hidrogeológico, un nivel de arenas y gravas con poco material fino y espesores de 20 a 150 m, con un potencial hidrogeológico importante y un nivel de gravas y arenas sin material fino y alta permeabilidad y espesores entre los 100 y 250 m, siendo esta unidad la de mayor potencial hidrogeológico (SQM, 2011).
- **Metamórficas:** En esta unidad se encuentra el complejo metamórfico de Limón Verde y Chuquicamata compuesto por metaconglomerados, cuarcitas, esquistos, anfíbolitas y

gneises, las cuales presentarían porosidad secundaria por fracturamiento y meteorización de las mismas, por lo que a esta unidad podría ser considerada como parte del basamento.

En la Tabla 2.3-103 se presenta un cuadro resumen por tramos de las unidades hidrogeológicas que atraviesa el trazado de la línea de impulsión:

Tabla 2.3-103. Unidades Hidrogeológicas Línea de Impulsión

Tramo (Km)	Unidad Hidrogeológica	Unidad Geológica
0 – 0,9	Rocas No Consolidadas Coluvial	Sedimentos coluviales (Hc)
0,9 – 6,23	Rocas Consolidadas Volcánica	Formación La Negra (Jv)
6,23 - 8,33	Rocas Consolidadas Intrusivas	Granodiorita Andina (Kg)
8,33 – 12,25	Rocas Consolidadas Volcánica	Formación La Negra (Jv)
12,25 – 18,35	Rocas No Consolidadas Aluvial	Sedimentos aluviales (Hal)
18,35 – 19,4	Rocas Consolidadas Intrusivas	Granodiorita Andina (Kg)
19,4 – 84,23	Rocas No Consolidadas Aluvial	Sedimentos aluviales (Hal) Sedimentos con nitratos (Hn)
84,23 – 84,56	Rocas Consolidadas Volcánica	Formación La Negra (Jv)
84,56 – 89,11	Rocas No Consolidadas Aluvial	Sedimentos aluviales (Hal)
89,11 – 90,33	Rocas Consolidadas Calizas Loa	Formación El Loa (Tsc)
90,33 – 91,72	Rocas Consolidadas Volcánica	Formación La Negra (Jv)
91,72 – 96,68	Rocas Consolidadas Calizas Loa	Formación El Loa (Tsc)
96,68 – 117,6	Rocas No Consolidadas Aluvial	Sedimentos aluviales (Hal)
117,6 – 118,42	Rocas Consolidadas Intrusivas	Granodiorita Andina (Kg)
118,42 – 119,82	Rocas Consolidadas Volcánica	Formación Augusta Victoria (Kv)
119,82 – 124,19	Rocas Consolidadas Intrusivas	Granodiorita Andina (Kg)
124,19 – 125,99	Rocas Consolidadas Volcánica	Formación Augusta Victoria (Kv)
125,99 – 126,70	Rocas Consolidadas Intrusivas	Granodiorita Andina (Kg)
126,70 – 140,44	Rocas No Consolidadas Aluvial	Sedimentos aluviales (Hal) Depósitos aterrazados (Mplt)
140,44 – 147,73	Rocas Consolidadas Sedimentarias	Grupo Caracoles (Jgc) Estratos de Sierra San Lorenzo(Jsl)
147,73 - 149,95	Rocas Consolidadas Volcánica	Formación Arca (Kia)
149,95 – 157,92	Rocas No Consolidadas Aluvial	Depósitos aterrazados (Mplt) Sedimentos aluviales (Hal)
157,92 – 160	Rocas Consolidadas Volcánica	Formación Arca (Kia)

Fuente: Elaboración propia

Considerando la extensión geográfica de la línea de impulsión, desde la costa hasta el sector RT, podemos señalar que a nivel regional las direcciones de escurrimiento y flujo del agua preferenciales en el sector oriental del área de estudio sería en dirección este-oeste hasta terminar infiltrando en la depresión central. En el sector occidental sobre la cordillera de la Costa se observa que las direcciones preferenciales de escurrimiento estarían controlados por el sistema de fallas estructurales del área.

2.3.5.4.3 Hidroquímica

a) Descripción hidroquímica regional

A nivel regional la variación composicional del agua tanto, superficial como subterránea, está en función de (i) la ubicación de las zonas de recarga y (ii) el aporte de otras fuentes superficiales, tanto naturales como antrópicas. Para la composición química de las aguas subterráneas, además de estos factores la química del agua también depende de (iii) las unidades geológicas que atraviesadas por las líneas de flujo y la conexión hidráulica entre el (los) acuífero(s) y/o con cuerpos de agua superficial presentes en el sector.

De esta manera, la calidad química de las aguas está relacionada con la incorporación de elementos y compuestos químicos desde su área de recarga, generalmente en unidades geológicas de origen volcánico y su recorrido. En algunos casos (p.e. Río Salado), por procesos geotérmicos, la interacción química de estas aguas con las unidades litológicas atraviesadas es acelerada ya que la cinética de estas reacciones aumenta con la temperatura de las aguas y ambiente.

A continuación se presenta la caracterización hidroquímica y de calidad de aguas de los cursos de agua superficial y de los acuíferos presentes en los distintos sectores del Proyecto RT Sulfuros.

b) Descripción hidroquímica por Sector del Proyecto

Sector RT y RT-Talabre

En este sector no se encuentran fuentes de agua superficial, por lo que, para esta área, se realiza solamente la caracterización de las aguas subterráneas de los acuíferos existentes en el área. La información que se presenta a continuación está basada principalmente en los trabajos de Geohidrología (2011), en donde se presenta la estadística del análisis de aguas subterráneas en el sector RT-Pampa Cere que incluye información recopilada desde el año 2003 hasta el año 2010 (Tabla 2.3-104), los resultados químicos de las soluciones de procesos mineros (Tabla 2.3-105) y Los resultados químicos de las aguas subterráneas en el rajo RT (Tabla 2.3-106).

Tabla 2.3-104. Estadística Análisis Aguas Subterráneas de los Subsectores

Pozo		pH	SDT	Na ⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	PO ₄	Si	Al ³⁺	Fe	As	Cr	Cu	Mn ²⁺	Mo	Zn
AR-1569	N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	78	79	61	44	73	19	3	62	14	12
	Promedio	7,6	1380	171	198	33,5	222	500	10	19	1,7	10	0,9	1,1	0,11	0,04	0,2	0,03	0,2	0,185
	Des.Std.	0,2	131,7	24,1	12	8,63	24,3	15,3	2,5	1,8	1,4	2,5	1	1,3	0,32	0,02	0,11	0,03	0,1	0,1107
	Inter.Conf (95%)	0,1	29,05	5,32	2,64	1,9	5,36	3,37	0,6	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4	0,07	0,01	0,13	0,01	0,1	0,0626
	Max	8,1	1724	248	222	92	257	550	20	26	6,8	17	5,7	6,2	2,8	0,12	0,33	0,17	0,5	0,41
	Min	6,9	1020	128	159	16	31,3	453	5,6	14	0,2	3,6	0,2	0,3	0,02	0,02	0,11	0,01	0,1	0,08
P-10	N	80	80	80	80	80	80	80	80	80	78	76	67	68	71	16	7	62	16	18
	Promedio	7,6	1162	135	170	28,4	385	277	8,6	20	1,8	6,8	0,5	1,1	0,16	0,03	2,45	0,03	0,1	0,1939
	Des.Std.	0,3	66,81	16,6	15	5,25	16,6	17,7	2,2	2	1,5	2	0,5	1,1	0,71	0,02	6,14	0,02	0,1	0,2397
	Inter.Conf (95%)	0,1	14,64	3,64	3,29	1,15	3,64	3,89	0,5	0,4	0,3	0,5	0,1	0,3	0,16	0,01	4,55	0,01	0	0,1107
	Max	8,2	1300	200	199	38	419	337	21	25	8,1	16	3,3	7,7	6	0,09	16,4	0,14	0,4	1,11
	Min	6,4	1008	96	128	5	333	242	0,1	14	0,2	3,1	0,2	0,3	0,02	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08
P-11	N	78	78	78	78	78	78	78	78	77	78	56	75	78	23	4	72	10	14	
	Promedio	7,9	1293	248	125	136	210	471	16	25	2,1	13	0,6	10	0,29	0,07	1,57	0,15	0,2	0,125
	Des.Std.	0,2	87,38	21,5	11	21,4	15,6	16,2	3,5	2	1,7	3,2	0,8	7,5	0,13	0,12	2,76	0,12	0,2	0,0597
	Inter.Conf (95%)	0,1	19,39	4,77	2,45	4,74	3,46	3,6	0,8	0,4	0,4	0,7	0,2	1,7	0,03	0,05	2,7	0,03	0,1	0,0313
	Max	8,5	1492	312	145	178	279	520	41	30	9,1	23	5,9	35	0,59	0,5	5,7	0,46	0,8	0,26
	Min	7,3	1050	187	72,8	64	140	420	11	18	0,2	5,9	0,2	0,6	0,03	0,02	0,14	0,01	0,1	0,08
P-7	N	67	67	67	67	67	67	67	67	67	68	68	60	62	40	18	29	65	12	32
	Promedio	7,8	886,9	88,2	141	61,8	357	139	8,8	17	1,7	9,2	1,3	2,1	0,06	0,04	0,21	0,08	0,2	0,2097
	Des.Std.	0,2	94,15	20,6	14,2	8,82	36,7	13,4	3,2	2,2	1,4	3,5	1,9	2,8	0,06	0,04	0,18	0,08	0,1	0,2602
	Inter.Conf (95%)	0	22,54	4,94	3,41	2,11	8,78	3,21	0,8	0,5	0,3	0,8	0,5	0,7	0,02	0,02	0,07	0,02	0,1	0,0901
	Max	8,2	1124	192	174	81	486	185	28	25	8,1	26	14	21	0,26	0,2	0,92	0,53	0,5	1,58
	Min	7,1	680	48	108	40	258	120	4,8	12	0,2	3,8	0,2	0,3	0,02	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08
P-8	N	105	105	105	105	105	105	105	105	105	103	91	94	77	40	32	91	20	53	
	Promedio	7,7	1823	176	270	50,4	412	528	13	31	1,6	9,7	0,9	1,5	0,07	0,04	0,23	0,05	0,1	0,2675
	Des.Std.	0,2	198,8	31,1	37,1	14,7	64,5	19,2	6,4	2,6	1,2	2,8	1	1,8	0,13	0,03	0,16	0,05	0,1	0,3895
	Inter.Conf (95%)	0	38,03	5,95	7,09	2,8	12,3	3,67	1,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,4	0,03	0,01	0,06	0,01	0	0,1049
	Max	8,3	2284	380	327	108	509	596	62	39	5,9	22	5,6	14	1,1	0,18	0,7	0,27	0,5	2,69
	Min	7	1472	128	175	28	246	484	7	25	0,2	3,2	0,2	0,3	0,02	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08

Pozo	pH	SDT	Na+	Ca ⁺²	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	K+	Mg ⁺²	PO ₄	Si	Al ⁺³	Fe	As	Cr	Cu	Mn ⁺²	Mo	Zn	
PCAR-4	N	82	82	82	82	82	82	82	82	81	82	48	57	69	17	3	61	6	8	
	Promedio	7,8	1357	234	164	477	116	411	20	33	2,3	24	0,6	0,8	0,05	0,05	0,12	0,02	0,1	0,1088
	Des.Std.	0,2	68,3	25,9	11,3	61,3	5,65	15,9	21	2,4	2,2	4,7	0,6	0,6	0,06	0,06	0,02	0,02	0	0,0155
	Inter.Conf (95%)	0	14,78	5,6	2,45	13,3	1,22	3,44	4,6	0,5	0,5	1	0,2	0,2	0,01	0,03	0,02	0,01	0	0,0108
	Max	8,5	1476	336	197	523	147	454	207	41	12	43	3,1	3,8	0,48	0,26	0,14	0,13	0,2	0,14
	Min	7,4	1100	160	125	138	97,5	359	1,6	25	0,2	8,3	0,2	0,3	0,02	0,02	0,1	0,01	0,1	0,09
PCAR-5	N	54	54	54	54	54	54	54	54	53	54	42	41	47	11	6	44	10	9	
	Promedio	7,9	1420	287	135	407	144	465	20	31	2,5	23	0,7	1	0,07	0,06	0,19	0,06	0,1	0,1544
	Des.Std.	0,2	56,18	21,2	12,8	38,8	13	16,4	4,3	3,2	2	4,6	0,6	0,7	0,16	0,07	0,12	0,07	0,1	0,164
	Inter.Conf (95%)	0,1	14,99	5,65	3,4	10,4	3,46	4,37	1,1	0,8	0,5	1,2	0,2	0,2	0,04	0,04	0,1	0,02	0	0,1072
	Max	8,4	1556	336	155	451	207	503	38	42	8,2	32	3,2	3,6	1,1	0,27	0,36	0,28	0,3	0,58
	Min	7,5	1296	230	78,4	200	129	412	1,6	23	0,4	4,7	0,2	0,3	0,02	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08
PCAR-6	N	58	58	58	58	58	58	58	58	57	58	33	43	57	16	10	42	6	19	
	Promedio	7,9	1305	220	126	469	113	392	21	52	3	31	1,9	2,4	0,15	0,06	0,26	0,07	0,1	0,1063
	Des.Std.	0,3	64,84	21,7	14,5	56,6	4,66	12,7	3,1	4,7	2,4	8,1	6,9	7,9	0,06	0,06	0,32	0,22	0	0,0428
	Inter.Conf (95%)	0,1	16,69	5,57	3,73	14,6	1,2	3,26	0,8	1,2	0,6	2,1	2,3	2,3	0,01	0,03	0,2	0,07	0	0,0193
	Max	8,6	1448	288	177	571	126	430	34	74	13	62	40	50	0,4	0,21	1,07	1,4	0,1	0,27
	Min	6,9	1110	160	71,2	217	103	364	12	40	0,2	8,9	0,2	0,3	0,03	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08
PCAR-7	N	52	52	52	52	52	52	52	52	51	52	12	11	52	18	3	26	5	8	
	Promedio	7,9	1313	225	126	473	115	396	21	52	3	30	0,6	0,8	0,15	0,04	0,11	0,03	0,1	0,1093
	Des.Std.	0,3	57,22	31,6	20	90,3	7,83	22,9	3,4	3,7	2,2	6,2	1,3	1,4	0,03	0,04	0,09	0,03	0	0,08
	Inter.Conf (95%)	0,1	15,55	8,6	5,44	24,5	2,13	6,21	0,9	1	0,6	1,7	0,7	0,9	0,01	0,02	0,1	0,01	0	0,0554
	Max	8,5	1576	312	159	576	160	498	33	67	9,3	40	4,4	5,2	0,23	0,16	0,27	0,18	0,2	0,27
	Min	7,1	1312	136	47,2	207	126	395	14	48	0,3	8	0,2	0,3	0,1	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08
PCAR-7C	N	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	43	44	55	16	3	48	5	7	
	Promedio	7,9	1527	338	117	541	140	479	40	46	3	30	1	1	0,17	0,08	0,12	0,03	0,1	0,1329
	Des.Std.	0,3	83,32	33,5	14,7	43	12,4	38,9	31	2,7	2,1	6,5	0,9	0,8	0,04	0,19	0,02	0,03	0	0,0725
	Inter.Conf (95%)	0,1	22,02	8,85	3,88	11,4	3,27	10,3	8,1	0,7	0,6	1,7	0,3	0,2	0,01	0,09	0,02	0,01		0,0537
	Max	8,4	1792	408	147	592	214	586	262	53	8,8	41	3,6	3,1	0,36	0,78	0,13	0,16	0,1	0,27
	Min	7	1336	256	60,8	349	122	420	28	40	0,3	10	0,2	0,3	0,04	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08

Pozo		pH	SDT	Na+	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K+	Mg ²⁺	PO ₄	Si	Al ³⁺	Fe	As	Cr	Cu	Mn ²⁺	Mo	Zn
PCAR-8	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	2		0
	Promedio	8	3354	704	215	119	1588	370	14	45	1,4	5,6	2,1	8,2	0,04	0,03		0,16		
	Des.Std.	0,1	1276	170	103	29	467	214	3,4	28	0,5	2,9	0,8	3,3	0			0,04		
	Inter.Conf (95%)	0,2	1768	235	143	40,2	647	297	4,7	38	0,7	4	1,1	4,6				0,05		
	Max	8,1	4256	824	288	139	1918	521	16	65	1,7	7,6	2,6	11	0,04	0,03	0	0,18		0
	Min	7,9	2452	584	142	98	1258	218	11	26	1	3,5	1,5	5,8	0,04	0,03	0	0,13		0
PCAR-9	N	52	52	52	52	52	52	52	52	52	50	52	36	44	33	9	8	42	2	6
	Promedio	7,9	1464	317	149	367	190	486	12	25	1,9	14	1	1	0,04	0,04	0,15	0,04	0,1	0,115
	Des.Std.	0,2	53,78	21,5	12,9	37,6	11,8	14,3	15	2,3	1,6	2,5	1	0,9	0,04	0,02	0,07	0,03	0	0,0472
	Inter.Conf (95%)	0,1	14,62	5,85	3,5	10,2	3,2	3,9	4,1	0,6	0,4	0,7	0,3	0,3	0,01	0,02	0,05	0,01		0,0378
	Max	8,5	1572	370	164	400	233	524	118	38	6,2	20	4,3	4,8	0,23	0,09	0,32	0,17	0,1	0,2
	Min	7,5	1316	256	84	183	154	442	7,2	22	0,2	7,2	0,2	0,3	0,02	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08
PCH-2	N	80	79	80	80	80	80	80	80	80	75	78	76	79	76	43	75	79	60	78
	Promedio	7,8	2016	351	221	82,3	1100	114	9,6	14	1,7	10	2,8	3,6	0,16	0,05	1,45	0,3	0,1	0,4385
	Des.Std.	0,4	267,4	47,3	41,7	15,4	139	24,1	3	3,5	1,5	4,6	3	4,4	0,09	0,03	2,65	0,47	0,1	0,4133
	Inter.Conf (95%)	0,1	58,96	10,4	9,13	3,36	30,5	5,28	0,7	0,8	0,3	1	0,7	1	0,02	0,01	0,6	0,1	0	0,0917
	Max	8,4	2692	531	318	118	1417	189	25	26	8,6	29	13	31	0,52	0,14	13,2	3,99	0,5	2,14
	Min	6,1	1488	208	110	40	848	69,7	4,4	6,4	0,2	3	0,2	0,4	0,02	0,02	0,11	0,04	0,1	0,08
PCH-3	N	77	76	77	77	77	77	77	77	77	72	76	73	75	77	49	68	76	72	60
	Promedio	7,8	3932	756	311	99,6	1919	392	16	60	2,1	13	4	4,5	0,36	0,03	1,16	0,25	0,2	0,273
	Des.Std.	0,3	241,9	49,3	26,8	38,7	60,6	35	3,6	5,6	2,9	7	5,2	4,6	0,54	0,02	2,87	0,31	0,1	0,4394
	Inter.Conf (95%)	0,1	54,38	11	5,99	8,65	13,5	7,82	0,8	1,2	0,7	1,6	1,2	1	0,12	0,01	0,68	0,07	0	0,1112
	Max	8,4	5090	904	380	408	2071	494	27	71	22	42	35	23	4,5	0,11	19,4	1,78	0,5	3,2
	Min	6,5	3152	580	168	60	1801	276	7,2	31	0,2	3,1	0,3	0,4	0,02	0,02	0,1	0,01	0,1	0,08
PCH-4	N	77	76	77	77	77	77	77	77	77	70	75	72	76	68	48	72	77	73	75
	Promedio	7,8	4265	859	350	78,8	2086	411	12	28	1,6	9,5	2,1	2,7	0,1	0,04	0,69	0,21	0,4	0,2687
	Des.Std.	0,3	361,9	88,1	42,8	25,9	209	33,1	2,1	5,5	1,5	4,3	1,8	2,6	0,12	0,02	0,84	0,12	0,1	0,1771
	Inter.Conf (95%)	0,1	81,36	19,7	9,57	5,79	46,8	7,39	0,5	1,2	0,3	1	0,4	0,6	0,03	0,01	0,19	0,03	0	0,0401
	Max	8,2	5100	960	458	159	2359	542	18	68	7,5	37	9,1	14	0,95	0,11	5,07	0,82	0,6	1,12
	Min	6,3	2940	568	240	5	1457	331	6	19	0,2	4	0,3	0,4	0,02	0,02	0,12	0,02	0,1	0,08

Pozo	pH	SDT	Na+	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	K+	Mg ²⁺	PO ₄	Si	Al ³⁺	Fe	As	Cr	Cu	Mn ²⁺	Mo	Zn
N	28	27	28	28	28	28	28	28	28	27	25	25	28	27	18	26	28	28	28
Promedio	7,6	5384	886	442	59,5	1690	860	23	92	2,4	11	3,9	5,9	0,1	0,05	3,24	0,34	0,2	0,9432
Des.Std.	0,3	1703	212	189	11,9	161	423	7,5	37	2,4	4,7	3,4	6,8	0,07	0,03	4,76	0,2	0,1	0,6683
Inter.Conf (95%)	0,1	642,3	78,7	69,9	4,41	59,6	157	2,8	14	0,9	1,8	1,3	2,5	0,03	0,01	1,83	0,08	0	0,2475
Max	8,1	8724	1304	912	88	2254	1732	38	167	13	24	17	30	0,3	0,13	19,4	0,89	0,4	2,99
Min	7	2368	392	87,2	40	1217	123	0,1	24	0,2	3,7	0,4	0,8	0,02	0,02	0,11	0,06	0,1	0,19

Fuente: Geohidrología, 2011.

Tabla 2.3-105. Resultados Químicos de las Soluciones de Procesos Mineros

Parámetro	Unidad	OBL 09-set-10	PLX 09-set-10	PDS 09-set-10	SER 09-set-10	ESP 09-set-10
PARAMETROS FISICO-QUIMICOS						
pH		1,27	1,32	0,86	1,43	7,97
CE	uS/cm	73.300	73.400	99.500	66.400	1.522
Sólidos Totales	mg/L	166.900	171.900	159.000	145.900	1.078
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	146.396	155.396	147.996	144.996	1.042
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	21	69	77	10	27
Turbidez	UNT	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	33,4
Alcalinidad Total (total)	mg CaCO3/L	<1	<1	<1	<1	300
Alcalinidad Total (disuelto)	mg CaCO3/L	<1	<1	<1	<1	56
Alcalinidad HCO3 (total)	mg CaCO3/L	<1	<1	<1	<1	300
Alcalinidad HCO3 (disuelto)	mg CaCO3/L	<1	<1	<1	<1	55
Alcalinidad CO3 (total)	mg CaCO3/L	<1	<1	<1	<1	<1
Alcalinidad CO3 (disuelto)	mg CaCO3/L	<1	<1	<1	<1	<1
PARAMETROS ORGANICOS Y BACTERIOLÓGICOS						
Coliformes Totales	NMP/100 mL	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	33
DBO5	mg/L	152	144	136	141	26,2
DQO	mg O2/L	6.963	8.044	8.749	8.669	2.295
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,08	0,44	0,13	0,43	<0,01
Aceites y Grasas	mg/L	<2	<2	<2	<2	<2
Hidrocarburos Totales	mg/L	<2	<2	<2	<2	<2
ELEMENTOS DISUELTOS						
Na	mg/L	7.500	8.020	6.720	7.170	148
Mg	mg/L	4.490	4.640	3.920	4.790	51,7
Ca	mg/L	499	521	434	529	70
K	mg/L	750	740	639	817	18,5
Cl	mg/L	4.258	4.897	3.974	4.258	264,9
SO4	mg/L	111.832	119.488	114.343	119.858	73
NO3	mg/L	8.012	9.337	6.577	8.138	1,4
HCO3	mg/L	<1,22	<1,22	<1,22	<1,22	67,1
Br	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1
Hg-disuelto	mg/L	0,0011	0,0009	0,0007	<0,0005	<0,0005
ELEMENTOS TOTALES						
Al	mg/L	7.620	8.460	6.880	8.620	4,41
As	mg/L	4,98	5,38	5,64	4,83	0,33
B	mg/L	14,5	12	13,5	11,4	3,32
Ca	mg/L	501	580	458	575	75,3
Cd	mg/L	3,71	3,62	3,12	3,58	<0,010
Cr	mg/L	2,08	1,92	2,05	1,92	<0,010
Cu	mg/L	4.810	7.370	3.670	4.010	2,02
Fe	mg/L	6.830	7.380	5.750	7.300	3,23
Hg	mg/L	0,0011	0,0013	0,0011	<0,0005	<0,0005
K	mg/L	773	771	660	860	19,4
Li	mg/L	5,19	5,26	4,44	5,5	0,474
Mg	mg/L	4810	5150	4190	5180	56,6
Mn	mg/L	866	940	786	1030	0,754
Mo	mg/L	23	25,3	26,6	33,2	<0,030
Na	mg/L	7.860	8.260	7.080	7.470	168
Ni	mg/L	3,89	2,9	3,26	2,97	<0,050
P	mg/L	473,1	18,3	144,8	345,9	7,3
Pb	mg/L	0,25	0,35	0,67	0,26	<0,050
Si	mg/L	104	117	92,3	104	48,3
Zn	mg/L	245	288	229	275	0,133

Fuente: Geohidrología, 2011.

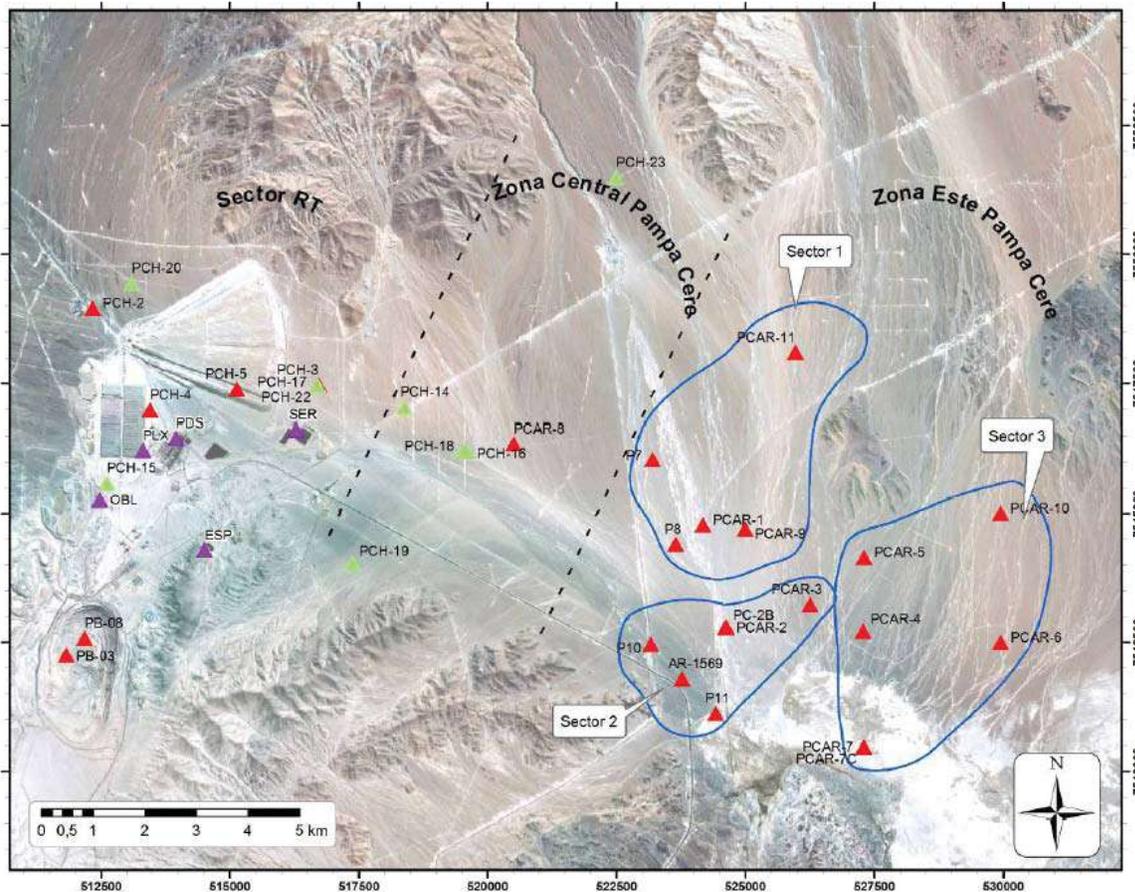
Tabla 2.3-106. Resultados Químicos Aguas Subterráneas rajo RT

Parámetro	Unidad	Pozo Muestreo		
		PB-03	PB-08	
P. Físicoquímicos	Alc HCO ₃	mg CaCO ₃ /L	92	448
	Alc CO ₃	mg CaCO ₃ /L	<1	<1
	Alc Total	mg CaCO ₃ /L	92	448
	CE	μS/cm	26000	29700
	pH		6,24	6,73
	ST	mg/L	25236	27556
	STD	mg/L	22020	26100
	STS	mg/L	19	43
	Turbidez	UNT	<0.5	151
P. Inorgánicos	Aniones			
	Br	mg/L	1,3	5.6
	Cl	mg/L	4751,1	5301.6
	SO ₄	mg/L	9814	12236
	Fosfatos			
	P-Total	mg/L	1,86	0.36
Nitrógeno	NO ₃	mg/L	27,1	31.4
	P. orgánicos	AyG	mg/L	<2
DBO ₅		mg/L	16	52
DQO		mg o ₂ /L	225	574
Hid Totales		mg/L	<2	<2
SAAM		mg/L	0.33	0.18
Coliformes totales		NMP/100 mL	<1.8	<1.8
M. Disueltos		Calcio	mg/L	539,0
	Potasio	mg/L	62,7	87,9
	Magnesio	mg/L	754,0	822,0
	Sodio	mg/L	4850,0	6340,0
	Mercurio	mg/L	0,0011	<0.0005
Metales totales	Calcio total	mg/L	562	571
	Potasio total	mg/L	64,4	89,1
	Magnesio total	mg/L	768	832
	Sodio total	mg/L	5100	6360
	Aluminio total	mg/L	<0,20	<0,2
	Arsénico total	mg/L	<0,20	<0,2
	Boro total	mg/L	69,0	68,3
	Cadmio total	mg/L	0,045	<0,010
	Cromo total	mg/L	<0,010	<0,010
	Cobre total	mg/L	10,0	0,0
	Hierro total	mg/L	0,036	10,2
	Litio total	mg/L	2,3	3,25
	Manganeso total	mg/L	2,11	3,99
	Molibdeno total	mg/L	2,77	0,991
	Mercurio Total	mg/L	0.0019	0.0006
	Niquel total	mg/L	<0,050	<0,050
	Plomo total	mg/L	<0,050	<0,050
	Silice Total	mg/L	30,5	17
	Zinc total	mg/L	0,273	0,0452

Fuente: Geohidrología, 2011.

A fin de simplificar la interpretación y presentación de la información de este sector, Geohidrología (2011) ha dividido el área en tres subsectores de análisis: (i) área sector RT, (ii) área zona Central Pampa Cere y (iii) área zona Este Pampa Cere. Esta última además se ha subdividido en tres sectores (1, 2 y 3) según la Figura 2.3-80. Cabe destacar que solamente un pozo está habilitado en el acuífero superficial (PCAR-7C) y que todos los demás representan el Acuífero Inferior o Principal.

Figura 2.3-80. División Sector RT por Subsectores de Análisis



Fuente: Geohidrología, 2011

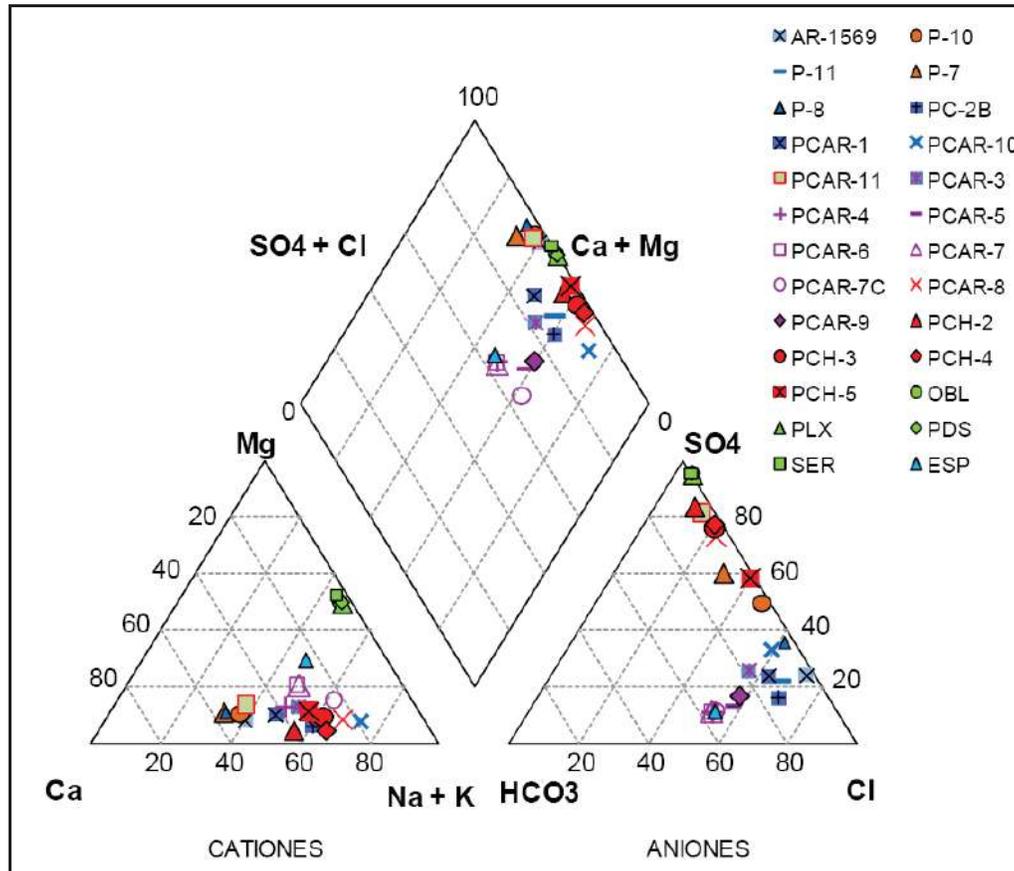
Así, la composición química del acuífero superficial, representado sólo por el punto PCAR-7C, ubicado al SW del Sector 3 en el Salar Cere, según la posición de éste en el Diagrama de Piper (Figura 2.3-81) se clasifica como *Clorurada Sódica*. Los valores de SDT y pH promedio para este acuífero son de 1.527 mg/L y 7,9 respectivamente, lo cual indicaría que este acuífero, en este sector, es salobre, con valores de pH neutros a alcalinos. Éste a su vez presenta concentraciones de sulfato en torno a 140 mg/L y valores de Cobre en promedio de 0,12 mg/L. En el caso del Hierro y el Aluminio, ambos presentan concentraciones promedio de 1 mg/L.

La composición química para el agua del acuífero inferior en el área denominada como zona Este Pampa Cere (sectores 1, 2 y 3), se clasifican como *Cloruradas Sódicas* (PCAR-9; P-11;

PCAR-3; PCAR-10; PCAR-5), *Cloruradas Sódico-Cálcica* (PCAR-1; PCAR-4; PCAR-6; PCAR-7) y *Cloruradas Cálcicas* (P-8 y AR-1569). Estos pozos presentan concentraciones de sulfatos que varían entre 113 y 450 mg/L, y bajas concentraciones de Hierro, Aluminio y Cobre, con valores promedio de 2, 1 y 0,5 mg/L. Los puntos P-7 y P-10 presentan una variación composicional a *Sulfatada Cálcica* y *Sulfatada Cálcico-Sódica* en el caso del PCAR-11, con valores de sulfato entre 400 y 1200 mg/L respectivamente.

La composición química del acuífero inferior en las áreas denominadas zona central Pampa Cere y sector RT se clasifica como *Sulfatada Sódica*. Según Geohidrología (2011), la composición sulfatada de estos sectores, al igual que las variaciones indicadas para los puntos P-7, P-10 y PCAR-11, podrían estar asociadas a fuentes diversas, entre las cuales se encuentran la oxidación de sulfuros, los cuales son comunes en zonas de alteración hidrotermal y/o por la infiltración de efluentes mineros con altos contenidos de sulfatos, estos efluentes (OBL; PLX; PDS; SER) presentan composición *Sulfatadas Magnésico-Sódicas*, con concentraciones de sulfatos en torno a los 115.000 mg/L, pH ácidos (entorno a 1) y altas concentraciones de todos los elementos analizados, principalmente los nitratos (8.000 mg/L). En estos efluentes, el Aluminio, Hierro y Sodio (total y disuelto), presentan concentraciones en torno a los 7.000 mg/L, seguidos del Cobre total, Cloruro, Magnesio tanto total como disuelto con valores entre 4.000 y 5.000 mg/L. Los valores de bicarbonato se reportan bajo el límite de detección (<1 mg/L) (Tabla 2.3-105).

Figura 2.3-81. Diagrama de Piper composición Química promedio Aguas Subterráneas y Efluentes de Procesos Mineros



Fuente: Geohidrología, 2011

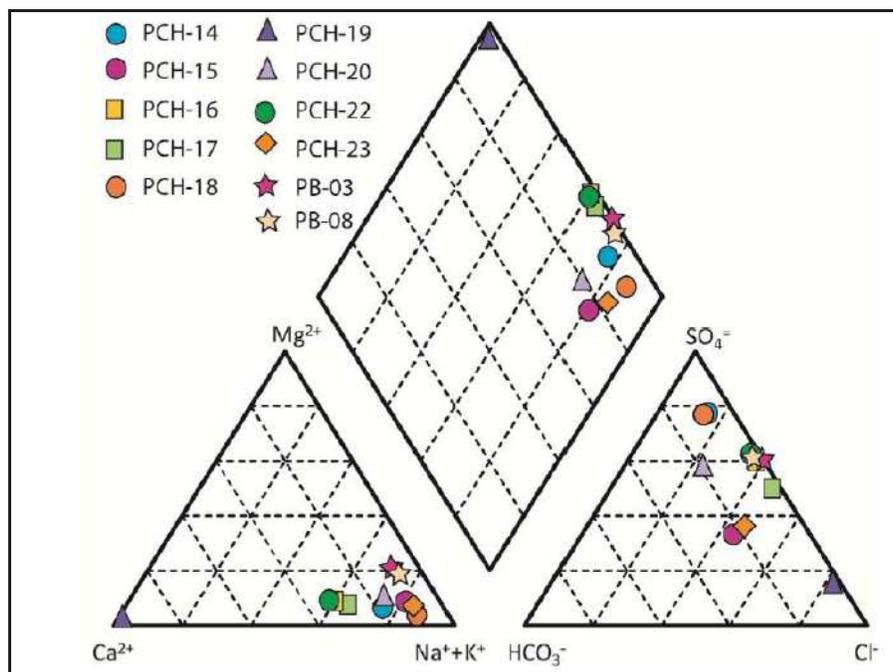
Los pozos ubicados en el área sector RT presentan mayores concentraciones de sulfato, sodio e hierro en comparación a las concentraciones reportadas en los pozos ubicados en Pampa Cere. Según Geohidrología (2011) esto sugiere que ocurre infiltración de los efluentes mineros en el sector, aunque, los elementos mencionados no alcanzan las concentraciones reportadas en los efluentes, ni se muestran aumentos significativos de los elementos con altas concentraciones en el efluente (Ca, K, Mg, PO₄, Si y Cr). Esto podría ser explicado por el efecto de la atenuación natural y la capacidad de neutralización del medio durante el desplazamiento del contaminante hacia y en el acuífero (Geohidrología, 2011). La zona no saturada presentaría un espesor promedio de 170 m en el subsector RT, 130 m en el subsector Zona Central Pampa Cere y 54 m en la zona Este Pampa Cere.

La zona no saturada del subsector RT se compone de depósitos aluvio evaporíticos del mioceno superior de permeabilidad alta, los cuales cubren a las gravas con escasa matriz fina. En el subsector zona central Pampa Cere se reconocen depósitos de grava con escasa matriz fina. En la zona Este Pampa Cere se observa los depósitos aluvio evaporíticos de permeabilidad media.

Para la caracterización del agua subterránea en el rajo RT, se cuenta solamente con las muestras de los pozos PB-03 y PB-08. Según el diagrama de Piper (Figura 2.3-82) estas aguas

se clasifican como *Sulfatadas Sódicas*, las cuales presentan alta salinidad, con conductividades promedio de 26.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores de pH neutros levemente ácidos en torno a 6,5, y concentraciones de sólidos disueltos que varían alrededor de 24.060 mg/L, además presentan altas concentraciones promedio de Sulfatos (11.025 mg/L), Sodio (5.730 mg/L), Magnesio (800 mg/L) y Calcio (566 mg/L). En el pozo PB-03, el Cobre y el Molibdeno presentan mayores concentraciones (10 y 2,77 mg/L respectivamente) y en el pozo PB-08 reportaron concentraciones menores a 1 mg/L. Contrario a esto, el Hierro presenta concentraciones de 10,2 mg/L en el pozo PB-08 y concentraciones menores a 0,05 mg/L en el PB-03. Estas concentraciones en el agua subterránea estarían asociadas a la interacción agua-roca con altos contenidos de sulfuros.

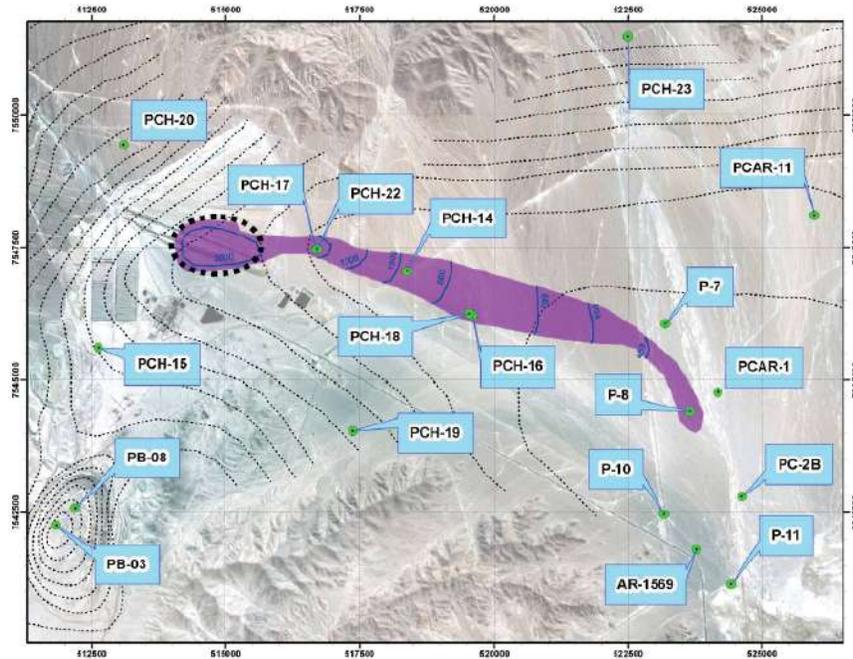
Figura 2.3-82. Diagrama Piper composición Química Agua Subterránea en Rajo RT



Fuente: Geohidrología, 2011

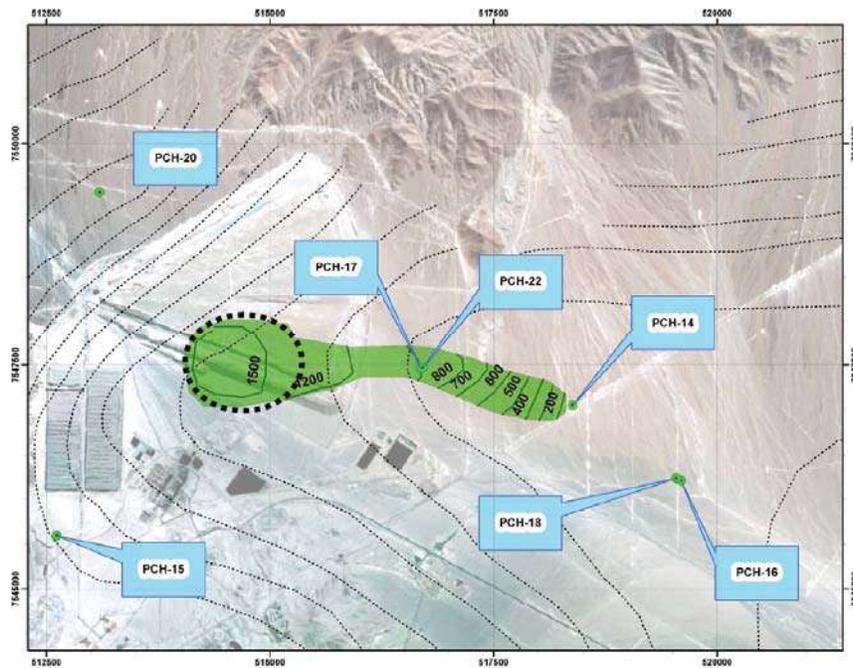
En la Figura 2.3-83, Figura 2.3-84 y Figura 2.3-85, se presenta la extensión estimada de la pluma de dispersión del Sulfato, Cloruro y Sodio, donde se establece una zona hipotética donde las soluciones infiltradas alcanzan el acuífero en gravas y desde ahí se ha estimado de modo aproximado la extensión y geometría de la pluma en base a los datos de calidad química reciente. Cabe destacar que esta zona de extensión se ha definido en forma arbitraria y no representa el área real de la infiltración de las soluciones (Geohidrología, 2011). Además, estas figuras permiten observar que la pluma del sulfato presenta mayor alcance con valores que van desde los 2.000 mg/L en la fuente aportante atenuándose hasta alcanzar valores de 412 mg/L en el punto P-8. Las plumas del Cloruro y el Sodio presenta menor extensión que la pluma del sulfato y una atenuación más rápida, con concentraciones de 1.500 mg/L y 1.00 mg/L respectivamente en el origen de la pluma diluyéndose hasta alcanzar valores menores a 100 mg/L en el caso del Cloruro y 400 mg/L para el Sodio.

Figura 2.3-83. Extensión estimada Pluma de Dispersión de Sulfato



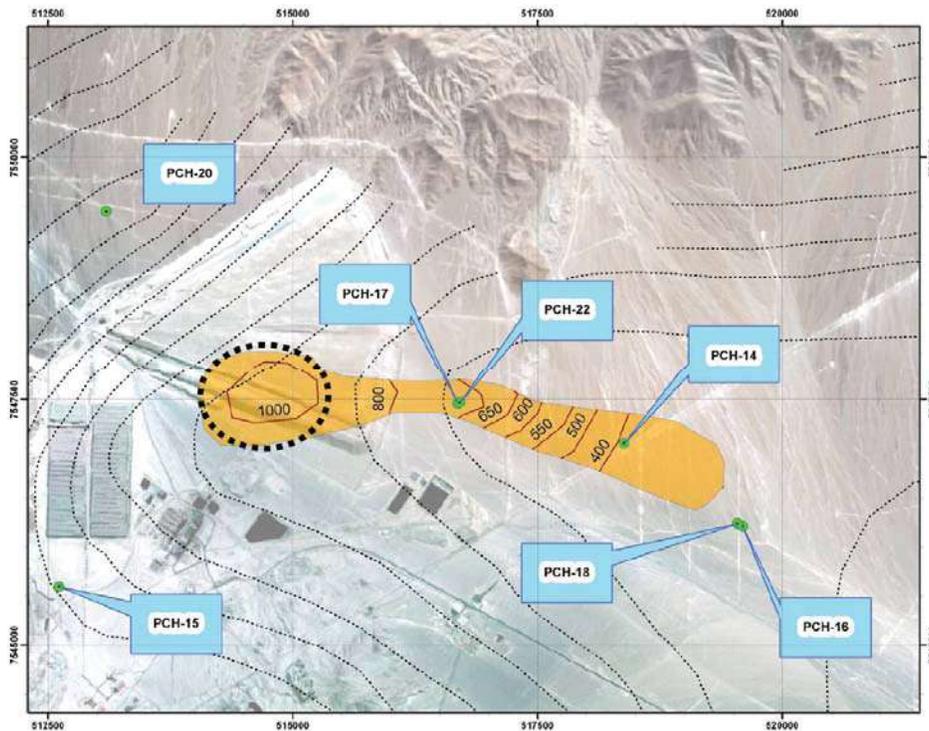
Fuente: Geohidrología, 2011

Figura 2.3-84. Extensión estimada Pluma de Dispersión del Cloruro



Fuente: Geohidrología, 2011

Figura 2.3-85. Extensión estimada Pluma de Dispersión del Sodio



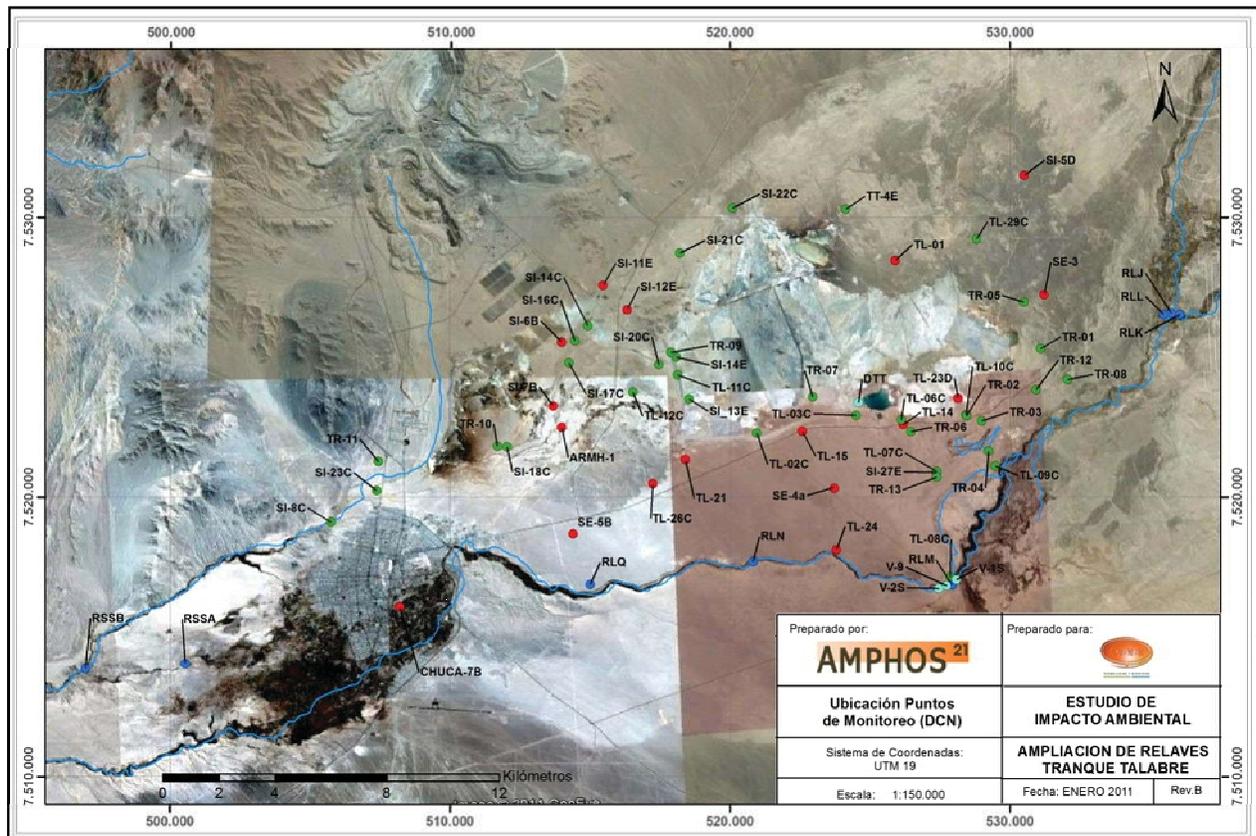
Fuente: Geohidrología, 2011

Sector Tranque Talabre

Para la caracterización hidroquímica del agua superficial y subterránea en este sector, se analizó la información entregada de la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas de la Codelco, en la cual se encuentran puntos de monitoreo superficiales correspondientes al Río Loa y vertientes superficiales, y subterráneas correspondientes al acuífero inferior y superior existentes en la zona, además de la caracterización hidroquímica del tranque Talabre (Figura 2.3-86).

Según los estudios realizados, en términos generales, la composición química del río Loa y sus aportes no depende de la geología de la cuenca de Calama, sino está fuertemente relacionada con la morfología y la litología de la parte alta de la cuenca del río Loa, en la cordillera de Los Andes. La hidroquímica de este curso de agua, no presenta variaciones importantes, excepto antes de llegar a la confluencia con el río Salado, ya que según estudios realizados por CADE-IDEPE, 2004 y DGA, 2003, establecen que este río provoca una alteración natural del río Loa, producto de su origen, el cual se encuentra en el campo geotérmico de El Tatio (al este de Calama, en el sector de la frontera con Bolivia) y otras fuentes termales, que dan a este río características fisicoquímicas particulares (CIMM, 2012).

Figura 2.3-86. Ubicación Puntos de Monitoreo Químico



Fuente: CIMM 2012

Para el análisis del comportamiento hidroquímico se consideraron los valores promedio de los análisis químicos realizados a las aguas del Acuífero Inferior, río Loa, Tranque Talabre; en el caso del Acuífero Superior dada la importante variación temporal de la química del agua de algunos pozos, se utilizó el análisis de datos del informe final consolidado de Knight Piésold, en Mayo de 2010, basados en las campañas de monitoreo realizadas en los tres años anteriores al informe. Para el acuífero superior e inferior, se presentan las concentraciones promedio del sulfato (en color violeta), obtenidas de la base de datos final entre Julio de 2003 y diciembre de 2012. En la Tabla 2.3-107 se muestran estos resultados.

En cuanto a los parámetros Sulfato, Conductividad, pH, Arsénico, Manganeso y Molibdeno (considerados en la RCA 311/2005) para el acuífero superior e inferior, se realizó el análisis de la data histórica entre Julio de 2003 y Diciembre de 2012. También se presenta en Anexo 2.3-10 el informe "Información Línea Base de las aguas subterráneas Acuífero Calama-Tranque Talabre. División Ministro Hales", que explica la metodología utilizada para el procesamiento de la base de datos, donde se recopiló la información (documentos y bases de datos) de los puntos de monitoreo del informe de Comportamiento Hidroquímico Sector Cuenca Calama y del Plan de Vigilancia ambiental de Aguas Proyecto Mina Ministro Hales, ambos de carácter anual.

En la Tabla presentada en el Anexo 2.3-11, se muestran las concentraciones promedio de los parámetros: pH, Conductividad, Arsénico, Sulfato, Manganeso y Molibdeno, obtenidas de la base de datos final entre Julio de 2003 y diciembre de 2012, en la cual, como parte del análisis

de la información presentada en el informe “Información Línea Base de las aguas subterráneas Acuífero Calama-Tranque Talabre. División Ministro Hales”, identificaron y eliminaron los datos “outliers” y los que están fuera de la tendencia de cada parámetro, extrayendo así, los datos incorrectos y claramente no representativos.

Además de lo anterior, se complementó la caracterización del Río Loa con la información química obtenida de las estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA), Río Loa en Finca y Río Loa antes de la Junta con el Río San Salvador. En la Tabla 2.3-108 se muestra la estadística de estos resultados. A continuación se presenta la caracterización hidroquímica del agua superficial y subterránea presentes en el sector, además de las aguas claras del Tranque Talabre.

Tabla 2.3-107. Análisis Químicos Sector Talabre

Pozo	Acuífero	Este (m)	Norte (m)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁼ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)
RLJ	Río Loa	535.747	7.526.557	331,70	214,20	713,20	4,50	375,40	42,30	131,60	93,60
RLK	Río Loa	536.05	7.526.516	277,00	125,80	2242,70	18,30	1159,90	97,70	176,80	89,30
RLL	Río Loa	535.475	7.526.035	303,90	167,80	1588,80	101,30	822,90	67,40	160,30	90,10
RLM	Río Loa	527.916	7.516.853	357,70	188,20	1703,10	143,60	861,80	59,30	204,20	93,50
RLN	Río Loa	520.81	7.517.681	343,50	191,20	1736,50	87,50	871,00	62,00	29,70	94,40
RLQ	Río Loa	515.008	7.516.869	320,60	207,30	1857,60	3,30	942,60	62,90	218,80	100,10
V-9	Manantiales	527.73	7.516.822	411,10	199,50	1894,20	68,10	951,10	54,60	281,00	86,70
V-1S	Manantiales	528.076	7.517.043	448,00	636,00	3916,00	102,60	1904,00	76,80	644,00	142,00
V-2S	Manantiales	527.454	7.516.729	296,00	533,00	3934,00	5,30	1776,00	86,40	531,00	154,00
TR1	Superior	531.082	7.525.301	192,00	178,03	390,00	2,00	248,00	22,40	70,40	53,30
TR2	Superior	528.447	7.522.900	254,00	184,61	516,00	1,80	368,00	36,80	41,60	42,30
TR3	Superior	527.575	7.522.463	301,00	189,18	542,00	1,50	328,00	29,60	91,20	55,80
TR4	Superior	529.414	7.522.085	460,00	323,24	1382,00	0,70	904,00	28,80	144,00	64,80
TR5	Superior	530.477	7.526.586	308,00	183,93	486,00	4,80	304,00	25,60	92,80	48,50
TR6	Superior	526.208	7.522.762	365,00	378,31	1837,00	6,30	928,00	36,80	264,00	104,00
TR7	Superior	522.789	7.523.256	120,00	2945,23	9435,00	405,50	6728,00	311,00	202,00	100,00
TR8	Superior	532.042	7.524.198	355,00	187,37	524,00	1,00	392,00	17,60	84,80	43,40
TR12	Superior	530.906	7.523.830	421,00	214,95	442,00	8,30	400,00	79,20	31,90	112,00
TR13	Superior	527.362	7.520.660	405,00	799,86	2501,00	8,40	1496,00	56,00	224,00	150,00
TL-02C	Superior	520.951	7.522.287	145,00	1140,26	4627,00	54,00	2904,00	101,00	139,00	85,50
TL-03C	Superior	524.491	7.522.914	145,00	1101,17	5097,00	4,50	2568,00	130,00	335,00	244,00
TL-06C	Superior	526.106	7.522.753	381,00	950,39	4680,00	18,30	2240,00	47,20	518,00	189,00
TL-07C	Superior	527.374	7.520.918	439,00	439,82	2287,00	101,30	1224,00	37,00	186,00	114,00
TL-08C	Superior	527.855	7.517.137	524,00	195,78	1968,00	143,60	872,00	45,00	272,00	95,80
TL-09C	Superior	529.47	7.521.100	625,00	352,62	2181,00	87,50	1152,00	33,60	254,00	81,00
TL-10C	Superior	528.422	7.522.926	261,00	190,26	975,00	3,30	560,00	34,40	59,20	40,70
TL-11C	Superior	518.12	7.524.359	76,00	3272,24	5496,00	68,10	3376,00	236,00	709,00	152,00
TL-13C	Superior	516.521	7.523.748	188,00	8039,33	31201,00	5,30	20200,00	1255,00	711,00	896,00
SI-14E	Superior	514.891	7.523.153	157,00	4340,74	6426,00	102,60	4672,00	332,00	708,00	91,60
SI-16C	Superior	514.461	7.525.585	268,00	390,19	904,00	1,10	544,00	50,40	136,00	78,30
SI-18C	Superior	512.026	7.521.790	106,00	3068,64	6400,00	1,40	4104,00	305,00	529,00	342,00
SI-20C	Superior	517.451	7.524.735	131,00	3393,39	7162,00	71,10	4928,00	322,00	616,00	141,00
SI-22C	Superior	520.072	7.530.335	344,00	218,10	638,00	40,20	424,00	32,00	110,00	49,00
SI-5D	Inferior	530.66	7.531.488	359,50	90,17	351,80	54,00	248,40	27,40	126,40	55,00
SI-6B	Inferior	513.943	7.525.541	291,90	2174,40	3494,90	4,50	1410,00	119,10	1321,10	508,70
SI-7B	Inferior	513.587	7.523.227	233,90	355,10	1007,40	18,30	598,90	67,90	136,00	72,40
SI-11E	Inferior	515.461	7.527.564	199,20	1029,49	1306,00	101,30	862,90	55,50	277,60	124,30
SI-12E	Inferior	516.321	7.526.688	224,50	896,60	1705,10	143,60	986,40	72,40	308,80	152,90
TL-01	Inferior	525.895	7.528.444	299,80	73,89	540,40	87,50	295,00	37,00	95,70	60,40
TL-14	Inferior	526.186	7.522.584	330,40	691,12	3793,40	3,30	1921,60	49,10	560,20	194,60
TL-24	Inferior	523.766	7.518.135	297,00	496,20	3207,00	68,10	1720,00	51,00	482,50	186,50

Nota: Valores en color violeta representan las concentraciones promedio obtenida de base de datos final entre Julio de 2003 y Diciembre de 2012.

Fuente: Codelco 2013 y Knight Piesold 2010

Tabla 2.3-108. Valores Promedio de los Resultados Químicos Estaciones DGA

Estación	Año	pH	Conductividad (mhos/cm)	CO ₂ (mg/l)	Ca dis (mg/l)	Mg dis (mg/l)	Na dis (mg/l)	K dis (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	As (mg/l)	B (mg/l)	Al (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Ni (mg/l)	Hg (mg/l)	Mo (mg/l)	Ag (mg/l)	Pb (mg/l)	Se (mg/l)	Zn (mg/l)	
Río Los en Finca (*)	2000	7,92	7575	0	224,17	116,50	1158,83	80,67	2,24	340,00	403,90	0,29	0,74	1,726	14	0,20	<0,01	0,02	0,02	0,047	0,08	<0,01	0,002	0,02	<0,01	0,02	<0,001	<0,01	
	2001	7,8	7533	0	236,67	130,23	1110,00	151,33	2218,89	337,50	380,29	0,05	0,42	1,450	29	0,32	<0,01	<0,01	<0,01	0,073	0,02	<0,01	<0,001	0,02	<0,01	0,01	<0,001	<0,01	
	2002	7,7	8130	0	254,50	130,00	1417,00	45,80	2553,21	381,25	290,92	0,23	0,73	1,850	18	0,25	<0,01	<0,01	<0,01	0,045	0,01	<0,01	<0,001	0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	
	2003	7,8	8500	0	234,22	133,64	1386,42	86,01	2559,50	406,25	301,43	0,36	0,75	1,917	18	0,11	<0,01	0,01	<0,01	0,037	<0,01	<0,01	<0,001	0,02	<0,01	<0,01	<0,001	0,01	
	2004	7,8	8150	0	218,41	138,77	1278,49	86,13	2417,66	333,96	373,77	0,34	0,69	1,900	18	0,50	<0,01	0,01	<0,01	0,243	0,07	<0,01	<0,001	0,04	<0,01	0,06	<0,001	0,01	
	2005	8,1	7355	0	187,06	155,51	1169,63	74,83	2347,48	301,42	260,47	0,24	0,59	1,550	16	0,20	<0,01	0,01	<0,01	0,060	0,01	<0,01	<0,001	0,04	<0,01	<0,01	<0,001	0,03	
	2006	8,0	7180	0	223,36	117,96	1219,61	81,12	2252,43	300,58	355,85	0,27	0,65	1,583	16	0,30	<0,01	0,01	<0,01	0,070	<0,01	<0,01	<0,001	0,04	<0,01	0,05	<0,001	0,01	
	2007	7,6	8373	-	276,57	138,67	1141,39	91,93	2570,55	362,50	-	3,46	1,24	1,700	14	<0,3	<0,01	0,01	0,043	<0,01	0,02	0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	0,03
	2008	7,7	8740	-	270,01	141,21	1234,54	90,07	2797,31	494,17	0,34	0,43	1,95	1,950	<0,3	<0,3	<0,01	<0,01	0,03	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
	2009	7,6	9453	0	244,04	142,00	1907,07	93,47	2765,20	376,71	-	0,40	0,74	1,697	16	<0,3	<0,01	<0,01	<0,01	0,030	<0,01	<0,01	<0,001	0,05	<0,01	<0,01	<0,001	0,01	
	2010	7,8	9310	-	244,65	186,05	1619,92	103,26	2825,05	506,72	-	0,40	0,78	1,075	20	<0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	
2011	8,5	8227	-	-	-	-	-	2413,92	-	-	-	0,65	1,259	18	<0,3	<0,01	<0,01	-	0,086	0,04	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01		
Río Los antes Junta San Salvador (*)	1966	8	6596	19,42	184,95	131,28	873,58	71,78	2186,51	246,12	180,10	-	-	-	5,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1967	8,1	6370	30,64	178,43	127,59	1083,36	80,95	2092,35	238,47	133,91	-	-	0,88	23,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1969	8,0	7087	10,26	153,07	126,90	1235,62	94,00	1978,47	182,04	268,61	-	-	1,03	11,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1971	8,1	7355	18,18	177,15	132,47	1227,61	96,97	2171,95	486,08	164,14	-	-	0,76	16,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1972	8	8540	6,30	174,15	138,20	1517,27	132,95	2441,80	571,58	347,20	-	-	0,27	30,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

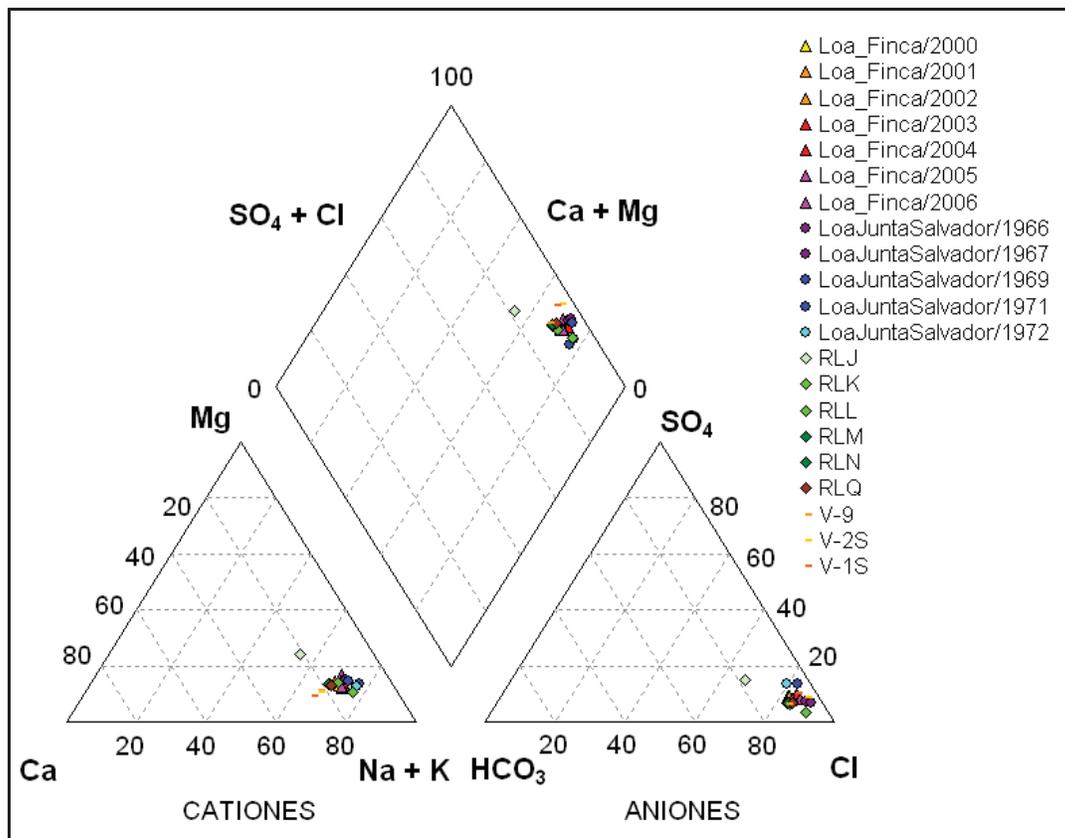
(*) Valor promedio anual de las mediciones realizadas por la DGA en cada estación de monitoreo de Calidad Química

Fuente: DGA.

Aqua Superficial

Con la información química recopilada para las aguas superficiales correspondientes al Río Loa y las vertientes, se puede inferir que éstas se clasifican como aguas *Cloruradas Sódicas* y bajos niveles de sulfatos (concentraciones entorno a los 200 mg/L) (Figura 2.3-87). El punto RLJ, aunque conserva la marca clorurada sódica del cauce, presenta baja salinidad y una mineralización más baja, debido a que este punto se encuentra ubicado antes de la junta del río Loa con el río Salado; en el caso de los puntos RLL y RLK, éstos presentan aumento en sus concentraciones de los iones Cl^- (1588,8 mg/L y 2242,7 mg/L respectivamente) y Na^+ (822,9 mg/L y 1159,9 mg/L respectivamente), aumento asociado principalmente a que estos puntos se encuentran en la junta con el río Salado, el cual muestra la misma marca clorurada sódica pero tiene mayor salinidad y mayores concentraciones de minerales que el río Loa.

Figura 2.3-87. Diagrama de Piper Aguas Superficiales sector Talabre



Fuente: Elaboración propia

La composición química de las vertientes aportantes al río Loa, muestran marcas químicas y mineralizaciones similares a los puntos de monitoreo a lo largo de éste, lo que permitiría inferir que estas vertientes serían de puntos de descarga de agua subterránea, cuyo origen sería la parte alta del Río Loa, o bien, tratarse de agua almacenada en las riberas del Río Loa que son producto de las crecidas estacionales. De acuerdo con los estudios realizados por Ingeorec en 2005, se puede constatar que existe un aporte

importante de aguas subterráneas al río desde la confluencia con el río Salado hasta el sector de Angostura que hace que el río en este tramo sea efluente, y por tanto, que existan esta similitud entre las aguas del río y las vertientes ubicadas en el sector de Angostura. Esta semejanza entre las marcas químicas permite afirmar que dichas vertientes sean producto de una descarga del Acuífero Superior en este punto (CIMM, 2012).

Aguas Claras del Tranque Talabre

Para la caracterización de estas aguas, Knight Piésold 2010, dispuso de la estadística de monitoreo mensual de este punto desde enero de 2008 a enero de 2010, donde sintetiza y analiza los resultados, calculando el percentil 66% para cada uno de los parámetros analizados en esta muestra.

De lo anterior se obtiene que la composición del agua proveniente del Tranque de Talabre, correspondiente al punto DDT, ubicado a un costado de la laguna de aguas claras de la cubeta del Tranque, presenta composición *Clorurada Sódica*, con valores promedio de pH alcalinos (9,5), concentraciones de sólidos disueltos totales superiores a 11.000 mg/L y conductividad eléctrica superior a los 16.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, también altas concentraciones de sulfatos (superiores a 3.000 mg/L) y bajas concentraciones de magnesio (8,1 mg/L).

Acuífero Superior

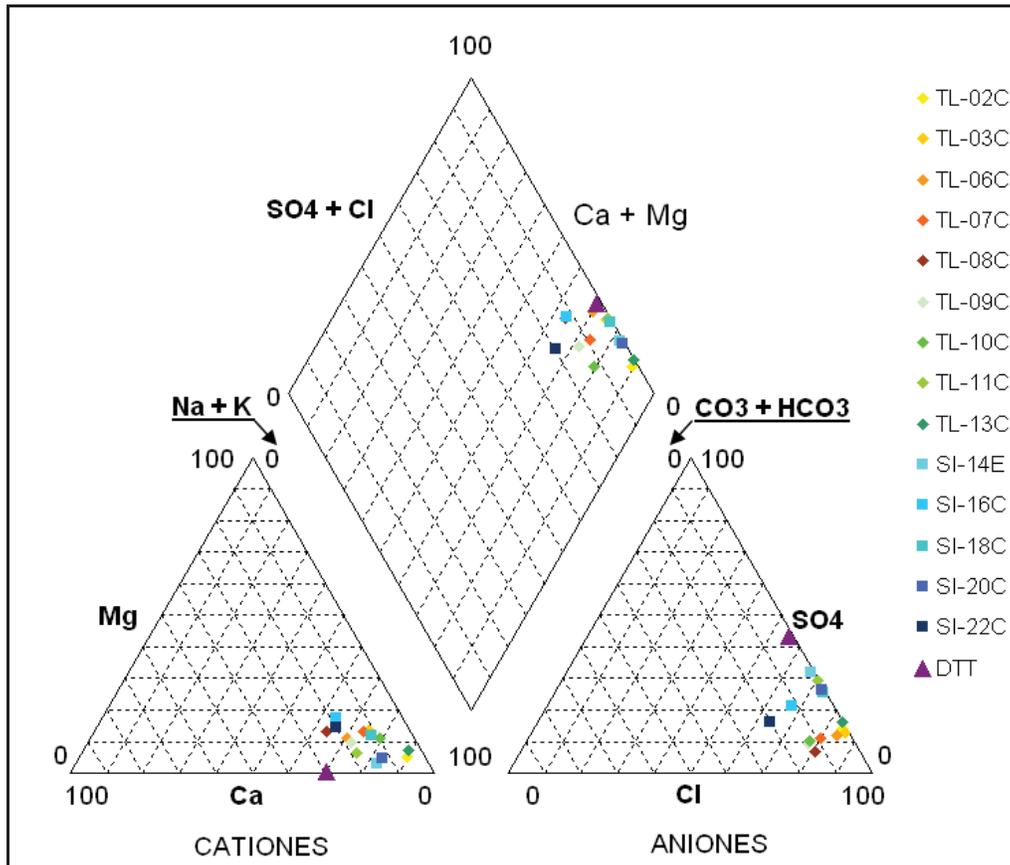
El acuífero superior se caracteriza por presentar mayor salinidad que el acuífero inferior, la cual varía entre 638 mg/L y 31.201 mg/L en Sólidos Disueltos Totales con valores promedio de 10.000 mg/l. En cuanto a su composición química, las aguas son en general, *Cloruradas Sódicas* (Figura 2.3-88 y Figura 2.3-89) y concentraciones de sulfato entorno a los 300 mg/L. Sólo el punto TR-12, ubicado al este del Tranque, mostró un aumento de concentración del anión Sulfato (543 mg/L) a finales del 2009, pero durante el monitoreo histórico de este punto, ha mostrado un notorio descenso, presentando una concentración entorno a los 160 mg/L durante el año 2012.

La composición general del acuífero superior permite indicar que la recarga que recibe, tanto este acuífero como el inferior, provienen de la infiltración del río Loa. Los análisis isotópicos realizados en las aguas del río Loa y de los sondajes ubicados al norte y noroeste del Tranque (tanto para el acuífero superior como el inferior) permiten afirmar además que la recarga se produciría en el tramo comprendido entre el embalse Conchi y la Quebrada Lasana (CIMM, 2012).

Estudios realizados por Knight Piésold (2010) muestran que el acuífero superior tiene cierta correspondencia con las aguas del Tranque, representados por los puntos ubicados aguas abajo del Muro Oeste del Tranque (TL-11C; SI-14E; TR-09 y SI-20C), los cuales presentan valores salinos menores a los observados en el Tranque, pero con contenidos de sulfatos muy similares. Estudios isotópicos realizados (deuterio y oxígeno-18) muestran marcas isotópicas pesadas en los sondajes TL-03C, SI-14C, SI-20C y SI-18C. Esta composición responde a la mezcla de aguas del Acuífero Superior con las aguas afectadas por evaporación, provenientes desde el Tranque. Ambos análisis permiten establecer que existe cierta correlación entre las aguas del Tranque y los sondajes ubicados aguas abajo del muro Oeste y por lo mismo una conexión hidráulica entre ambos grupos de aguas. Los sondajes del acuífero superior cerca del Tranque Talabre, los cuales se encuentran ubicados hacia el sector noreste del Tranque presentan

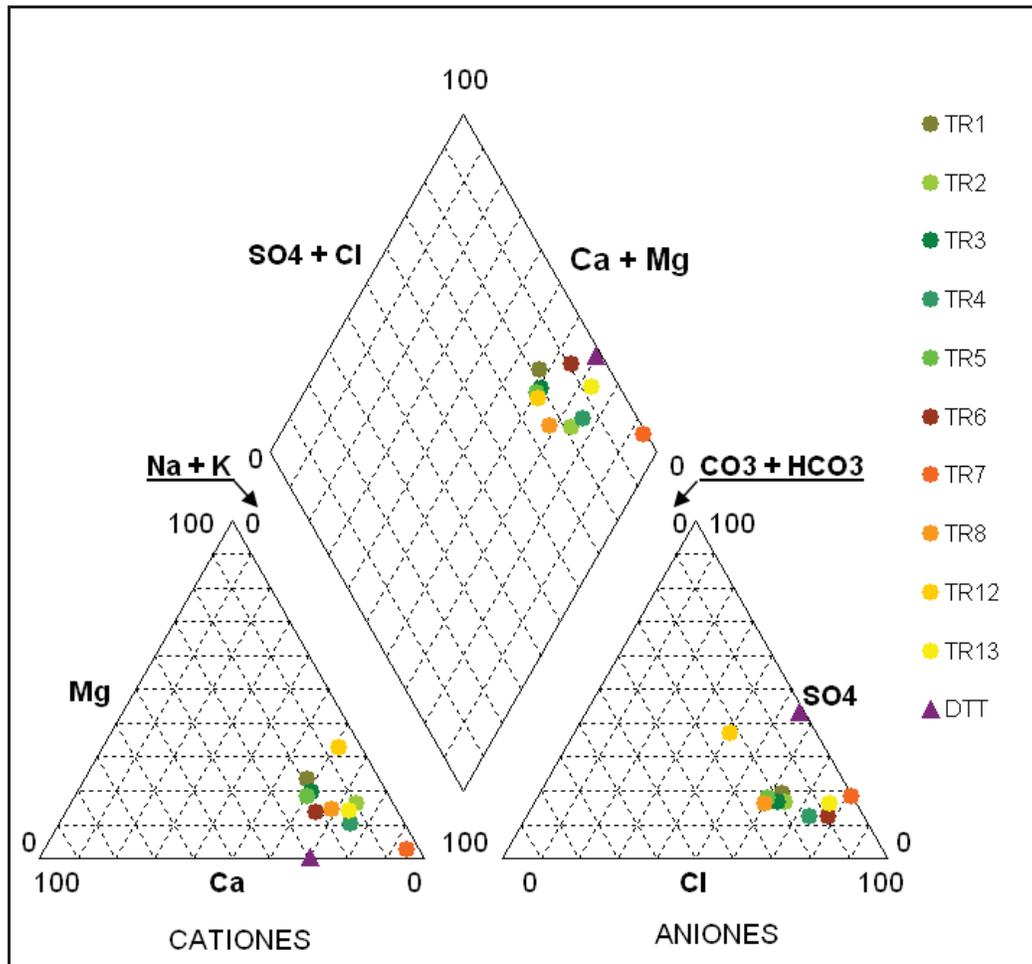
contenidos de magnesio y sulfato, entorno a 50 y 180 mg/L respectivamente (CIMM, 2012).

Figura 2.3-88. Diagrama de Piper Acuífero Superior sector Oeste Tranque Talabre



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3-89. Diagrama de Piper Acuífero Superior Sector Este Tranque Talabre

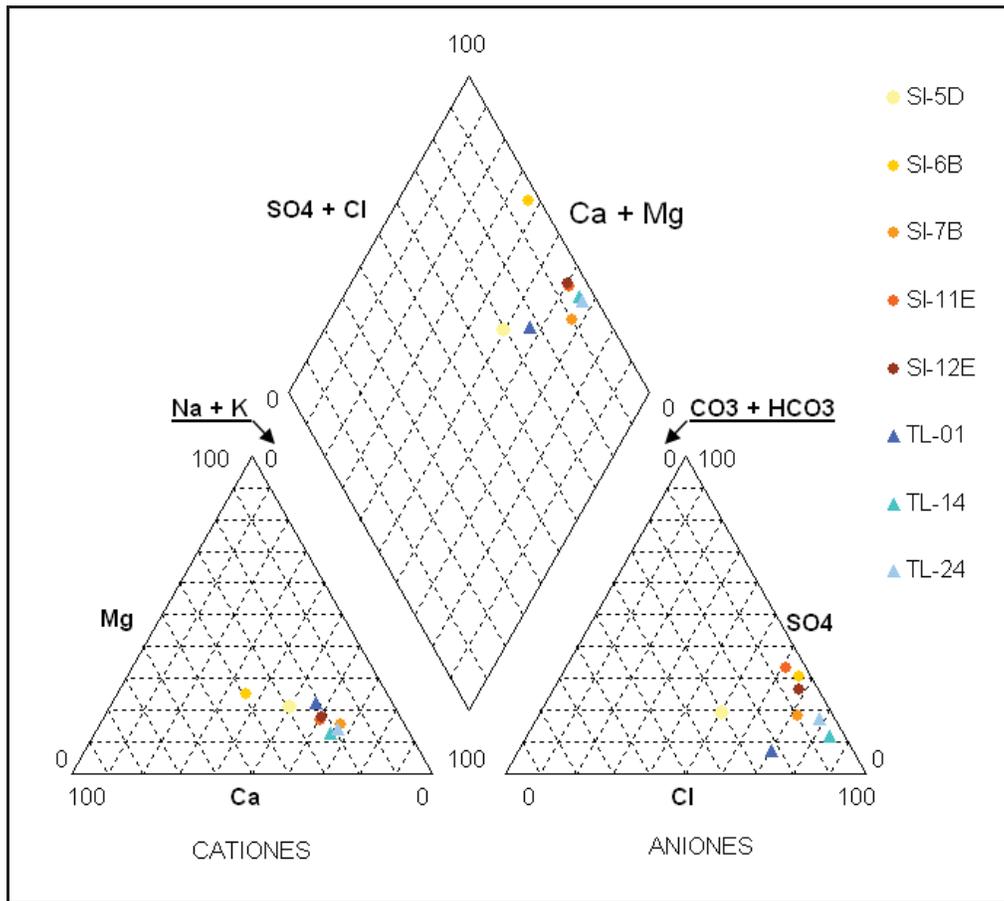


Fuente: Elaboración propia

Acuífero Inferior

La composición química del acuífero inferior en general se clasifica como *Cloruradas Sódicas*, con variaciones puntuales en los puntos SI-5D y SI-6B, los cuales presentan mayor concentración del anión bicarbonato (359,5 mg/L) y mayor concentración del catión calcio (1321,1 mg/L) respectivamente (Figura 2.3-90). La similitud entre las composiciones químicas de este acuífero con el río Loa, permiten indicar que la recarga de este acuífero provendría del río Loa (Knight Piésold, 2010).

Figura 2.3-90. Diagrama de Piper Acuífero Inferior



Fuente: Elaboración propia

Calidad Química del Agua

A continuación se realiza una descripción de la calidad química de los cuerpos de agua superficiales y de los acuíferos, a partir de los resultados del monitoreo presentado por Knight Piésold (2010) y para los parámetros Sulfato, Arsénico y Molibdeno, se complementó con la información de línea base (base de datos) analizada en el informe "Información Línea Base de las aguas subterráneas Acuífero Calama-Tranque Talabre. División Ministro Hales".

La zona no saturada en el sector Tranque Talabre, presenta un espesor promedio de 12 m aproximadamente y se compone de material con granulometría similar al limo, el cual es originado por la decantación de los residuos allí depositados.

En las Figuras siguientes se representa la distribución espacial actual de los potenciales contaminantes del Tranque al río (Knight Piésold, 2010), los cuales serían el Arsénico, Cobre, Cloruros, Molibdeno y Sulfato. Se presentan las concentraciones de estos parámetros desde la confluencia del río Loa con el río Salado hasta la estación Yalquincha, antes de la entrada a la ciudad de Calama, además de las concentraciones de las aguas del tranque y sondajes del acuífero superior.

La distribución del Arsénico en la cuenca de Calama, presenta sus mayores concentraciones en el área de emplazamiento del Tranque Talabre, cuya concentración promedio de las aguas claras de la cubeta es de 2,57 mg/L. Este valor es superior a la concentración promedio del Río Loa (entre 0,5 y 1 mg/L) y a la observada en los puntos del acuífero superior (alrededor de 0,5 mg/L). En el caso del Río Salado, éste presenta concentraciones de 1,70 mg/L. Estos valores permitirían inferir que los valores del Arsénico del Río Loa provendrían del Río Salado y no de una potencial filtración desde el tranque.

En el caso del Cobre, las concentraciones reportadas para este elemento a lo largo del Río Loa son muy variables, mostrando concentraciones superiores a 0,75 mg/L en la junta con el Río Salado hasta valores menores a 0,15 en el punto RLM, para luego tomar valores entre 0,15 y 0,6 mg/L, antes de llegar a Calama, donde presenta valores menores a 0,15 mg/L. Las concentraciones de las aguas claras de la cubeta se encuentran bajo el límite de detección del método usado por el laboratorio, lo que permite decir que la fuente de las concentraciones del cobre, no corresponderían al Tranque Talabre. Lo anterior se ve reflejado en las concentraciones reportadas para los sondajes, los cuales, al igual que las aguas claras, se encuentran bajo el límite de detección del laboratorio.

La concentración promedio de los Cloruros en el Río Loa es de 700 mg/L antes de la Junta con el Río Salado, pero la alta concentración del Río Salado (2.250 mg/L) altera naturalmente las características fisicoquímicas del Río Loa, aumentando su concentración a 1.600 mg/L aguas debajo de la confluencia con el Río Salado, los cuales aumentan ligeramente durante su recorrido hasta los 1.850 mg/L en la Estación Yalquincha. Las concentraciones en las aguas claras del tranque presentan una concentración promedio de 3.900 mg/L y los sondajes del acuífero superior presentan concentraciones que varían de 500 a 3000 mg/L, estos últimos concentrados hacia el área de emplazamiento del Tranque Talabre y que sí podrían provenir de infiltraciones desde el tranque.

La concentración de Molibdeno en el río Loa se mantiene constante durante su recorrido desde su confluencia con el río Salado hasta la estación Yalquincha, con concentración promedio de 0,12 mg/L, salvo el punto RLQ que presenta aumento en su concentración (1,43 mg/L). La concentración del Molibdeno en el acuífero superior en el tramo entre el tranque y el río son similares a las monitoreadas en el río Loa, mostrando un aumento en la concentración en dirección del sondaje DTT (5,8 mg/L). Sólo se observaron concentraciones similares a las reportadas en las aguas claras del Tranque en los sondajes ubicados aguas abajo del muro Oeste.

El Río Loa presenta concentraciones de Sulfatos promedio de 200 mg/L y se mantiene constante desde aguas arriba de la confluencia con el Río Salado hasta la estación Yalquincha. Las concentraciones del sulfato en el acuífero superior entre el tramo y el río son similares a las monitoreadas en el Río (500 mg/L). Las aguas claras del Tranque muestran concentraciones hasta los 3.250 mg/L. Se observa que los sondajes del acuífero superior que presentan mayores niveles de sulfatos se encuentran ubicados aguas abajo del muro oeste (varían de 1.000 a 3.000 mg/L).

Al costado sur del Tranque, los sondajes TL-02C, TL-03C, TL-06C, TR-7, presentan la misma composición Clorurada Sódica y altos niveles de salinidad observada para este acuífero superior en el sector, pero estos a su vez presentan aumento de la concentración de sulfatos (entorno a los 1.000 mg/L); alcanzando valores entre los 3.100 mg/L (TR-7) en el año 2012, siendo esta concentración muy similares a las reportadas para el sulfato en las aguas tomadas del Tranque. En cuanto a los sondajes ubicados directamente aguas

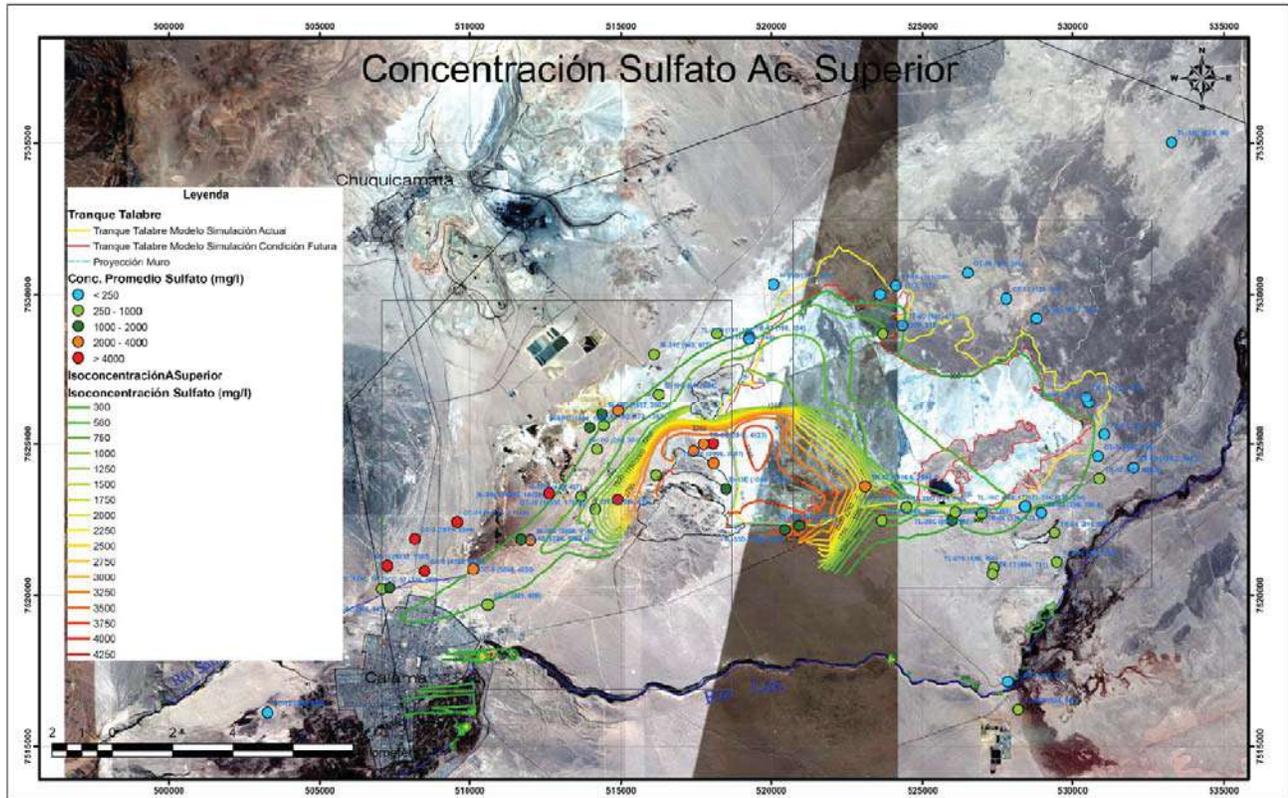
abajo del muro Oeste (TR-09, SI-20C, SI-14E, TL11C y SI-13E), presentan concentraciones máximas promedio de 4400 mg/L de sulfatos, lo cual indicaría que estos sondeos presentarían aporte de las aguas provenientes del tranque.

Las concentraciones de sulfatos en un grupo de sondeos (CC-18, CC-2, CC-9, TR-11 y CC-5), ubicados al norte de la ciudad de Calama, presentan concentraciones promedio de 7.923 mg/L, los cuales se han presentado relativamente constantes en el tiempo y valores mayores a los reportados para los sondeos mencionados anteriormente, se hace evidente que existe otra fuente de sulfato en el sector norte de Calama, distinta al Tranque Talabre, que estaría generando estos ascensos en los niveles de Sulfato (Knight Piésold, 2010).

En la Figura 2.3-91 se presenta una simulación de la situación actual de la concentración promedio para los puntos de monitoreo distribuidos en el sector de Tranque Talabre, en la cual se observa que la pluma contaminante de Sulfato presenta una marcada atenuación de las curvas de isoconcentración hacia el sector Norte y una alta capacidad de dilución, lo cual se ve reflejado en las concentraciones obtenidas en los sondeos ubicados en los alrededores de la ciudad de Calama (300 mg/L). Cabe indicar que los puntos CC-18, CC-2, CC-9, TR-11 y CC-5 ubicados al norte de Calama y que muestran altas concentraciones de sulfatos, estarían presentando estos aumentos asociados a aportes de fuentes distintas a las generadas por el Tranque. La Figura 2.3-92 y Figura 2.3-93 muestra en detalle las curvas de isoconcentración del sulfato para los pozos ubicados al este del Tranque y los pozos ubicados al oeste del muro del Tranque respectivamente, donde se muestra que al este del tranque, aguas arriba, las concentraciones promedio en este sector son menores a 250 mg/L, lo cual es concordante con las concentraciones obtenidas para las muestras de agua del río Loa.

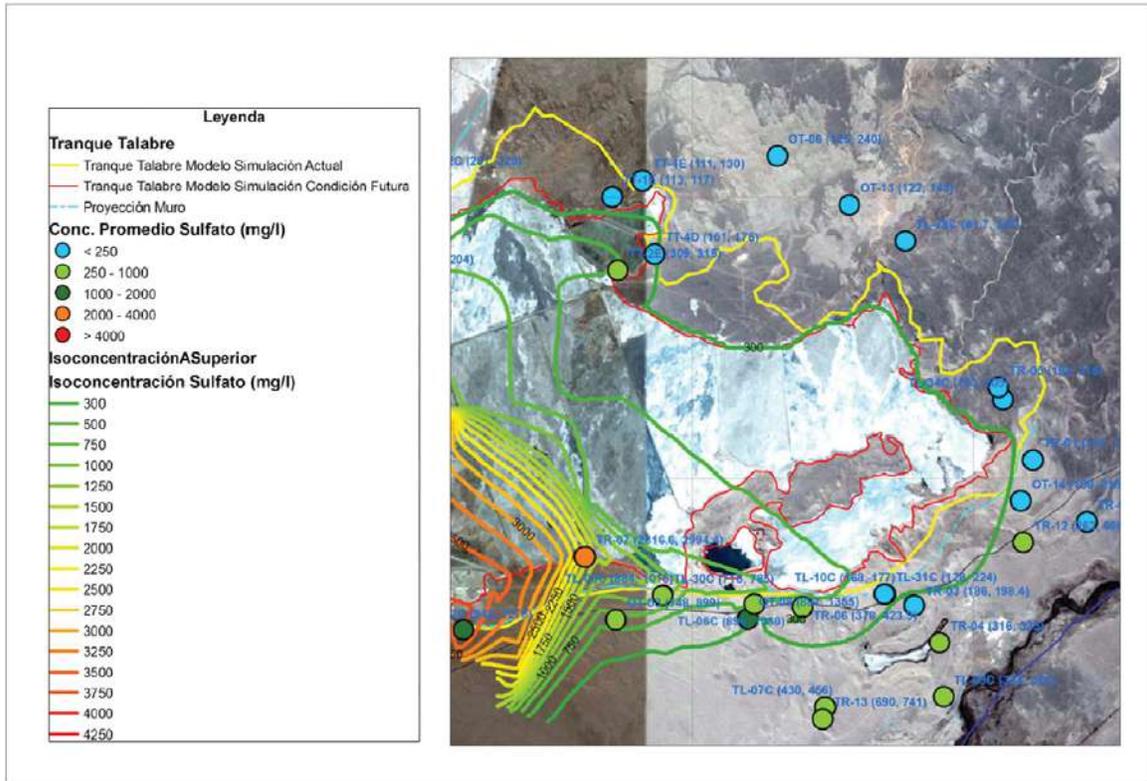
Al Oeste del Tranque, como se mencionó anteriormente, se observa que a medida que se realiza el monitoreo de los puntos ubicados aguas abajo del Tranque, los valores de concentración de sulfatos desciende hasta alcanzar valores menores a 300 mg/L cerca de la ciudad de Calama.

Figura 2.3-91. Simulación Condición Actual Isoconcentraciones de Sulfato Acuifero Superior en Sector Tranque



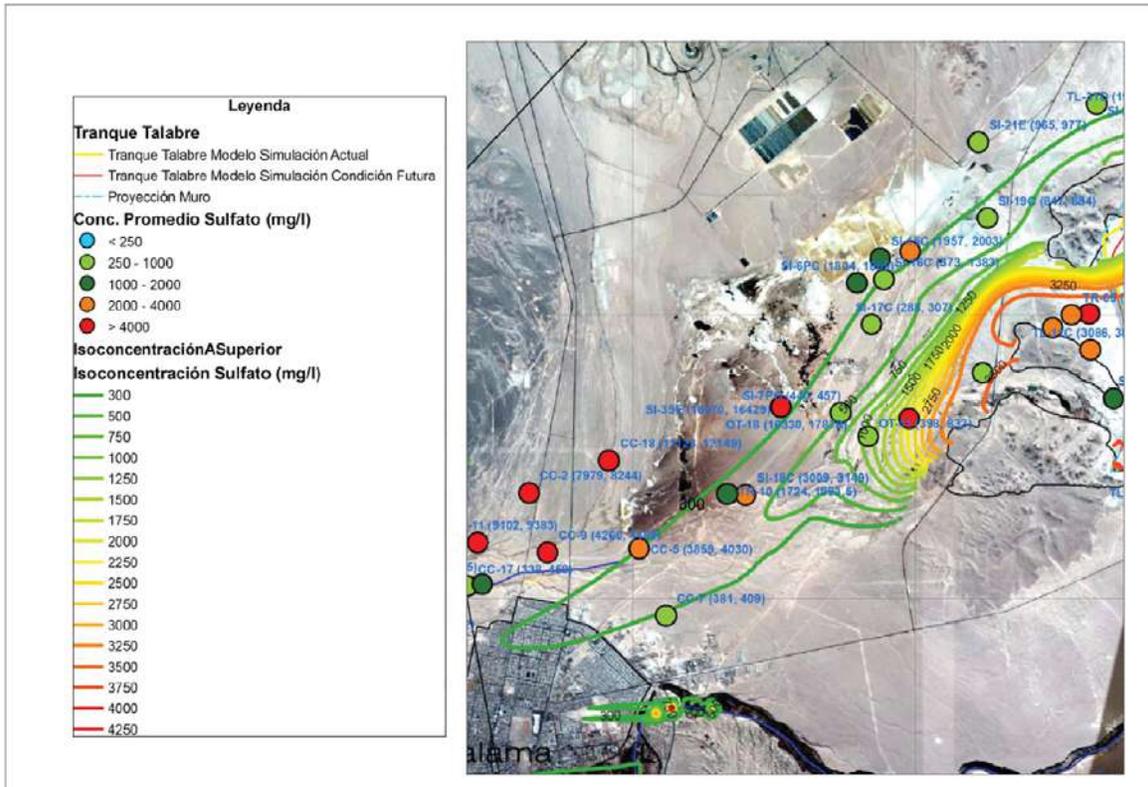
Fuente: Knight Piésold 2010

Figura 2.3-92. Detalle Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Superior al Este del Tranque



Fuente: Knight Piésold 2010

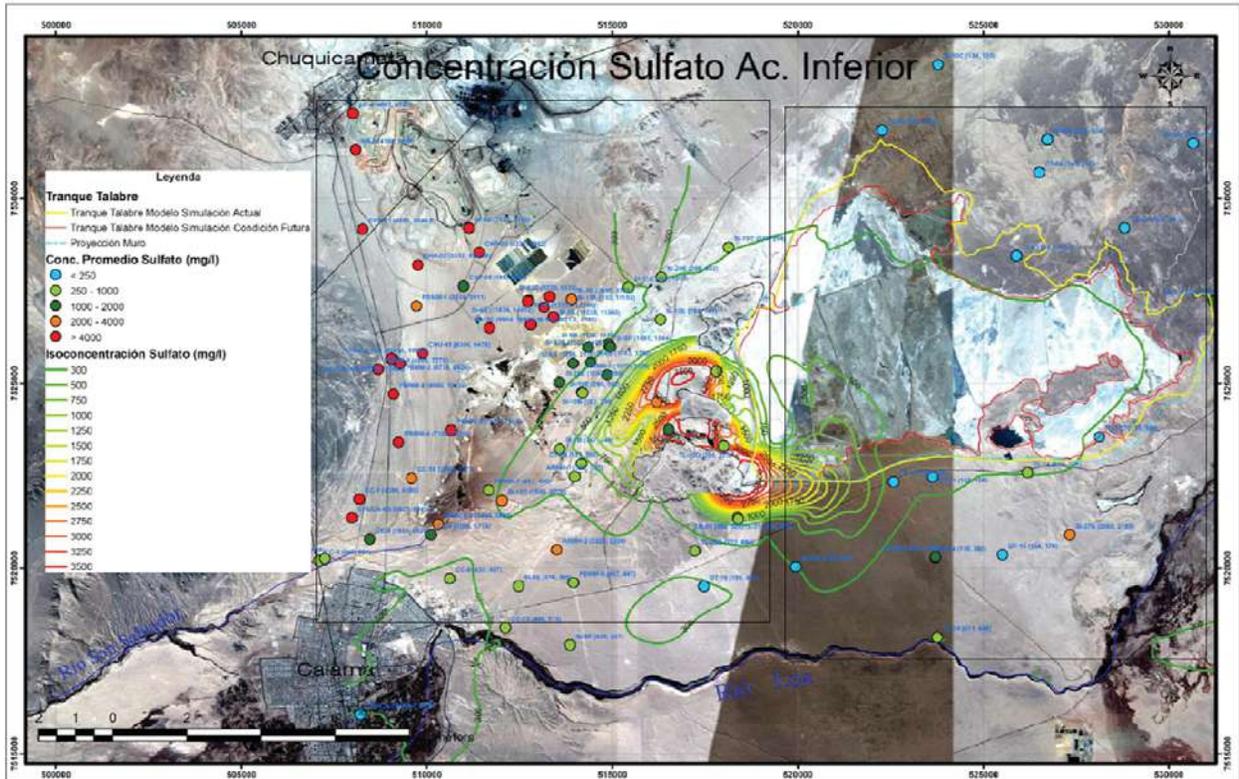
Figura 2.3-93. Detalle Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Superior al Oeste del Tranque



Fuente: Knight Piésold 2010

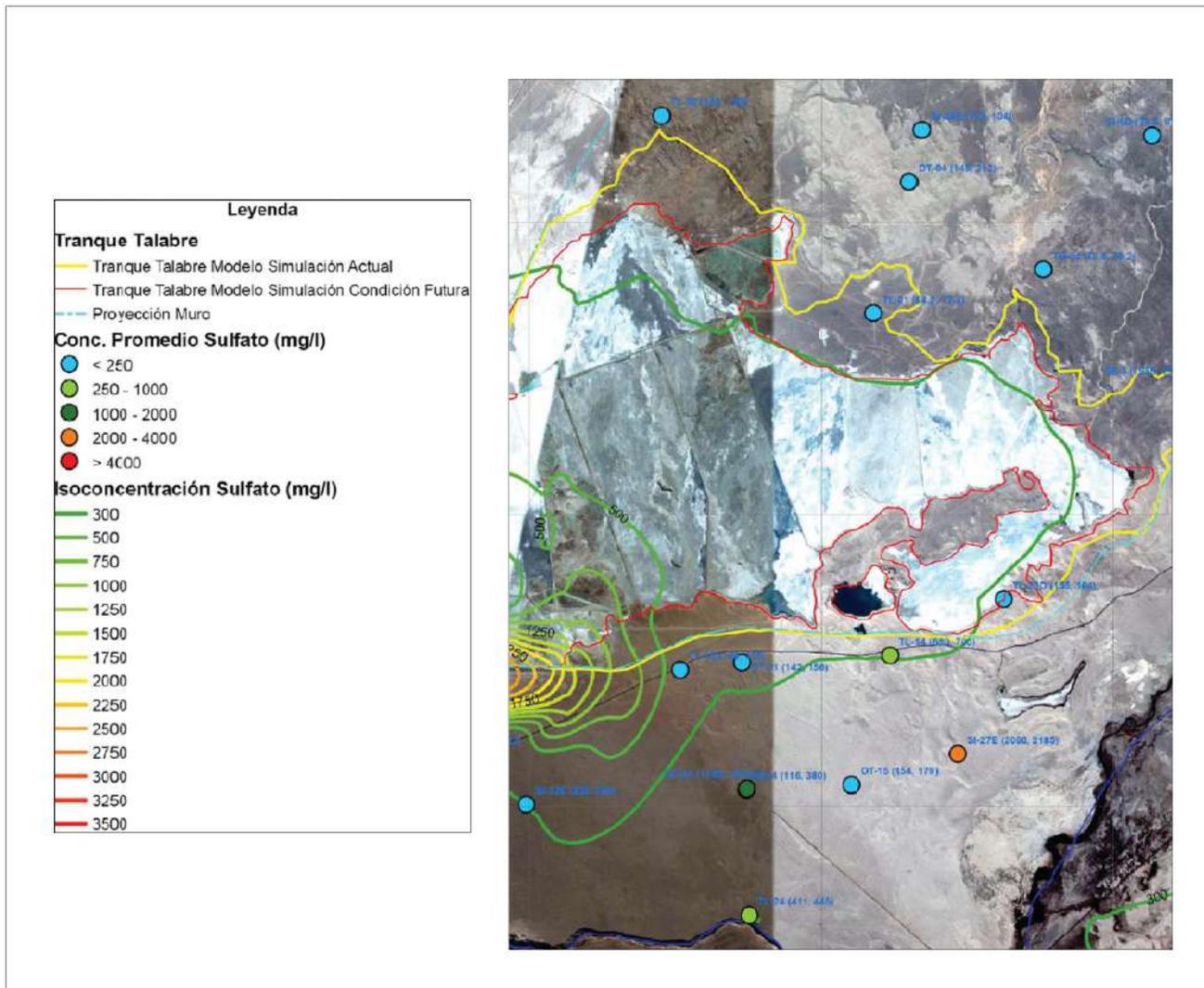
La Figura 2.3-94 representa las isoconcentraciones de sulfato del acuífero inferior donde se observa que los pozos ubicados al Noreste del Tranque Talabre presentan concentraciones de 60 a 150 mg/L, al sector noroeste se observan concentraciones que van de los 160 mg/L hasta los 2.185 mg/L (SI-27E) (Figura 2.3-95). Los pozos ubicados aguas abajo del muro oeste del Tranque presentan concentraciones de sulfato que varían de 250 a 500 mg/L en la mayoría de los sondajes monitoreados, mostrándose algunas aumentos puntuales (entorno a los 1.500 y 3.600 mg/L). Los sondajes ubicados al norte de la ciudad de Calama y al sur del rajo actual de Chuquicamata, muestran altas concentraciones de sulfato, en torno a los 8.000 mg/L, lo que indicaría que estas concentraciones se encuentran asociadas principalmente a aportes de fuentes de sulfatos diferentes a la generada por el Tranque Talabre (Figura 2.3-96). También se muestra que los sondajes ubicados en los alrededores de la ciudad de Calama presenta valores de Sulfatos en torno a los 400 mg/L.

Figura 2.3-94. Simulación Condición Actual Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Inferior Sector Tranque



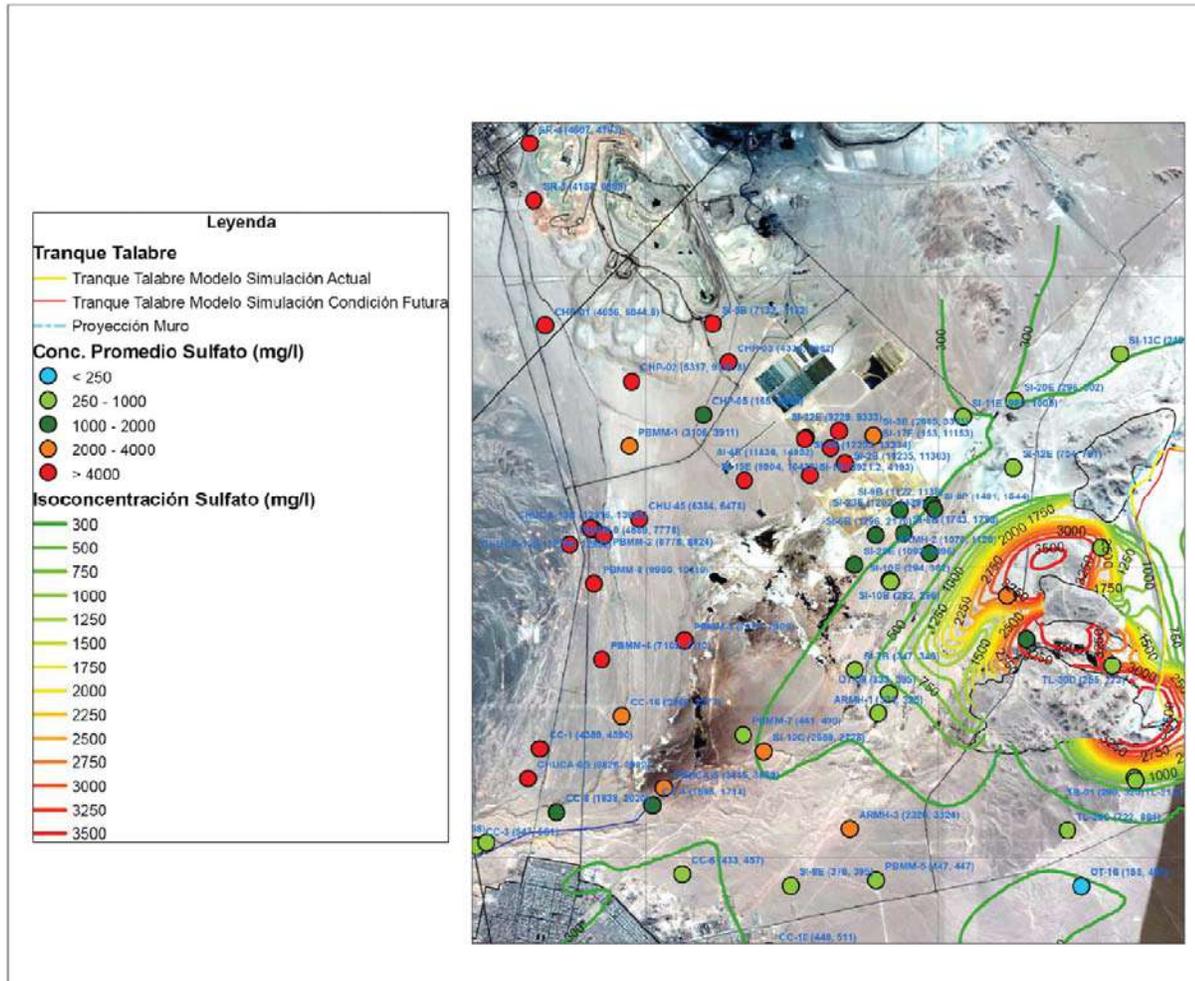
Fuente: Knight Piésold 2010

Figura 2.3-95. Detalle Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Inferior al Este del Tranque



Fuente: Knight Piésold 2010

Figura 2.3-96. Detalle Isoconcentraciones de Sulfato Acuífero Inferior al Oeste del Tranque



Fuente: Knight Piésold 2010

Sector Planta Desaladora

En este sector no se encuentran cuerpos de agua superficiales para ser analizados dada la escasa pluviosidad y no hay antecedentes de la existencia de agua subterránea, por lo tanto, no se encontró información química que permitiera realizar una caracterización en este sector.

Sector Trazado Sector Planta Desaladora-Sector RT

Para este sector no se encontró información química que permitiera realizar una caracterización hidroquímica de los cuerpos de agua superficial y del (los) acuífero(s) existentes en este sector.

2.3.5.5 Conclusiones

2.3.5.5.1 Hidrología

La Región de Antofagasta constituye una de las áreas más áridas del territorio nacional, en la cual las precipitaciones son muy poco frecuentes. La precipitación media anual es muy baja en toda el área del Proyecto, siendo como promedio inferior a 1 mm en la zona costera, de unos 2 mm en la parte central y de 5 mm en el área mina RT. En general las precipitaciones están asociadas a eventos extremos y aislados que ocurren en los meses de verano. Para un período de retorno de 100 años se calcularon precipitaciones máximas diarias entre 2 mm (costa) y 20 mm (área mina).

Los cursos de agua son escasos, y en el área de influencia el río Loa es el único cauce con escurrimiento permanente. Los otros cauces existentes sólo presentan escurrimiento frente a precipitaciones extremas. El caudal medio anual del río Loa asciende a 560 L/s aguas abajo de la ciudad de Calama.

Sector RT: se estimaron caudales altos de crecida provenientes desde el sector oeste, pero que al escurrir por varios cauces pequeños no generan escurrimientos muy grandes por un solo cauce, estimándose que éstos deben ser menores a 300 L/s para la crecida centenaria.

Por el trazado de la canaleta de relaves sólo atraviesa un área donde se observa un registro de escurrimiento importante, asociado a la quebrada Paqui. El caudal de crecida obtenido en esta quebrada fue de 12,7 m³/s y, a pesar de que según el registro de escurrimiento muestra que este caudal escurriría por un abanico de cauces pequeños, se justifica como medida de seguridad una protección especial a la canaleta en el tramo donde se produce el mayor escurrimiento de esta quebrada.

Sector Tranque Talabre: no se identifican escurrimientos de importancia afluentes al tranque, considerando la baja pluviosidad del sector. El cauce del río Loa no presenta influencia con este sector en cuanto a sus caudales máximos.

Sector Planta Desaladora: accede una quebrada que no presenta escurrimiento permanente y cuyo cauce principal pasa a unos 250 m al sur de las obras proyectadas. Se estimó para esta quebrada un caudal de crecida de 465 L/s asociado a un período de retorno de 100 años.

Sector Planta Desaladora – RT: en el trazado de la línea de impulsión se identificaron 27 quebradas de relativa importancia a las cuales se estimó un caudal máximo de crecida asociado a un período de retorno de 100 años. Los caudales son muy variados debido a los diferentes tamaños de cuencas, siendo entre 25 L/s y 17 m³/s. De acuerdo con la monografía de las quebradas realizada en terreno (Hatch, 2012), los caudales de crecida calculados producen escurrimiento de baja altura de agua, facilitando su manejo en caso de requerirse por el desarrollo del Proyecto.

2.3.5.5.2 Hidrogeología

Las obras contempladas en el proyecto Proyecto RT Sulfuros se despliegan en una vasta extensión transversal a la geografía del Norte Grande del país, por lo que la caracterización de su componente hidrogeológica en el marco de una línea de base, debe considerar escenarios variados, según sea el sector analizado.

Sector RT: la componente hidrogeológica para este sector queda caracterizada por el desarrollo en superficie de la unidad UH-1, de depósitos aluviales no consolidados y no saturados, en contacto directo con la unidad Acuífero Inferior o Principal, UH-5, a la que subyace la Unidad Basamento Impermeable o UH-6, aquí compuesto de pórfidos y otros intrusivos. Lo anterior indica la ausencia de la unidad Acuífero Superior, la cual se desarrolla en sectores situados más hacia el sureste de RT.

La piezometría indica que los niveles de agua más elevados se sitúan al sur, al oeste y al este del rajo RT, con un gradiente hidráulico de 0,21 a 0,26%, configurándose una dirección de flujo hacia el interior del rajo producto de una depresión inducida por el desarrollo y profundización del rajo de la mina, cuyo nivel más inferior se situaba al año 2010, cerca de los 2700 msnm. La tasa de infiltración de agua hacia el interior de la mina se ha estimado de manera indirecta en torno de los 2 L/s, correspondiendo este valor al caudal de bombeo promedio total desde el fondo de mina, situado en unos 2570 msnm, en la actualidad. Esta tasa de infiltración se considera extremadamente baja y se debe a la muy baja conductividad hidráulica de las litologías implicadas (del orden de 10^{-9} a 10^{-5} m/día), la que en el mejor de los casos podría alcanzar los 10^{-3} a 10^{-6} m/día, en zonas con mayor desarrollo de fracturas.

Finalmente, se ha indicado que la influencia del rajo respecto de la piezometría de su entorno es relativamente local.

Sector Tranque Talabre: del trazado de la canaleta de relaves y el Sector Tranque Talabre, se hallan ubicados netamente dentro de la llamada Cuenca de Calama, en donde diversos estudios desarrollados para la División CODELCO Norte, han llegado a caracterizar diferentes unidades hidrogeológicas entre las que destacan dos acuíferos, claramente situados el primero en secuencias cárstico-detríticas, pertenecientes a la parte superior del Grupo El Loa y el segundo en una secuencia de gravas pertenecientes a la Formación Calama. Ambas separadas por un par de unidades de carácter ignimbrítico y sedimentario de baja permeabilidad, respectivamente. El basamento impermeable subyacente lo constituyen rocas consolidadas, de edad pre-Terciaria y de amplia diversidad litológica.

La unidad denominada Acuífero Superior “El Loa”, de espesor cercano a los 270 m, presenta un carácter freático y permeabilidades variables entre el rango media-alta, en rocas calcáreas de la Formación Opache, hasta un rango bajo en depósitos limo-arcillosos. La porosidad es en general del tipo secundaria, dado el carácter cárstico y por tanto soluble de la secuencia, condición que a su vez determina de manera puntual un comportamiento semiconfinado a confinado y de presión reducida, conformando pequeños alumbramientos superficiales en zonas situadas aguas arriba del sector conocido como Angostura. Es en estos sectores donde se verifica una relación río-acuífero, con ganancia del río Loa del orden de los 400 L/s, relación que ha sido respaldada por análisis hidroquímicos que prueban una similitud en los contenidos de sulfatos en ambos cuerpos de agua.

En cuanto a filtraciones desde el tranque de Talabre al acuífero, el modelo numérico de flujo subterráneo y de transporte, realizado por Knight Piésold, estimó la infiltración desde el tranque al acuífero de 36 L/s, porcentualmente bajo en relación al flujo pasante por el sector del tranque, estimado en 500 L/s, lo que significa una capacidad de dilución importante de la pluma contaminante proveniente del tranque, lo que hace que el acuífero tenga un grado de vulnerabilidad bajo a este fenómeno.

Sector Planta Desaladora: sus obras asociadas están insertas en la subprovincia hidrogeológica de Cuencas costeras arreicas, caracterizada por no presentar escurrimiento en la actualidad, efecto de la ausencia casi total de recursos hídricos y de una tasa de precipitación media anual inferior a 1 mm.

Sector Planta Desaladora – RT: un primer segmento del Sector de la línea de impulsión, correspondiente a su trazado sobre la Cordillera de la Costa, queda también inserto en la subprovincia antes mencionada, alcanzando posteriormente lo que se ha definido como el sector Desierto de Atacama de la subprovincia Norte Grande. Este tramo inicia en el kilómetro 39 de la línea de impulsión, en donde alcanza el dominio de la cuenca del río Loa y sus sistemas acuíferos asociados, los cuales están albergados principalmente en depósitos no consolidados de carácter aluvial y coluvial. El espesor saturado en estos últimos depósitos llega a superar los 100 m.

2.3.5.5.3 Hidroquímica

Sector RT: Este sector no presenta escurrimiento de aguas superficiales, encontrándose solamente el acuífero inferior o principal. La composición química de las aguas de este acuífero inferior se clasifica como *Sulfatada Sódica*. Esta composición podría estar asociadas a la oxidación de sulfuros, comunes en zonas de alteración hidrotermal y/o por la infiltración de efluentes mineros con altos contenidos de sulfatos, entre otras fuentes.

Los efluentes presentan composición *Sulfatadas Magnésico-Sódicas*, pH ácidos y altas concentraciones de todos los elementos analizados, a excepción del bicarbonato. Los pozos ubicados en este sector RT se encuentran enriquecidos principalmente en sulfato, sodio, hierro y manganeso, pero sin llegar a las altas concentraciones encontradas en los efluentes mineros.

El agua subterránea en el Rajo RT se clasifica como sulfatada sódica, presentan pH neutros levemente ácidos, alta salinidad y conductividad, además presentan altas concentraciones de sulfatos, sodio, magnesio, hierro (PB-08), cobre y molibdeno (PB-03).

Sector Tranque Talabre: se caracterizaron los cuerpos de agua superficial correspondientes al río Loa y las vertientes aportantes, este río no presenta variaciones importantes, excepto antes de llegar a la confluencia con el Río Salado, el cual provoca una alteración natural del río Loa, mostrando en la junta con este río un aumento en el cloruro y el sodio. La composición química de estos cuerpos de agua se clasifica como Clorurada Sódica y bajos niveles de sulfatos. Las vertientes aportantes al río Loa muestran marcas químicas y mineralizaciones similares a los puntos de monitoreo a lo largo de éste, lo que permitiría inferir que estas vertientes serían de puntos de descarga de agua subterránea, cuyo origen sería la parte alta del Río Loa, o bien, tratarse de agua almacenada en las riberas del río Loa que son producto de las crecidas estacionales.

El agua del acuífero superior se caracteriza por presentar mayor salinidad y sólidos disueltos totales que el acuífero inferior y valores de Sólidos Disueltos Totales. La composición general de estas aguas es Clorurada Sódica, esta composición permite indicar que la recarga que recibe proviene de la infiltración del río Loa. En cuanto a la composición química del agua del acuífero inferior se clasifica en general como Clorurada Sódica.

El Tranque Talabre corresponde a aguas de tipo Cloruradas Sódicas, con altas concentraciones de sulfato y bajas concentraciones de magnesio. Estudios isotópicos indican que esta composición responde a la mezcla de aguas del Acuífero Superior con las aguas afectadas por evaporación, provenientes desde el Tranque. Ambos análisis permiten establecer que existe cierta correlación entre las aguas del Tranque y los sondeos ubicados aguas abajo del muro Oeste y por lo mismo una conexión hidráulica entre ambos grupos de aguas. Los sondeos del acuífero superior cerca del Tranque Talabre, que se encuentran ubicados hacia el sector noreste del Tranque presentan contenidos de magnesio y sulfato.

Sectores Planta Desaladora y Planta Desaladora – RT (acueducto): La ausencia de afectación de las obras del Proyecto hacia esta componente de calidad química del agua, junto con la falta de información respecto al tema, determinan no hacer referencias respecto de estos dos sectores.

2.3.5.6 Referencias Bibliográficas

- CIMM (2012). Línea de Base Ambiental Tranque Talabre 432 ktpd. Capítulo Medio Físico. Preparado para División Codelco Norte. Marzo, 2012.
- Dirección General De Aguas (1986). Mapa Hidrogeológico de Chile Escala 1:2.500.000 Texto Explicativo. Diciembre, 1986.
- Geohidrología (2011). Modelo de Simulación Hidrogeológica Mina Radomiro Tomic. Informe Final. Preparado para División Codelco Norte. Julio, 2011.
- Hatch (2012). Estudio Hidrológico Río Loa, Informe de proyecto N° H339606. Informe Interno CODELCO. Abril, 2012.
- Ingeorec Ltda. (2005). Modelo Hidráulico Río Loa. Sector Medio. Preparado para División Codelco Norte. Mayo, 2005.
- Knight Piésold (2010). Modelamiento Hidráulico Tranque Talabre y su relación con los Acuíferos y Cauces Superficiales. Análisis e interpretación de la Hidroquímica de los acuíferos y su relación con el Tranque. Preparado para División Codelco Norte. Agosto, 2009.
- SQM (2011). Antecedentes relativos al Área de Emplazamiento del Proyecto. Anexo I. DIA Línea 4 de Secado Coya Sur. SQM Industrial S.A.
- Mapa de Isoyetas – Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días. DGA, 1991.
- Manual de Carreteras Volumen N° 3, Capítulo 3.700, Diseño del Drenaje, Saneamiento, Mecánica e Hidráulica Fluvial. Dirección de Vialidad, MOP.
- Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica. A DGA, 1995.
- Dirección General de Aguas, Balance Hídrico Nacional (1984)
- Informe de Proyectos Monografías de Quebradas. Hatch, 2012.
- Estudio Hidrológico Río Loa. Hatch, 2012.
- Techint - Codelco (2012). Estudio Hidrológico de Quebradas Impulsión Radomiro Tomic.

2.3.6 Edafología

2.3.6.1. Introducción

El presente capítulo fue elaborado en base al documento “Informe de Caracterización de línea de Base de Edafología” elaborado por HATCH para la División Radomiro Tomic de CODELCO el año 2010, y contiene la caracterización de los suelos presentes en el área propuesta para la construcción y operación del “Proyecto RT Sulfuros”, ubicado en la región de Antofagasta. Para ello, se identificaron sus propiedades físicas, capacidades de uso y su ocupación actual.

El objetivo general de la presente línea de base es:

- Levantar la información relevante respecto a la componente suelo en el área de estudio del Proyecto

Los objetivos específicos de la presente línea base son:

- Describir los perfiles del suelo en cada uno de los puntos definidos.
- Definir y caracterizar las unidades homogéneas de suelo (UHS) presentes en el área del Proyecto.
- Establecer la Clase de Capacidad de Uso y otras clases interpretativas para los suelos descritos

2.3.6.2. Definición Área de Influencia

Se establece como área de influencia al área que será directamente intervenida por las obras, es decir el suelo que será directamente afectado por la materialización del Proyecto. Estas áreas corresponden a:

1. Sector RT: El área de influencia para este sector considera la superficie de todas las obras físicas asociadas a la operación minera y la nueva planta concentradora, incluyendo las instalaciones requeridas para su funcionamiento. Además considera las obras asociadas al transporte de relaves mediante canaleta desde la planta concentradora hasta la Cámara RT y a la recirculación de aguas claras desde la sentina hasta la planta concentradora.

Este sector considera la infraestructura vial ya existente y las mejoras proyectadas por el MOP para el transporte de concentrados desde la nueva planta concentradora hasta el Terminal Gránulos del Norte (TGN). Sin embargo el transporte no considera obras nuevas por lo tanto el componente no es afectado y esta actividad queda fuera del área de influencia.

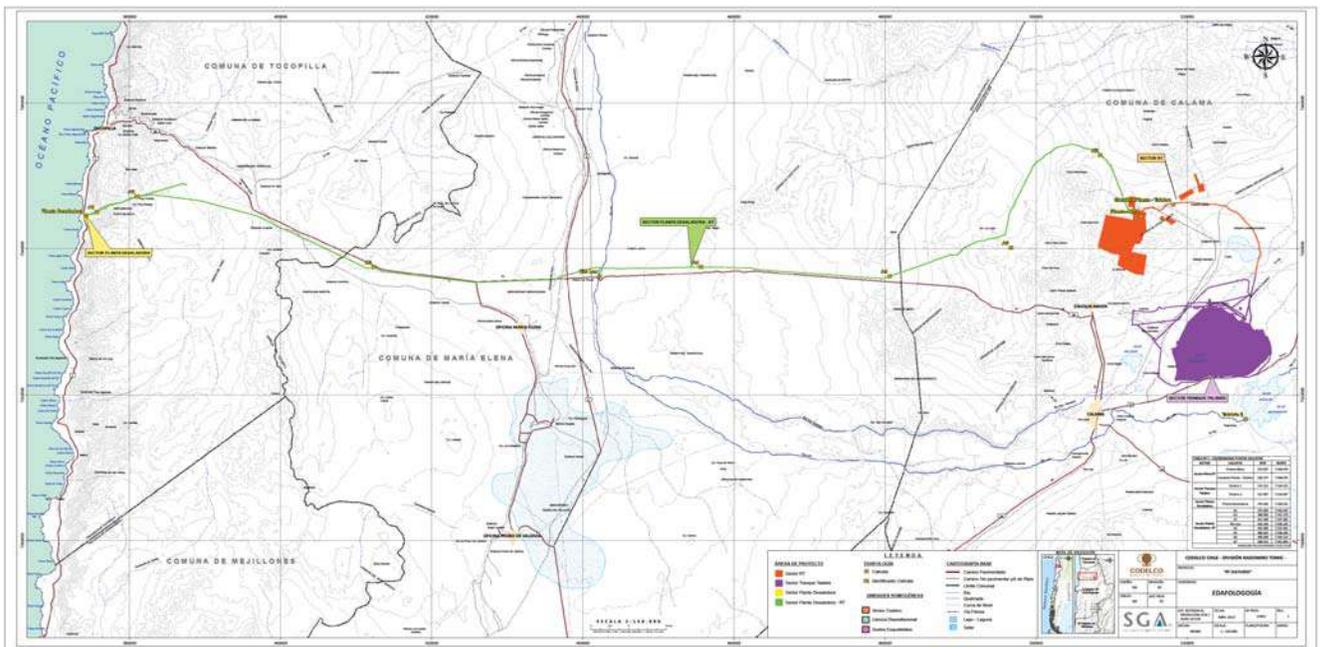
2. Sector Tranque Talabre: Para este sector se considera como área de influencia la superficie que utilizan todas las obras de ampliación del tranque Talabre, sistema de recuperación de aguas de proceso desde el tranque Talabre e infraestructura necesaria para la implementación del sistema de relaves espesados. Además en este sector se incorpora el mejoramiento vial en el cruce de las Rutas CH-21 y F-50.
3. Sector Planta Desaladora: Este sector considera la planta desaladora con sus obras marítimas y la infraestructura requerida para su funcionamiento. El área de influencia

para el componente suelo en este sector corresponde a las obras físicas ubicadas en el borde costero.

4. Sector Planta Desaladora – RT: Este sector está constituido por el sistema de impulsión que transporta el agua desalada desde la planta desaladora hasta el Sector RT y la infraestructura requerida para su funcionamiento, considerando la superficie que ocupan estas obras como área de influencia para el componente suelo.

Las instalaciones del proyecto y las envolventes del área de influencia se presentan en la Figura 2.3-97 y en el Anexo 2.1-13.

Figura 2.3-97. Área de Influencia Edafológica



2.3.6.3. Metodología

Para la caracterización de suelos, primero se observó a través de imágenes satelitales a una escala de 1:20.000, obteniendo una primera aproximación de las unidades homogéneas de suelo. Luego se efectuó la campaña de terreno donde se desarrollaron calicatas, las que se realizaron en una superficie de 1m x 1m, con una profundidad variable dependiendo de la profundidad de los suelos. Estas fueron localizadas mediante Puntos de Muestreo de Suelos en Coordenadas UTM (Datum: WGS 84; Huso: 19).

En cada uno de los horizontes observados, se describieron variables como color en seco, color en húmedo, profundidad, clase textural, pedregosidad, estructura, porosidad, reacción al HCl, límite y observaciones pertinentes. Adicionalmente, se describió la pendiente y los fragmentos en superficie en cada uno de los puntos. El no presentar alguna de estas variables en la descripción indica la ausencia de ésta.

Las propiedades físicas que consideran múltiples aspectos (textura, profundidad efectiva, drenaje y topografía), permitieron efectuar una interpretación técnica de los suelos (clase de drenaje, categoría de riego, aptitud agrícola y aptitud frutal) y consecuentemente se hizo una interpretación de la Clase de Capacidad de Uso de cada uno de los suelos. Las Clases de Capacidades de Uso se entienden como las potencialidades máximas del recurso, medidas en función de sus aptitudes y limitaciones.

El levantamiento y análisis de esta información, junto con la caracterización climática y geomorfológica, permite conocer sus condiciones naturales de línea de base y efectuar en su caso, recomendaciones para su uso.

A continuación (Tabla 2.3-109), se presenta un cuadro con los procedimientos desarrollados en la metodología y las fuentes bibliográficas empleadas para la realización de los trabajos.

Tabla 2.3-109. Procedimientos y Fuentes de Información Empleadas

Objetivo	Procedimiento	Fuente
Caracterización general climática y geomorfológica.	Revisión bibliográfica.	Suelos de Chile. (Luzio y Casanova., 2010)
Descripción física de los perfiles.	Descripción del perfil sobre la base de calicatas.	Manual de Edafología (Casanova M. 2004). Pauta para el Estudio de Suelos. (SAG., 2011)
Determinación de Clases de Capacidad de Uso.	Calicatas, relieve, clima. Aptitudes y limitaciones.	Pauta para el Estudio de Suelos. (SAG., 2011)
Análisis y evaluación de los datos	Información obtenida mediante revisión bibliográfica y resultados obtenidos en terreno	Suelos de Chile. (Luzio y Casanova, 2010) Manual de Edafología (Casanova M. 2004). Pauta para el Estudio de Suelos. (SAG., 2011)

2.3.6.4. Resultados y Análisis

2.3.6.4.1. Antecedentes Bibliográficos

Suelos del desierto de la segunda región corresponden a suelos de los órdenes Aridisoles (suelos poco evolucionados debido a la aridez, en regiones interiores), Entisoles (suelos recientes con poca evolución, preferentemente situados en la costa), con un predominio de los suelos Aridisoles. En general corresponden a suelos delgados en su mayoría (20 a 40 cm). En el sector costero los Entisoles son delgados y muy estratificados, pudiendo presentar una gran pedregosidad en el perfil debido a su origen coluvial (materiales provenientes de derrumbes). En el Valle Central los Aridisoles derivan de sedimentos gruesos y en los sectores más costeros y en la alta cordillera se ubican los salares, en donde se ha producido una fuerte sedimentación debido a la desaparición de lagos interiores, en consecuencia los suelos originados son muy estratificados y con altos tenores salinos y pH elevado.

Según Luzio y Casanova (2010), los suelos de altura de zonas desérticas comprenden las áreas ubicadas por encima de la cota 1.500 msnm, cuya característica dominante es el régimen térmico de los suelos, que se ha considerado como crítico, el cual unido al permanente déficit hídrico ha dado origen a un régimen orgánico de desarrollo débil. De esta manera un gran porcentaje de los suelos se les puede considerar como esqueléticos, delgados y con bajos contenidos de materia orgánica.

En numerosos planos y cuencas de deposición se desarrollan suelos formados por sucesivos aportes de sedimentos de muy diferente naturaleza mineralógica a causa de los arrastres producidos por las lluvias torrenciales de corta duración. Estos suelos muestran una clara estratificación producto de estas sedimentaciones pero mantienen la característica de escaso desarrollo que domina en toda la región. Se trata de suelos de texturas gruesas con gravas y estructura masiva o de grano simple.

Los suelos de la Depresión Intermedia de zonas desérticas, se caracterizan por que se encuentra ubicados en un régimen de humedad arídico y los suelos presentan escaso desarrollo aun cuando es posible encontrar suelos con horizontes cámbico, cálcico y petrocálcico. Son de granulometría media a gruesa con estratificación marcada, lo cual determina que pueda existir un incremento de arcilla en el horizonte cámbico. En el caso de las pampas salinas, estas constituyen amplias áreas con elevada concentración salina cuyo origen está relacionado con importantes procesos de sedimentación pleistocénicos.

Los suelos de la Cordillera de la Costa de zonas desérticas, se caracterizan por presentar una gran variabilidad en cuanto a textura, pedregosidad, profundidad como en color y grado de desarrollo. Sin embargo, una característica común a la mayoría de ellos es la marcada influencia coluvial proveniente de su ubicación en pendientes. Muchos suelos son esquelético-francos a través de todo el perfil.

En las zonas costeras, las terrazas marinas se pueden diferenciar en: suelos de escaso desarrollo, suelos con horizontes argílicos y suelos sobre sedimentos calcáreos. Los suelos de escaso desarrollo, corresponden a dunas estabilizadas en terrazas bajas e intermedias casi planas y con pendiente uniforme. Estos suelos son profundos, de texturas gruesas (franco arenosa y arenosa) a través de todo el perfil, con baja capacidad de retención de agua y un contenido de materia orgánica que no excede 1%. En terrazas marinas más altas correspondientes al Plioceno, se encuentran suelos con horizontes argílico de iluviación de arcillas y estructura fuerte a través de todo el perfil. En algunos sectores los horizontes argílicos han sido recargados con Na^+ , probablemente a causa de las numerosas transgresiones marinas que han ocurrido en el área. En este caso se trata de horizontes nátrico.

2.3.6.4.2. Descripción de Suelos

Para la descripción del componente suelo, se realizaron calicatas dentro de los 4 sectores que conforman el área de influencia con el objeto de determinar las unidades homogéneas que lo conforman. A continuación, en la Tabla 2.3-110 se presentan los puntos de muestreo realizados a lo largo del trazado de las obras del proyecto. En el Anexo 2.3-12: “Puntos de muestreo Edafología”, se presenta un plano con los puntos antes mencionados

Tabla 2.3-110. Ubicación de los Puntos de Muestreo de Suelos en Coordenadas UTM (Datum: WGS 84; Huso: 19S)

Sector	Calicata	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Altitud (msnm)
Sector RT	Planta-Mina	513.927	7.544.473	2.978
	Canaleta Planta - Talabre	518.177	7.546.075	2.681
Sector Tranque Talabre	Talabre 1	576.313	7.524.152	2.495
	Talabre 2	527.697	7.516.667	2.505
Sector Planta Desaladora	Planta Desaladora	374.183	7.544.521	71
	Planta Desaladora	374.177	7.544.512	70
Sector Planta Desaladora -RT	A1	375.669	7.545.047	679
	A2	380.958	7.547.170	1.273
	A3	412.348	7.537.462	1.436
	Río Loa	442.250	7.536.235	1.155
	A4	455.668	7.537.462	1.370
	A5	480.625	7.536.206	1.940
	A6	496.696	7.540.114	2.550
	A7	508.512	7.552.850	3.130

A continuación, se entrega la información obtenida en terreno, junto con una clasificación técnica (capacidad de uso, clase de drenaje, aptitud frutal, aptitud agrícola, clase de riego y erosión) y los horizontes maestros de cada uno de los perfiles, para diferentes sectores que conforman el área de influencia del proyecto.

2.3.6.4.3. Sector RT

- **Planta Mina**

Está ubicado en mina Radomiro Tomic. Se observa un alto grado de intervención antrópica, un alto porcentaje de encostramiento y pedregosidad superficial. Superficie ligeramente ondulada con un elevado contenido de sales formando la costra. Se asocia a la Unidades Homogéneas de Suelo de Llanura Depositacional.

Este sector cuenta con un cambio de uso industrial aprobado, el cual se adjunta en el Capítulo 10.

- **Canaleta Planta Talabre**

Por su ubicación y composición, la Unidad Homogénea de Suelos (UHS) corresponde a una Llanura Depositacional. Se observa una alta pedregosidad superficial en todo el tramo que será atravesado por la canaleta; sin embargo, es posible observar la presencia moderada de arcillas. La ubicación geográfica y descripción de la calicata realizada en este sector es la siguiente:

Localización: E 518.177 m – N 7.546.075 m

Altura: 2.681 msnm

Pendiente: 0 – 3%

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la capacidad de uso, se presentan en la Tabla 2.3-111, Fotografía 2.3-1, Fotografía 2.3-2 y Tabla 2.3-112, respectivamente.

Tabla 2.3-111. Características del Pedón - Calicata Sector RT-Tranque Talabre

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 - 10	Pardo claro 7.5 YR (6/3) en seco y pardo oscuro 7.5 YR (3/3) en húmedo; areno francoso; gravas finas y medias abundantes (muy gravoso); bloques subangulares finos y medios débiles; poros finos abundantes; ligeramente efervescente al aplicar HCl; se observa encostramiento superficial y fragmentos en superficie (gravas finas, medias, gruesas y guijarros) mayor al 50% (clase 6), límite lineal gradual.
2C 10 – 28	Rosado 7.5 YR (7/3) en seco y pardo oscuro 7.5 YR (3/3) en húmedo; gravas finas, medias y gruesas abundantes; gravoso; poros finos abundantes; ligeramente efervescente al aplicar HCl; límite ondulado gradual.
3C 28+	Rosado 7.5 YR (7/3) en seco y pardo oscuro 7.5 YR (3/3) en húmedo; areno francoso; gravas finas, medias y gruesas abundantes, guijarros tabulares comunes; ligeramente efervescente al aplicar HCl.

Fotografía 2.3-1. Entorno Sector RT-Tranque Talabre



Fotografía 2.3-2. Calicata Sector RT-Tranque Talabre



Tabla 2.3-112. Capacidad de Uso -Sector RT-Tranque Talabre

Capacidad de Uso: VIII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje: 2	Clase de riego: 5
Aptitud Frutal: E	Erosión: Severa

Sector Tranque Talabre

- **Calicata Talabre 1**

La calicata Talabre 1 se ubica en una posición de piedmont, asociado a la UHS de Llanura Depositacional. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

Localización: E 576.313 m – N 7.524.152 m

Altura: 2.495 msnm

Pendiente: 1 – 3%, casi plana

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Clase de Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-113, Fotografía 2.3-3, Fotografía 2.3-4, y Tabla 2.3-114, respectivamente.

Tabla 2.3-113. Características del Pedón - Calicata Talabre 1

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 13	Pardo claro 7.5 YR (6/3) en seco y pardo 7.5 YR (5/4) en húmedo; areno francoso; bloques angulares finos y medios moderados; gravas finas abundantes, medias comunes; poros finos abundantes; violenta reacción al HCl; se observan fragmentos de tosca (tamaño grava fina, media, gruesa y guijarro) y cristales de sal de tamaño arena mezclados en el perfil; superficie con encostramiento; fragmentos en superficie (gravas finas, medias y gruesas) cubriendo menos del 50% de la superficie (clase 5); límite lineal gradual.
2Ckm 13 – 23	Rosado 7.5 YR (7/3) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; tosca salina moderadamente resistente al puñal, compuesta por gravas finas y arenas; violenta reacción al HCl; tosca se disuelve con facilidad al humectarla; límite quebrado gradual.
3Ckm 23+	Rosado 7.5 YR (7/4) en seco y pardo 7.5 YR (5/4) en húmedo; tosca muy resistente al puñal; matriz salina; violenta reacción al HCl; muy resistente al humectarla.

Fotografía 2.3-3. Entorno Calicata Talabre 1



Fotografía 2.3-4. Calicata Talabre 1



Tabla 2.3-114. Capacidad de Uso -Calicata Talabre 1

Capacidad de Uso: VIIIs	Aptitud Agrícola: 7
Clase de Drenaje: 5	Clase de riego: 4
Aptitud Frutal: E	Erosión: No aparente

- **Calicata Talabre 2**

La calicata Talabre 2 se ubica en una posición de piedmont, asociado a la UHS de Llanura Depositacional. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

Localización: E 527.697 m – N 7.516.667 m

Altura: 2.505 msnm

Pendiente: 1 – 3%, casi plana.

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Clase de Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-115, Fotografía 2.3-5, Fotografía 2.3-6, y Tabla 2.3-116, respectivamente.

Tabla 2.3-115. Características del Pedón - Calicata Talabre 2

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 5	Rosado 7.5 YR (7/4) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; arenoso; sin estructura; fragmentos de tosca (tamaño gravas finas y medias abundantes) en todo el horizonte; poros finos abundantes; violenta reacción al HCl; fragmentos de tosca en superficie (tamaño grava gruesa abundante, guijarros comunes); límite lineal gradual.
2C 5 – 15	Gris rosado 7.5 YR (7/2) en seco y gris café claro 10 YR (6/2) en húmedo; tosca salina moderadamente resistente al puñal; se disuelve con facilidad al humectarla; fuerte reacción al HCl; límite quebrado gradual.
3C 15+	Tosca salina muy resistente al puñal; se disuelve con dificultad al humectarla; ligera reacción al HCl.

Fotografía 2.3-5. Entorno Calicata Talabre2



Fotografía 2.3-6. Calicata Talabre2



Tabla 2.3-116. Capacidad de Uso – Calicata Talabre 2

Capacidad de Uso: VIII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje: 6	Clase de riego: 5
Aptitud Frutal: E	Erosión: Ligera

Sector Planta Desaladora

En esta ubicación se realizaron 2 calicatas (posición ladera y posición cárcava) por la variabilidad e irregularidad del terreno. Esta irregularidad está dada por su ubicación (cono de deyección), la que determina una gran cantidad de cárcavas dadas por el paso eventual del agua con gran energía. Este punto está ubicado en UHS de Terrazas Costeras.

• **Calicata Posición Ladera**

La calicata Posición Ladera se ubica en una en una zona sobre las cárcavas, en el lugar denominado km 14. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 374.183 m – N 7.544.521 m
- Altura: 71 msnm
- Pendiente: 15 - 25% con múltiples y profundas cárcavas.

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Clase de Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-117, Fotografía 2.3-7, Fotografía 2.3-8 y Tabla 2.3-118 respectivamente.

Tabla 2.3-117. Características del Pedón - Calicata Posición Ladera

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 30	Gris rosáceo 7.5 YR (7/2) y pardo 7.5 YR (5/2) en húmedo; franco; bloques subangulares medios y gruesos moderados; poros finos abundantes; gravas finas, medias y gruesas abundantes, guijarros escasos; abundante presencia de cristales de sal; material aluvio-columial por la alta heterogeneidad de partículas; en superficie se observa encostramiento superficial; vetas de sal en todo el perfil; gravas (finas, medias y gruesas) y guijarros ocupan del 3 al 15% de la superficie (clase 4); límite lineal gradual.
Cr 30+	Rosado 7.5 YR (7/3) en seco y pardo muy oscuro 7.5 YR (2.5/3) en húmedo; guijarroso tabular con gravas finas, medias y gruesas comunes con alto grado de meteorización; ligeramente efervescente al aplicar HCl; matriz franco arcillosa; se observan cristales de sal comunes.

Fotografía 2.3-7. Entorno Calicata Posición Ladera



Fotografía 2.3-8. Calicata Posición Ladera



Tabla 2.3-118. Capacidad de Uso -Calicata Posición Ladera

Capacidad de Uso: VIIIs	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje: 5	Clase de riego: 5
Aptitud Frutal: E	Erosión: Severa

• **Calicata Posición Cárcava**

La calicata Posición Cárcava se ubica en una zona baja, sobre las cárcavas, en el lugar denominado km 14. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 374.177 m – N 7.544.512 m
- Altura: 70 msnm
- Pendiente: 15 - 25% con múltiples y profundas cárcavas.
- Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-119, Fotografía 2.3-9, Fotografía 2.3-10 y Tabla 2.3-120 respectivamente.

Tabla 2.3-119. Características del Pedón - Calicata Posición Cárcava

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 12	Pardo 7.5 YR (5/2) en seco y pardo muy oscuro 7.5 YR (2.5/3) en húmedo; suelo gravoso con matriz areno francosa; ligeramente efervescente al aplicar HCl; límite lineal claro.
2C 12 – 25	Gris oscuro 7.5 YR (4/1) en seco y pardo muy oscuro 7.5 YR (2.5/3) en húmedo; arenoso; gravas finas y medias abundantes, gruesas escasas; ligeramente efervescente al aplicar HCl; límite lineal claro.
3C 25+	Gris 7.5 YR (4/1) en seco y pardo oscuro 7.5 YR (3/4) en húmedo; gravoso; gravas finas, medias y gruesas abundantes, guijarros escasos; alta resistencia al puñal; ligeramente efervescente al aplicar HCl; matriz areno francosa.

Fotografía 2.3-9. Entorno Calicata Posición Cárcava



Fotografía 2.3-10. Calicata Posición Cárcava



Tabla 2.3-120. Capacidad de Uso -Calicata Posición Cárcava

Capacidad de Uso: VIII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje:6	Clase de riego: 6
Aptitud Frutal: E	Erosión: Severa

Sector Planta Desaladora – Sector RT

• **Calicata A1**

La calicata A1 se ubica en posición de montaña con pendientes altas y suelos con gran heterogeneidad de partículas por su origen coluvial. Se le considera suelos de Sector Costero como UHS. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 375.669 m – N 7.545.047 m
- Altura: 679 msnm
- Pendiente: Mayor a 50% (de montañas)

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-121, Fotografía 2.3-11, Fotografía 2.3-12 y Tabla 2.3-122 respectivamente.

Tabla 2.3-121. Características del Pedón - Calicata A1

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 70	Pardo 7.5 YR (5/2) en seco y rojizo oscuro 5 YR (3/4) en húmedo; sin estructura; gravas finas, medias y gruesas abundantes (extremadamente gravoso); matriz arenosa; fuerte reacción al HCl; límite ondulado difuso.
C 70 – 140	Pardo 7.5 YR (5/2) en seco y pardo rojizo oscuro 5 YR (3/3) en húmedo; franco; bloques angulares medios moderados; guijarros abundantes, gravas finas, medias y gruesas comunes; fuerte reacción al HCl; límite ondulado difuso.
R 140+	Roca granítica muy meteorizada; gravas finas, medias, gruesas y guijarros comunes; ligeramente efervescente al aplicar HCl.

Fotografía 2.3-11. Superficie Calicata A1



Fotografía 2.3-12. Calicata A1



Tabla 2.3-122. Capacidad de Uso- Calicata A1

Capacidad de Uso: VIII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje: 6	Clase de riego: 6
Aptitud Frutal: E	Erosión: Severa

• **Calicata A2**

La calicata A2 se ubica en posición de cerro, cordillera de la costa interior, UHS de Sector Costero con un mayor desarrollo del perfil. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 380.958 m – N 7.547.170 m.
- Altura: 1.273 msnm.
- Pendiente: 15 – 25%, moderadamente escarpada.

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-123, Fotografía 2.3-13, Fotografía 2.3-14 y Tabla 2.3-124 respectivamente.

Tabla 2.3-123. Características del Pedón - Calicata A2

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 10	Pardo claro 7.5 YR (6/4) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; franco limoso; bloques angulares medios y gruesos moderados; gravas finas abundantes, medias comunes; fuerte reacción al HCl; poros finos abundantes; se observan vetas de sal en el perfil y cristales de sal recubriendo agregados; se observa encostramiento superficial y fragmentos en superficie (gravas finas, medias y gruesas abundantes) mayores al 15 % (clase 5); límite ondulado gradual.
B 10 – 40	Pardo claro 7.5 YR (6/3) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; areno francoso; bloques angulares medios débiles; gravas finas y medias abundantes; ligeramente efervescente al aplicar HCl; poros finos abundantes; se observan cristales de sal en el perfil; límite quebrado gradual.
Cm 40+	Pardo claro 7.5 YR (6/3) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; tosca muy resistente al puñal compuesta por arenas gruesas y gravas finas cementadas por sal, la cual se desarma con facilidad al aplicar agua.

Fotografía 2.3-13. Entorno Calicata A2



Fotografía 2.3-14. Calicata A2



Tabla 2.3-124. Capacidad de Uso - Calicata A2

Capacidad de Uso: VII s	Aptitud Agrícola: 7
Clase de Drenaje: 3	Clase de riego: 6
Aptitud Frutal: E	Erosión: Severa

• **Calicata A3**

La calicata A3 se ubica en posición depresión intermedia, asociado a la UHS de Llanura Depositacional. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 412.348 m – N 7.537.462 m
- Altura: 1.436 msnm
- Pendiente: 1 - 3 %, casi plano.

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Clase de Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-125, Fotografía 2.3-15, Fotografía 2.3-16, Fotografía 2.3-17 y Tabla 2.3-126 respectivamente.

Tabla 2.3-125. Características del Pedón - Calicata A3

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 12	Pardo claro 7.5 YR (6/4) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; franco; bloques angulares medios y gruesos moderados recubiertos por cristales de sal; gravas finas comunes; sin reacción al HCl; presencia de encostramiento y concentraciones salinas en superficie; fragmentos en superficie (gravas finas, medias y gruesas abundantes, guijarros comunes) que no superan el 50% (clase 5); límite lineal gradual.
B 12 – 30	Gris rosáceo 7.5 YR (6/2) en seco y pardo 7.5 YR (4/3) en húmedo; areno francoso; bloques angulares medios y gruesos moderados; poros finos abundantes; gravas finas y medias comunes; sin reacción al HCl; se observan gran cantidad de discontinuidades en el horizonte; límite ondulado gradual.
2C 30 – 40	Gris rosáceo 7.5 YR (7/2) en seco y pardo amarillento claro 10 YR (6/4) en húmedo; gravoso (gravas finas) con matriz arenosa; sin reacción al HCl; cementado por sal y moderadamente resistente al puñal; se desarma con facilidad al aplicar agua; límite lineal gradual.
3C 40+	Gris rosáceo 7.5 YR (7/2) en seco y pardo 10 YR (4/3) en húmedo; tosca salina resistente al puñal; matriz arenosa cementada por sal que se desarma con facilidad al humectar; gravas finas y medias comunes; se observan lamelas de sal.

Fotografía 2.3-15. Entorno Calicata A3



Fotografía 2.3-16. Calicata A3



Fotografía 2.3-17. Lamela de Sal Observada en Calicata A3



Tabla 2.3-126. Capacidad de Uso -Calicata A3

Capacidad de Uso: VII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje: 3	Clase de riego: 5
Aptitud Frutal: E	Erosión: No aparente

- **Calicata río Loa**

Con el objetivo de obtener una mayor cantidad de información para una mejor caracterización del trazado, se realizó una calicata adicional en el río, en la terraza más cercana al cauce. Este sitio corresponde a una Terraza Aluvial. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 442.250 m – N 7.536.235 m
- Altura: 1.155 msnm
- Pendiente: 1 – 3%, casi plana.

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-127, Fotografía 2.3-18, Fotografía 2.3-19 y Tabla 2.3-128 respectivamente.

Tabla 2.3-127. Características del Pedón– Calicata Río Loa

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 10	Pardo oscuro 7.5 YR (3/4) en seco y pardo muy oscuro 7.5 YR (2.5/3) en húmedo; limoso; estructura laminar muy grueso moderada; raíces finas comunes; poros finos comunes; violenta reacción al HCl; límite lineal claro.
2B 10 – 25	Pardo 7.5 YR (4/4) en seco y pardo oscuro 7.5 YR (3/3) en húmedo; franco limoso; bloques subangulares medios y gruesos moderados; raíces finas escasas; poros finos abundantes; violenta reacción al HCl; límite lineal gradual.
3B 25 – 40	Pardo 7.5 YR (5/2) en seco y pardo oscuro 7.5 YR (3/4) en húmedo; areno francoso; bloques subangulares finos y medios débiles; raíces finas y medias abundantes; poros finos abundantes; gravas finas y medias abundantes; fuerte reacción al HCl; límite lineal claro.
4B 40 – 55	Pardo 7.5 YR (5/2) en seco y pardo muy oscuro 7.5 YR (2.5/3) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares medios y gruesos moderados; raíces finas abundantes, medias escasas; gravas finas comunes; fuerte reacción al HCl; límite lineal claro.
C 55+	Pardo 7.5 YR (4/4) en seco y pardo oscuro 7.5 YR (3/4) en húmedo; arenoso; sin estructura; raíces medias abundantes; poros finos abundantes; gravas finas abundantes, medias escasas; fuerte reacción al HCl.

Fotografía 2.3-18. Entorno Calicata Río Loa



Fotografía 2.3-19. Calicata Río Loa



Tabla 2.3-128. Capacidad de Uso -Calicata Río Loa

Capacidad de Uso: Vs	Aptitud Agrícola: 7
Clase de Drenaje: 3	Clase de riego: 5
Aptitud Frutal: E	Erosión: Ligera

- **Calicata A4**

La calicata A4 se ubica en posición depresión intermedia, asociado a la UHS de Llanura Deposicional. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 455.668 m – N 7.537.462 m
- Altura: 1.370 msnm
- Pendiente: 2 – 5%, ligeramente ondulada.

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-129, Fotografía 2.3-20, Fotografía 2.3-21 y Tabla 2.3-130 respectivamente.

Tabla 2.3-129. Características del Pedón - Calicata A4

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 - 25	Pardo claro 7.5 YR (6/4) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; franco; bloques angulares medios moderados; poros finos comunes; gravas finas y medias abundantes; fuerte reacción al HCl; se observa encostramiento superficial; fragmentos en superficie (gravas finas, medias, gruesas y guijarros) superan el 50% (clase 6); límite ondulado gradual.
Cm 25+	Pardo claro 7.5 YR (6/3) en seco y pardo 7.5 YR(4/4) en húmedo; tosca gravosa (gravas finas abundantes, medias escasas) con matriz arenosa cementada por sal; ligera reacción al HCl.

Fotografía 2.3-20. Entorno Calicata A4



Fotografía 2.3-21. Calicata A4



Tabla 2.3-130. Capacidad de Uso -Calicata A4

Capacidad de Uso: VIII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje:2	Clase de riego: 5
Aptitud Frutal: E	Erosión: No aparente

• **Calicata A5**

La calicata A5 se ubica en posición depresión intermedia, asociado a la UHS de Llanura Deposicional. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 480.625 m – N 7.536.206 m
- Altura: 1.940 msnm
- Pendiente: 1 – 3%, casi plana.

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-131, Fotografía 2.3-22, Fotografía 2.3-23 y Tabla 2.3-132 respectivamente.

Tabla 2.3-131. Características del Pedón - Calicata A5

Profundidad (cm)	Descripción
<p style="text-align: center;">A 0-12</p>	<p>Pardo claro 10 YR (6/3) en seco y pardo amarillento oscuro 10 YR (4/6) en húmedo; areno francoso; bloques angulares medios débiles; poros finos comunes; gravas finas y medias abundantes, gruesas comunes; fuerte reacción al HCl; se observa encostramiento superficial; fragmentos en superficie (gravas finas, medias y gruesas abundantes, guijarros comunes) superan el 50% (clase 6); límite lineal gradual.</p>
<p style="text-align: center;">Cm 12+</p>	<p>Pardo claro 7.5 YR (6/4) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; matriz endurecida muy gravosa (finas y medias abundantes, gruesas comunes) con guijarros comunes y mediana resistencia al puñal; fuerte reacción al HCl.</p>

Fotografía 2.3-22. Entorno Calicata A5



Fotografía 2.3-23. Calicata A5



Tabla 2.3-132. Capacidad de Uso -Calicata A5

Capacidad de Uso: VIII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje: 2	Clase de riego: 6
Aptitud Frutal: E	Erosión: Moderada

- **Calicata A6**

La calicata A6 se ubica en precordillera, asociado a la UHS de Suelos Esqueletales. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 496.696 m – N 7.540.114 m
- Altura: 2.550 msnm
- Pendiente: Ligeramente ondulada (2 – 5%).

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-133, Fotografía 2.3-24, Fotografía 2.3-25 y Tabla 2.3-134 respectivamente.

Tabla 2.3-133. Características del Pedón - Calicata A6

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 25	Rosado 7.5 YR (7/3) en seco y pardo oscuro 7.5 YR (5/6) en húmedo; areno francoso; sin estructura; gravas finas y medias comunes; se observan cristales de sal de tamaño arena gruesa en todo el perfil; ligeramente efervescente al aplicar HCl; se observa encostramiento superficial y fragmentos en superficie (gravas finas, medias y gruesas) ocupando menos de 50% (clase 5), límite irregular claro.
Cm 25 +	Rosado 7.5 YR (7/3) en seco y pardo claro 7.5 YR (6/3) en húmedo; tosca salina muy resistente al puñal con abundantes gravas finas y medias; tosca moderadamente resistente al humectarla; ligeramente efervescente al aplicar HCl.

Fotografía 2.3-24. Entorno Calicata A6



Fotografía 2.3-25. Calicata A6



Tabla 2.3-134. Capacidad de Uso -Calicata A6

Capacidad de Uso: VIII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje: 2	Clase de riego: 5
Aptitud Frutal: E	Erosión: No aparente

• **Calicata A7**

La calicata A7 se ubica en precordillera andina, asociado a la UHS de Suelos Esqueletales. La ubicación geográfica y descripción de esta calicata es la siguiente:

- Localización: E 508.512 m – N 7.552.850 m.
- Altura: 3.130 msnm
- Pendiente: Moderadamente ondulada 8 – 15%.

Las características del pedón, fotografías del entorno y del perfil, además de la Capacidad de Uso, se presentan en la Tabla 2.3-135, Fotografía 2.3-26, Fotografía 2.3-27 y Tabla 2.3-136 respectivamente.

Tabla 2.3-135. Características del Pedón - Calicata A7

Profundidad (cm)	Descripción
A 0 – 20	Pardo claro 7.5 YR (6/4) en seco y pardo 7.5 YR (4/4) en húmedo; franco arcillo arenoso; bloques subangulares finos y medios, moderados; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; gravas finas y medias abundantes; poros finos abundantes; violenta reacción al HCl; se observa encostramiento superficial y fragmentos en superficie (gravas finas, medias y gruesas) mayor al 50% (clase 6).
Cr1 20 – 42	Gravas tabulares medias y gruesas abundantes, finas comunes; acumulaciones salinas rodeando las gravas; no se observa matriz; límite lineal gradual
Ckr2 42+	Gravas tabulares finas y medias comunes, gruesas escasas; poros finos abundantes; matriz arenosa; cristales de sal recubren gravas, ligeramente efervescente al aplicar HCl.

Fotografía 2.3-26. Superficie Calicata A7



Fotografía 2.3-27. Calicata A7



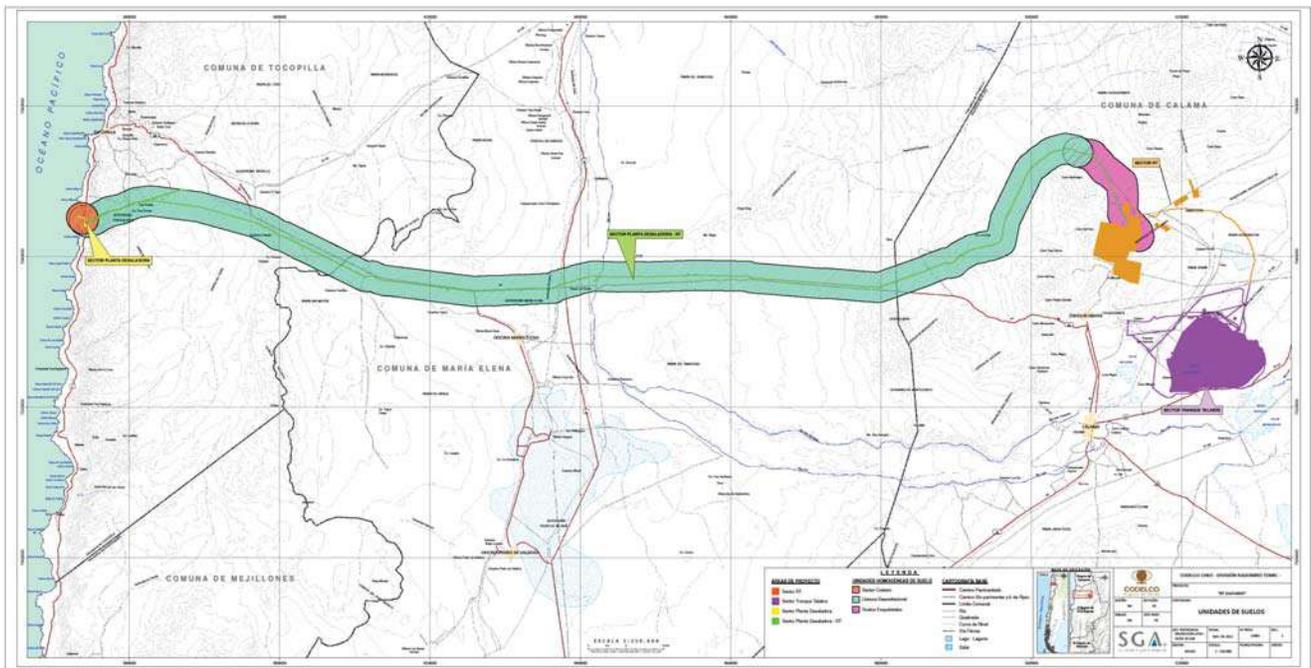
Tabla 2.3-136. Capacidad de Uso -Calicata A7

Capacidad de Uso: VIII	Aptitud Agrícola: 8
Clase de Drenaje: 5	Clase de riego: 6
Aptitud Frutal: E	Erosión: Ligera

2.3.6.4.4. Mapa de Unidades Homogéneas de Suelo

Dados los resultados tanto de la etapa de gabinete como de terreno, en el Anexo 2.3-13 se encuentra el plano con el mapa de suelo con las unidades respectivas a escala 1:150.000. Además en la Figura 2.3-98, se observan las Unidades de Suelo por sector.

Figura 2.3-98. Unidades Homogéneas de Suelo



2.3.6.5. Conclusiones

Luego de la revisión de los antecedentes bibliográficos y del levantamiento agrológico de los suelos comprendidos en el área de estudio del Proyecto, es posible concluir que:

Dados los regímenes de humedad y temperatura, la totalidad de los suelos estudiados corresponderían al Orden de los Aridisoles y Entisoles, según Soil Survey Staff (2006). Con un amplio predominio de los suelos Aridisoles, salvo en los sectores costeros.

En la mayoría de los casos, corresponden a suelos aluviales o aluvio-coluviales delgados y con encostramiento superficial, sometidos en el pasado y presente a erosión severa ocasional por el agua y el viento, debido a: la prácticamente nula vegetación existente; los vientos predominantes y eventos altiplánicos con escurrimientos aluvionales.

Sector RT

De acuerdo a la información levantada en terreno, el área estudiada corresponde en su totalidad a suelos industriales, altamente intervenidos.

Sector Tranque Talabre

De acuerdo con los antecedentes bibliográficos y la información levantada en terreno, el área estudiada corresponde a suelos altamente intervenidos con Capacidad de Uso VIIs y VIII. Es decir, son suelos sin valor silvoagropecuario, no aptos para el riego.

Sector Planta Desaladora

De acuerdo con los antecedentes bibliográficos y la información levantada en terreno, el área estudiada corresponde a suelos altamente intervenidos con Capacidad de Uso VIIs y VIII. Es decir, son suelos sin valor silvoagropecuario, no aptos para el riego.

Sector Planta Desaladora - RT

De acuerdo con los antecedentes bibliográficos y la información levantada en terreno, el área estudiada corresponde a suelos altamente intervenidos con Capacidad de Uso Vs, VIIs y VIII. Es decir, son suelos sin valor silvoagropecuario.

2.3.6.6. Referencias Bibliográficas

- Casanova, M. 2004. Manual de Edafología. Guía de Clases Prácticas. Facultad de Ciencias Agrológicas. Departamento de Ingeniería y Suelos. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 74p.
- Houston J. 2006. Variability of precipitation in the Atacama Desert: Its causes and hydrological impact. *International Journal of Climatology*, 26: 2.181-2198.
- Houston J. and Hartley A. 2003. The central Andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of hyper-aridity in the Atacama Desert. *International Journal of Climatology*, 23: 1.453-1.464.
- Luzio, W., Casanova, M. y Seguel, O. 2010. Suelos de la Zona Desértica (Desde 18° LS hasta 29° LS). pp.: 39-80. In: *Suelos de Chile*. (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile.
- Munsell Color. 2000. *Munsell Soil Color Charts*. GretagMacbeth. Revised Washable Edition.
- Risacher F., Alonso H. y Salazar, C. 2003. The origin of brines and salts in Chilean salars: a hydrochemical review. *EarthScienceReviews*, 63: 249-293.
- Van Wambeke, A. y Luzio, W. 1982. Determinación de los regímenes de humedad y temperatura de los suelos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*, 42(2): 149-159.