



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
 PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2**

**CAPÍTULO 3.2.7
 “LÍNEA DE BASE HIDROLOGÍA”**

TQB14016-REP-MA-0255

ÍNDICE

3	LÍNEA DE BASE	3.2.7-1
3.2	MEDIO FÍSICO	3.2.7-1
3.2.7	HIDROLOGÍA	3.2.7-1
3.2.7.1	Introducción	3.2.7-1
3.2.7.2	Objetivos	3.2.7-4
3.2.7.2.1	Objetivo General	3.2.7-4
3.2.7.2.2	Objetivos Específicos	3.2.7-4
3.2.7.3	Determinación y Justificación del Área de Influencia	3.2.7-4
3.2.7.3.1	Generalidades	3.2.7-4
3.2.7.3.2	Definición Área de Influencia	3.2.7-5
3.2.7.4	Metodología	3.2.7-10
3.2.7.4.1	Caracterización cuencas Área de Influencia	3.2.7-10
3.2.7.4.2	Caracterización climática.....	3.2.7-10
3.2.7.4.3	Escorrentía Superficial	3.2.7-12
3.2.7.5	Resultados	3.2.7-13
3.2.7.5.1	Caracterización cuencas Área de Influencia.....	3.2.7-13
3.2.7.5.2	Caracterización climática.....	3.2.7-26
3.2.7.5.3	Escorrentía Superficial	3.2.7-65
3.2.7.6	Síntesis	3.2.7-99
3.2.7.7	Bibliografía	3.2.7-101

TABLAS

Tabla 3.2.7-1.	Características geomorfológicas de la cuenca de la quebrada Choja y sus sub cuencas	3.2.7-16
Tabla 3.2.7-2.	Características geomorfológicas cuenca quebrada Guatacondo y sus sub cuencas	3.2.7-19

Tabla 3.2.7-3.	Características geomorfológicas cuenca quebrada Paguana.....	3.2.7-21
Tabla 3.2.7-4.	Características geomorfológicas sub-sub cuencas Área Mina	3.2.7-23
Tabla 3.2.7-5.	Estaciones con registros de Precipitaciones	3.2.7-30
Tabla 3.2.7-6.	Precipitación media mensual y anual (mm).....	3.2.7-33
Tabla 3.2.7-7.	Análisis de frecuencia de Precipitaciones anuales (mm).....	3.2-36
Tabla 3.2.7-8.	Precipitación anual en Área de Influencia (mm)	3.2.7-38
Tabla 3.2.7-9.	Estación Quebrada Blanca – series históricas utilizadas para la distribución mensual	3.2.7-38
Tabla 3.2.7-10.	Distribución mensual de Precipitación (mm) estación Quebrada Blanca	3.2.7-39
Tabla 3.2.7-11.	Distribución mensual de Precipitación (mm) cuenca quebrada Choja ...	3.2.7-40
Tabla 3.2.7-12.	Distribución mensual de Precipitación (mm) cuenca quebrada Guatacondo	3.2.7-40
Tabla 3.2.7-13.	Distribución mensual de Precipitación (mm) cuenca quebrada Paguana	3.2.7-41
Tabla 3.2.7-14.	Distribución mensual de Precipitación (mm) sub área Mina	3.2.7-41
Tabla 3.2.7-15.	Distribución mensual de Precipitación (mm) sub área Depósito Relaves	3.2.7-41
Tabla 3.2.7-16.	Elevación de la Línea de Nieves (L.N) y Radiación Teórica Máxima (RS máx.)	3.2.7-42
Tabla 3.2.7-17.	Resultados elevación de la Línea de Nieve estación Quebrada Blanca	3.2.7-44
Tabla 3.2.7-18.	Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) según período de retorno (años)	3.2.7-45
Tabla 3.2.7-19.	PMP estimada mediante métodos de Herschfield y Stöwahas (mm).....	3.2.7-48
Tabla 3.2.7-20.	Precipitaciones máximas en 24 hrs (mm) en Área de Influencia	3.2.7-48
Tabla 3.2.7-21.	Resumen Precipitaciones en Área de Influencia (mm)	3.2.7-49
Tabla 3.2.7-22.	Estaciones con registros de Temperatura	3.2.7-49
Tabla 3.2.7-23.	Temperatura media mensual y anual (°C).....	3.2.7-52
Tabla 3.2.7-24.	Temperatura media, máximas y mínimas mensuales (°C). Estación Quebrada Blanca.....	3.2.7-55
Tabla 3.2.7-25.	Resumen de Temperaturas medias en el Área de Influencia (°C)	3.2.7-55
Tabla 3.2.7-26.	Estaciones con registro de Humedad Relativa	3.2.7-56
Tabla 3.2.7-27.	Humedad Relativa (%) estación Quebrada Blanca – Área de Influencia	3.2.7-60
Tabla 3.2.7-28.	Estaciones con registro de Evaporación de Bandeja.....	3.2.7-61
Tabla 3.2.7-29.	Evaporación de Bandeja media mensual (mm)	3.2.7-62
Tabla 3.2.7-30.	Distribución mensual porcentual media de Evaporación	3.2.7-64
Tabla 3.2.7-31.	Resumen Evaporación de Bandeja en el Área de Influencia (mm).....	3.2.7-64

Tabla 3.2.7-32.	Resumen Evaporación de Lago en el Área de Influencia (mm)	3.2.7-65
Tabla 3.2.7-33.	Estaciones fluviométricas en el Área de Influencia.....	3.2.7-65
Tabla 3.2.7-34.	Ubicación puntos de monitoreo de Caudal superficial Área de Influencia.....	3.2.7-66
Tabla 3.2.7-35.	Caudales medios mensuales (l/s) y rendimiento específico (l/s/km ²). Estación Río Huatacondo en Copaquire DGA	3.2.7-68
Tabla 3.2.7-36.	Resumen curvas variación estacional Caudales medios mensuales (l/s). Estación Río Huatacondo en Copaquire	3.2.7-71
Tabla 3.2.7-37.	Análisis de frecuencia Caudales máximos anuales. Estación Huatacondo en Copaquire DGA.....	3.2.7-72
Tabla 3.2.7-38.	Caudales medios mensuales (l/s) y rendimiento específico (l/s/km ²). Estación QDH-2.....	3.2.7-73
Tabla 3.2.7-39.	Resumen Curvas de variación estacional Caudales medios mensuales (l/s). Estación QDH-2	3.2.7-75
Tabla 3.2.7-40.	Análisis monitoreo de Caudales en Área de Influencia.....	3.2.7-77
Tabla 3.2.7-41.	Puntos del modelo de Balance Hídrico relevantes para la Línea Base Hidrología	3.2.7-90
Tabla 3.2.7-42.	Flujos de salida en los puntos de interés en la cuenca de quebrada Choja situación pre-mina.....	3.2.7-93
Tabla 3.2.7-43.	Escorrentía superficial en los puntos de interés en la cuenca de quebrada Choja, situación pre-mina.....	3.2.7-94
Tabla 3.2.7-44.	Flujos de salida en los puntos de interés en la cuenca de quebrada Choja, situación Fin QB1.....	3.2.7-95
Tabla 3.2.7-45.	Escorrentía superficial en los puntos de interés en la cuenca de quebrada Choja, situación Fin QB1.....	3.2.7-95
Tabla 3.2.7-46.	Flujos de salida en los puntos situados en la cuenca de quebrada Guatacondo, situación pre-mina.....	3.2.7-96
Tabla 3.2.7-47.	Flujos de salida en los puntos situados en la cuenca de quebrada Paguana, situación pre-mina.....	3.2.7-97

FIGURAS

Figura 3.2.7-1.	Ubicación regional del Proyecto	3.2.7-3
Figura 3.2.7-2.	Cuencas, sub cuencas y sub-sub cuencas del Área de Influencia	3.2.7-8
Figura 3.2.7-3.	Sub-sub cuencas Área Mina	3.2.7-9
Figura 3.2.7-4.	Perfil topográfico cuenca quebrada Choja y sus sub cuencas.....	3.2.7-14
Figura 3.2.7-5.	Curvas hipsométricas cuenca quebrada Choja y sus sub cuencas	3.2.7-15
Figura 3.2.7-6.	Perfil topográfico cuenca quebrada Guatacondo y sus sub cuencas.....	3.2.7-18

Figura 3.2.7-7.	Curvas hipsométricas cuencas quebrada Guatacondo y sus sub cuencas	3.2.7-19
Figura 3.2.7-8.	Perfil topográfico cuenca quebrada Paguana.....	3.2.7-21
Figura 3.2.7-9.	Curva hipsométrica cuenca quebrada Paguana.....	3.2.7-21
Figura 3.2.7-10.	Curvas hipsométricas sub-sub cuencas Área Mina.....	3.2.7-23
Figura 3.2.7-11.	Sub-sub cuencas Área Mina, situación Fin QB1	3.2.7-25
Figura 3.2.7-12.	Mapa de isotermas de Temperatura media anual	3.2.7-28
Figura 3.2.7-13.	Mapa de isoyetas de Precipitación media anual.....	3.2.7-29
Figura 3.2.7-14.	Matriz de registro de Precipitaciones mensuales	3.2.7-31
Figura 3.2.7-15.	Curva regional de Precipitación media anual vs elevación	3.2.7-34
Figura 3.2.7-16.	Curvas regionales de Precipitación anual (según probabilidades de excedencia) vs elevación	3.2.7-37
Figura 3.2.7-17.	Distribución mensual de precipitación en estación Quebrada Blanca....	3.2.7-39
Figura 3.2.7-18.	Curvas regionales de Precipitación máxima vs. elevación, para distintos períodos de retorno.....	3.2.7-46
Figura 3.2.7-19.	Matriz de registro de Temperaturas	3.2.7-50
Figura 3.2.7-20.	Temperatura media mensual en estaciones con información disponible	3.2.7-51
Figura 3.2.7-21.	Curva regional de Temperatura media anual vs. elevación	3.2.7-53
Figura 3.2.7-22.	Registro de Temperatura media, máxima y mínima mensual estaciones Quebrada Blanca y Ujina	3.2.7-54
Figura 3.2.7-23.	Matriz de registro de Humedad Relativa	3.2.7-56
Figura 3.2.7-24.	Humedad Relativa media mensual.....	3.2.7-58
Figura 3.2.7-25.	Curva regional de Humedad Relativa media anual vs. elevación	3.2.7-59
Figura 3.2.7-26.	Registro de Humedad Relativa estación Quebrada Blanca. Valores medio, máximo medio y mínimo medio mensual	3.2.7-60
Figura 3.2.7-27.	Matriz de registro de Evaporación de Bandeja mensual.....	3.2.7-61
Figura 3.2.7-28.	Evaporación de Bandeja media mensual	3.2.7-62
Figura 3.2.7-29.	Curva regional de Evaporación de Bandeja media mensual vs. elevación	3.2.7-63
Figura 3.2.7-30.	Evaporación de Bandeja media mensual porcentual.....	3.2.7-64
Figura 3.2.7-31.	Ubicación geográfica de estaciones fluviométricas y de aforo en el Área de Influencia	3.2.7-67
Figura 3.2.7-32.	Serie histórica Caudal medio mensual. Estación Río Huatacondo en Copaquire (DGA).....	3.2.7-69
Figura 3.2.7-33.	Variación estacional del rendimiento medio mensual. Estación Río Huatacondo en Copaquire (DGA)	3.2.7-69

Figura 3.2.7-34.	Curvas de variación estacional de Caudales medios mensuales. Estación Río Huatacondo en Copaquire	3.2.7-70
Figura 3.2.7-35.	Ajuste análisis de frecuencia distribución Log Pearson III para Caudales máximos anuales	3.2.7-72
Figura 3.2.7-36.	Serie histórica Caudal medio mensual. Estación QDH-2.....	3.2.7-74
Figura 3.2.7-37.	Variación estacional del rendimiento medio mensual. Estación QDH-2.	3.2.7-74
Figura 3.2.7-38.	Curvas de variación estacional de los Caudales medios mensuales. Estación QDH-2.....	3.2.7-75
Figura 3.2.7-39.	Rango de variación y promedios de Caudal en puntos de monitoreo....	3.2.7-78
Figura 3.2.7-40.	Rendimiento unitario medio en puntos de monitoreo.....	3.2.7-79
Figura 3.2.7-41.	Variación estacional de Caudales monitoreados en las quebradas Blanca y Ramucho	3.2.7-82
Figura 3.2.7-42.	Variación estacional de Caudales monitoreados en las quebradas Huinquentipa y Guatacondo.....	3.2.7-82
Figura 3.2.7-43.	Flujos mensuales y su variación interanual – Caudales locales período 2010/2011 a 2013/2014	3.2.7-83
Figura 3.2.7-44.	Precipitación anual en los últimos años hidrológicos en las cercanías del Área de Influencia.....	3.2.7-84
Figura 3.2.7-45.	Modelo conceptual de Balance Hídrico	3.2.7-89
Figura 3.2.7-46.	Ubicación puntos del modelo de Balance Hídrico relevantes para Línea Base Hidrológica.....	3.2.7-91

ANEXOS

Anexo 3.2.7-1	Estudio de Hidrología y Balance Hídrico.
---------------	--



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2**

**CAPÍTULO 3.2.7
“LÍNEA DE BASE HIDROLOGÍA”**

TQB14016-REP-MA-255

3 LÍNEA DE BASE

3.2 MEDIO FÍSICO

3.2.7 Hidrología

3.2.7.1 Introducción

El Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2, de Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A. (CMTQB), está ubicado en la Región de Tarapacá de Chile, en el borde occidental del altiplano chileno, a una altura aproximada de 4.200 m s.n.m., a 21° de latitud sur, 68° 48' de longitud oeste y aproximadamente a 240 km al sureste de la ciudad costera de Iquique.

La actual faena minera Quebrada Blanca opera el yacimiento desde el año 1994. El proyecto opera como una mina a rajo abierto, con un proceso metalúrgico que incluye el chancado, lixiviación en pilas y botaderos, extracción por solvente (SX) y electro obtención (EW), generando como producto final cátodos de cobre de alta pureza, correspondiente a la Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca.

En el depósito se ha identificado la presencia de mineralización hipógena que se extiende bajo la superficie del rajo existente. El resultado de dicha exploración permite poner en marcha un plan de expansión de la mina, con un rajo extendido, un proceso por chancado, recuperación por flotación y un depósito de relaves, el cual corresponde al Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2 (desde ahora el Proyecto o QB2).

Para el desarrollo de la presente Línea de Base de la componente Hidrología, se utilizó como base la información presentada en el EIA “Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca” (en adelante QB1), además de aquellos estudios realizados por Golder Associates S.A. (en adelante Golder) para Compañía Minera Teck Quebrada Blanca (en adelante CMTQB). Dicha información corresponde a los siguientes estudios:

- Capítulo 3.2.7 – Línea de Base Hidrología, Estudio de Impacto Ambiental Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca (Teck, 2014).
- Plan de Manejo de Aguas. Rev. 0 (Anexo 1.6 del Capítulo 1 del EIA).
- Modelo Hidrogeológico Conceptual y Numérico Depósito de Relaves QB2. Rev. 1 (Anexo 4.2.7 del Capítulo 4 del EIA).
- Estudio de Clima y Meteorología. Rev. 4 (Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3 del EIA).
- Estudio de Hidrología y Balance Hídrico. Rev. 5 (Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo).

Adicionalmente a lo señalado en los párrafos precedentes, cabe señalar que se utilizó información de estudios realizados por terceros que fueron usados por Golder en sus estudios, y que en este informe se especifican en el acápite 3.2.7.7.

De acuerdo a las partes, obras y/o acciones contempladas en el presente EIA, el Proyecto emplazará sus obras en cuatro áreas principales que corresponden al Área Puerto, Área Obras Lineales, Área Pampa y Área Mina (que incluye las sub áreas Mina y Depósito de Relaves), cuya extensión se muestra de forma referencial en la Figura 3.2.7-1.

Figura 3.2.7-1. Ubicación regional del Proyecto



Fuente: Elaboración propia.

3.2.7.2 Objetivos

3.2.7.2.1 Objetivo General

Este estudio tiene como objetivo la caracterización de las condiciones de línea de base, en el Área de Influencia Hidrológica, para apoyar en la evaluación de los impactos potenciales generados por el Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2 sobre el sistema de recursos hídricos superficiales.

3.2.7.2.2 Objetivos Específicos

A nivel más particular, los objetivos específicos que permitirán desarrollar el objetivo principal corresponden a:

- Revisión de antecedentes y estudios anteriores enfocados en la Hidrología, tanto a nivel regional como del Área de Influencia;
- Caracterización de cuencas y sub cuencas del Área de Influencia Hidrológica;
- Recopilación y análisis de la información meteorológica disponible tanto a nivel regional como en el Área de Influencia;
- Recopilación y análisis de la información fluviométrica disponible tanto a nivel regional como en el Área de Influencia;
- Análisis del comportamiento de los cuerpos de agua superficiales en el Área de Influencia del Proyecto;
- Desarrollo de un balance hídrico en la zona del Proyecto.

3.2.7.3 Determinación y Justificación del Área de Influencia

3.2.7.3.1 Generalidades

La determinación del Área de Influencia de la componente de Hidrología ha tomado en consideración los impactos ambientales potencialmente significativos sobre dicha componente, así como el espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras y/o acciones del Proyecto, según lo definido en la letra d) del Artículo 18 del D.S. N° 40/2012 del MMA (RSEIA). Para efectos de limitar dicho espacio geográfico, se ha considerado como unidad base la cuenca hidrográfica.

El detalle y justificación se presenta en el acápite 2.3.1.7 del Capítulo 2 Determinación y Justificación del Área de Influencia del presente EIA.

3.2.7.3.2 Definición Área de Influencia

El Proyecto está ubicado en el norte de Chile, aproximadamente a 240 km al sureste de la ciudad de Iquique, en la Región de Tarapacá. Se encuentra cerca del límite con la Región de Antofagasta y la frontera entre Bolivia y Chile. La ubicación exacta del Proyecto se muestra en la Figura 3.2.7-1.

Tal como se mostró en la Figura 3.2.7-1, el Proyecto emplazará sus obras en cuatro áreas principales que corresponden al Área Puerto, Área Obras Lineales, Área Pampa y Área Mina. No obstante lo anterior, la presente Línea Base Hidrológica hace referencia al Área Mina y su entorno cercano, entendiéndose como el Área de Influencia que podría verse afectada por las partes, obras y/o acciones del Proyecto.

De esta forma se consideró que el Área de Influencia abarca las cuencas de la quebrada Choja, Guatacondo y Paguana, las que se muestran en la Figura 3.2.7-2. En términos más específicos, a partir del trazado de las distintas obras del Proyecto, se han definido dentro del Área Mina las sub áreas Mina y Depósito de Relaves. De acuerdo a lo anterior, las sub-sub cuencas de las quebradas Blanca, Jovita y de Ornajuno constituyen la denominada Área Mina.

De esta forma, el Área de Influencia está comprendida por las siguientes cuencas y sub cuencas:

- Cuenca de la quebrada Choja:
 - Sub cuenca de la quebrada Blanca (aguas arriba de confluencia con quebrada Ramucho).
Sub-sub cuenca de la quebrada Blanca hasta antes de la quebrada Jovita.
Sub-sub cuenca de la quebrada Jovita.
Sub-sub cuenca de la quebrada Blanca entre confluencia con quebrada Jovita y confluencia con quebrada Ramucho.
 - Sub cuenca de la quebrada Ramucho.
- Cuenca de la quebrada Guatacondo:
 - Sub cuenca de la quebrada de Ornajuno.
 - Sub cuenca de la quebrada Apacheta.
 - Sub cuenca de la quebrada Copaquiri:
Sub-sub cuenca de la quebrada Huinquintipa.
Sub-sub cuenca de la quebrada Sallihuinca.
- Cuenca de la quebrada Paguana.

Las cuencas de las quebradas Choja, Guatacondo y Paguana, se encuentran administrativamente en la cuenca del Río Loa, en la denominada sub cuenca Loa Medio (código

0211, área de 33.100 km²), sub-sub cuenca del Salar de Llamara (código 02113, 6.700 km²). Es importante aclarar que para efectos de este documento, y pese a que son unidades hidrográficas menores a las cuencas regionales recién mencionadas (Loa, Loa Medio, Salar de Llamara), se denominará de igual forma como cuencas a las unidades principales dentro del Área de Influencia (Choja, Guatacondo y Paguana).

La cuenca de la quebrada Choja se ha considerado hasta una elevación aproximada de 3.290 m s.n.m., unos 75 km aguas arriba de la zona protegida del Salar de Llamara, parte de la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal. Esta cuenca posee una superficie aproximada de 269 km², correspondiendo en superficie a un 0,8% de la cuenca del Río Loa, y un 4,0% de la cuenca del Salar de Llamara. Se origina de la confluencia de las quebradas Blanca y Ramucho, aproximadamente a los 3.500 m s.n.m. Posee una elevación media cercana a los 4.280 m s.n.m., con elevaciones máximas y mínimas de 5.060 y 3.294 m s.n.m., respectivamente. La pendiente media del cauce de esta quebrada es de un 6%, mientras que la pendiente aportante de las laderas es del orden de un 20%.

La cuenca de la quebrada Guatacondo se ha considerado hasta una elevación aproximada de 3.350 m s.n.m., aproximadamente 77 km aguas arriba de la zona protegida del Salar de Llamara. Su superficie aproximada es de 220 km², correspondiendo en área a un 0,7% de la cuenca del Río Loa, y un 3,3% de la cuenca del Salar de Llamara. Se origina de la confluencia de las quebradas Apacheta, de Ornajuno y Copaquiri, ésta última, a su vez, recibiendo los recursos de las quebradas Huinquintipa y Sallihuinca. La elevación media de la cuenca de la quebrada Guatacondo es del orden de los 4.290 m s.n.m., con elevaciones máximas y mínimas de 4.903 y 3.351 m s.n.m., respectivamente. La pendiente media del cauce de esta quebrada es de un 5%, mientras que la pendiente aportante de las laderas es del orden de un 20%.

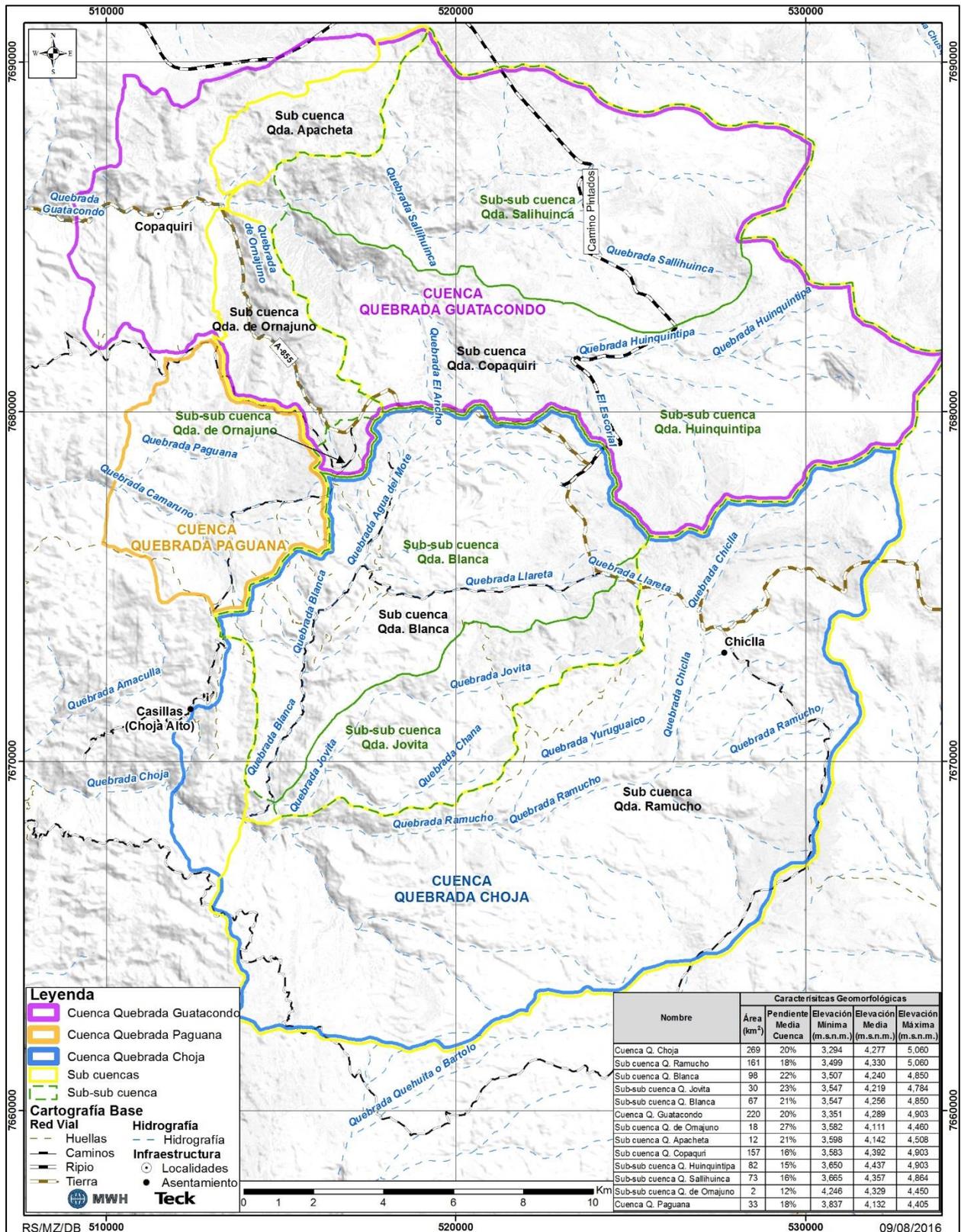
La cuenca de la quebrada Paguana se ha considerado hasta una elevación aproximada de 3.840 m s.n.m., aproximadamente 75 km aguas arriba de la zona protegida del Salar de Llamara. Su superficie abarca aproximadamente 33 km², correspondiendo en área a un 0,1% de la cuenca del Río Loa, y un 0,5% de la cuenca del Salar de Llamara. Su elevación media es de aproximadamente 4.130 ms.n.m., con elevaciones máximas y mínimas de 4.384 y 3.837 m s.n.m., respectivamente. La pendiente media del cauce de esta quebrada es de un 8%, mientras que la pendiente asociada a sus laderas es del orden de un 18%. Sus tributarios más importantes son las quebradas Colpago y Camaruno.

En lo que se refiere a la ubicación de las obras del Proyecto (en la denominada Área Mina), en la sub-sub cuenca de la quebrada Blanca se encontrarán el rajo, los acopios, botaderos y depósito de relaves asociados al Proyecto, mientras que en la parte alta de la sub-sub cuenca de la quebrada de Ornajuno se encontrará la planta concentradora proyectada. Si bien no se considera, en la sub-sub cuenca de la quebrada Jovita, el emplazamiento de infraestructura asociada a la operación, ésta se ha incluido por ser receptora de una descarga de aguas de no contacto asociada al Proyecto. Las redes de drenaje de estas sub-sub cuencas se desarrollan naturalmente en el sentido este-oeste, siendo aportantes finalmente al Río Loa cercano a su

desembocadura, con un carácter exorreico. En la Figura 3.2.7-3, se presenta la definición del Área Mina y el trazado de las obras proyectadas.

Las condiciones de escurrimiento superficial en el Área de Influencia están dadas por la inexistencia casi total de cursos de agua permanentes. Lo anterior, se explica por las condiciones climáticas de la zona en donde predomina una marcada aridez que se ve interrumpida en la época estival por la llegada de masas de aire húmedo proveniente de la cuenca amazónica produciendo tormentas convectivas entre diciembre y marzo, por el denominado Invierno Altiplánico. Adicionalmente, dadas las condiciones de permeabilidad y a la alta evapotranspiración, finalmente se absorbería gran parte del agua precipitada. El agua observada en superficie corresponde a afloramientos puntuales de agua subterránea que ocurren en los estrechamientos de los valles por tramos espaciales limitados antes de volver a infiltrarse.

Figura 3.2.7-2. Cuencas, sub cuencas y sub-sub cuencas del Área de Influencia



Fuente: Elaboración propia.

3.2.7.4 Metodología

En el presente acápite se describe de manera general la metodología utilizada para la descripción hidrológica que se detalla en el acápite 3.2.7.5.

3.2.7.4.1 Caracterización cuencas Área de Influencia

Se analizaron las principales características de las cuencas que forman parte del Área de Influencia, en particular se caracterizó la escorrentía en cada una de dichas unidades hidrográficas, se calculó el área, se determinaron los perfiles topográficos y las curvas hipsométricas, se analizó la existencia de sectores de sensibilidad, prohibición y/o restricción medioambiental y se describió brevemente la cobertura vegetal.

3.2.7.4.2 Caracterización climática

a) Contexto climático

En este acápite se realizó una descripción de los factores determinantes para el clima en la región de Tarapacá. A nivel regional se caracterizó el clima según la categorización propuesta por Köppen. En particular, se asignaron cuatro franjas climáticas.

b) Caracterización de la Precipitación

En esta etapa se caracterizó la pluviometría regional de la zona, para posteriormente describir el régimen de precipitaciones a nivel local (cuencas y sub áreas del Área de Influencia). Lo anterior se llevó a cabo a partir de lo presentado en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Para desarrollar la descripción indicada se caracterizó en primera instancia la precipitación mensual y anual media regional. Así, se estableció un periodo común de registro para todas las estaciones pluviométricas y se eliminó de la estadística aquellos datos que presentaron anomalías respecto del comportamiento de las estaciones cercanas.

Luego, se realizó el relleno de estadística de precipitación anual faltante para cada estación, mediante correlaciones lineales entre las series. En los años en los que no fue posible realizar un relleno a partir de la estadística original de una estación, se utilizó como base la estadística generada sintéticamente. Posteriormente, se corrigió la estadística generada mediante el análisis de consistencia y homogeneidad, generando curvas dobles acumuladas.

Posteriormente, se realizó un análisis de frecuencia para cada serie de precipitación media anual. Para todas las estaciones se han escogido distribuciones de probabilidad que presentan un buen ajuste estadístico y gráfico, y que además permiten ubicar las precipitaciones obtenidas dentro de un contexto regional.

A partir de la información de precipitación anual media corregida para cada estación y de la respectiva elevación, se generó un gradiente precipitación-elevación, de manera de establecer una distribución representativa de esta variable en la zona de interés.

Una vez definida la precipitación a nivel regional, ésta se caracterizó en el Área de Influencia. Para la precipitación media anual se utilizó la curva elevación-precipitación regional, para el caso de la distribución mensual, se ha asumido para cada área de proyecto la misma de su estación representativa.

Caracterizada la precipitación a nivel regional y en el Área de Influencia, se definió la pluviometría de eventos extremos. La metodología utilizada fue la misma que la descrita para la precipitación mensual y anual media, con la excepción de que en este caso no se distribuyó la estadística de precipitación máx. en 24 hrs. anual a nivel mensual, debido a que la variable de análisis corresponde a un valor exclusivamente anual. Del mismo modo, no se realizó corrección del relleno mediante análisis de consistencia, ya que la ocurrencia de eventos extremos no obedece al mismo tipo de comportamiento que las precipitaciones anuales.

Finalmente, a partir de las series de precipitaciones máx. 24 hrs. anuales, se calculó la precipitación máxima probable (PMP) para cada cuenca mediante el método estadístico de Hershfield (WMO, 2009). Este método se basa en la ecuación general de frecuencia, ligando la precipitación media de la serie de precipitación máx. 24 hrs. anual con su desviación estándar mediante un factor de frecuencia. Previamente, estas variables debieron ser modificadas mediante una serie de correcciones estadísticas asociadas a la longitud de la muestra y a los efectos en el promedio y la desviación estándar de los valores máximos de la muestra. Posteriormente, se determinó el factor de frecuencia para cada cuenca en función de las correcciones propuestas por Hershfield, y mediante recomendaciones realizadas por Stöwhas (1983) para Chile. De esta manera, se calculó para cada cuenca un valor de PMP.

c) Caracterización Temperatura

En este acápite se identificó la temperatura regional de la zona, para posteriormente determinar la temperatura del Área de Influencia. Lo anterior se llevó a cabo a partir de lo presentado en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

A partir del valor de temperatura media anual de las estaciones seleccionadas, se generó un gradiente con la elevación. De este análisis se descartaron aquellas estaciones con menos de un año de registro. La temperatura media anual en el Área de Influencia, se calculó a partir de la curva elevación-temperatura del análisis a nivel regional.

Luego, este valor se distribuyó mensualmente a partir de estaciones regionales representativas de cada cuenca y sub área del Área de Influencia.

d) Caracterización Humedad Relativa

En este acápite se identificó la humedad relativa de la zona, para posteriormente determinarla en el Área de Influencia. Lo anterior se llevó a cabo a partir de lo presentado en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Se caracterizó la humedad relativa a nivel regional a partir de una curva de elevación-humedad relativa. Para incluir estadística de estaciones locales más actuales, los datos han sido corregidos para hacerlas representativas de medias anuales. De acuerdo a los análisis realizados, se consideró que la humedad relativa medida en la estación Quebrada Blanca es representativa del Área de Influencia.

e) Caracterización Evaporación

En este acápite se caracterizó la evaporación regional de la zona, de manera de posteriormente describir la evaporación del Área de Influencia. Lo anterior se llevó a cabo a partir de lo presentado en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

A partir de las series mensuales medias de todas las estaciones en estudio se calculó el porcentaje de evaporación mensual media (en relación al total de evaporación anual media). De esta manera, se adoptó como distribución porcentual mensual a nivel regional al promedio de la variación porcentual calculado para el total de las estaciones en la región.

Luego, a partir de la evaporación anual media calculada en cada estación se generó un gradiente dependiente de la elevación, mediante el cual se determinó la evaporación anual media en la elevación media asociada a cada cuenca y sub área del Área de Influencia. Finalmente, se distribuyó mensualmente el valor obtenido mediante la distribución porcentual determinada en el estudio a nivel regional.

3.2.7.4.3 Escorrentía Superficial

En este acápite se caracterizó la escorrentía superficial. En primer lugar, se analizó las series de caudales de la estación fluviométrica DGA ubicada en el Área de Influencia, caudales medios mensuales y máximos instantáneos se utilizaron para describir el régimen de escorrentía representativo a nivel regional.

Posteriormente, se caracterizó la componente de escorrentía superficial mediante el análisis de la información recolectada de la estación fluviométrica QDH-2, puntos de monitoreo (afloramiento) y campañas de terreno.

A partir de la información disponible, se realizó un análisis de las series de caudales medios mensuales, sus variaciones estacionales y relación con la situación regional.

Finalmente, se presentaron los resultados obtenidos del modelo de balance hídrico desarrollado en el Anexo 3.2.7-1 del presente EIA, y se analizó los distintos escenarios modelados que

permiten describir y caracterizar la escorrentía en distintos puntos del Área de Influencia para la situación pre-mina y la situación al fin de QB1 (situación inicial para QB2).

3.2.7.5 Resultados

3.2.7.5.1 Caracterización cuencas Área de Influencia

a) Características cuenca quebrada Choja

La cuenca de la quebrada Choja se ubica en la porción sur de la I Región de Tarapacá. Tiene su origen a 5.060 m s.n.m. junto con las cuencas de Huiniquintipa y Salar de Michincha. Corresponde a una cuenca exorreica con un sentido de escurrimiento general este a oeste; en donde su área aportante drena hacia el río Loa, alcanzando una longitud aproximada de 29 km hasta su punto de salida, a los 3.924 m s.n.m., unos 75 km aguas arriba de la zona protegida del Salar de Llamara. La hoya hidrográfica comprende una superficie aproximada de 269 km².

Como se mencionó anteriormente, la quebrada Choja se encuentra administrativamente en la cuenca del río Loa (código DGA 0211), en la denominada sub cuenca Loa Medio (código 0211), sub-sub cuenca del Salar de Llamara (código 02113).

Las condiciones climáticas de esta cuenca están dadas por una fuerte influencia anticlinal cálida, la cual es predominante durante la mayor parte del año, viéndose interrumpida por tormentas convectivas estivales producto del denominado “Invierno Altiplánico” o “invierno boliviano” que concentra las precipitaciones en sólo un periodo de lluvias de verano, de diciembre a marzo. Por otro lado, existen escasos y aislados eventos durante el invierno (junio a agosto) los que pueden ser líquidos o sólidos, pero que no modifican el régimen hidrológico de la cuenca. Con respecto a los eventos de precipitación sólida (nieve) observados de manera esporádica, es importante destacar que, dadas las altas temperaturas, la nieve se derrite a los pocos días de su acumulación.

Así, es posible indicar que la cuenca de la quebrada Choja se caracteriza por presentar un régimen superficial principalmente pluvial, asociado fundamentalmente a tormentas estivales que forman cauces de agua intermitentes producto de las precipitaciones del “Invierno Altiplánico”. No existen cursos de agua permanentes, sólo afloramientos de basamento rocoso puntuales de aguas subterráneas que se incorporan en la superficie por una longitud espacial limitada antes de volver a infiltrarse, estos afloramientos están asociados a un angostamiento de la unidad de relleno aluvial que fuerza al agua subterránea a incorporarse al sistema superficial.

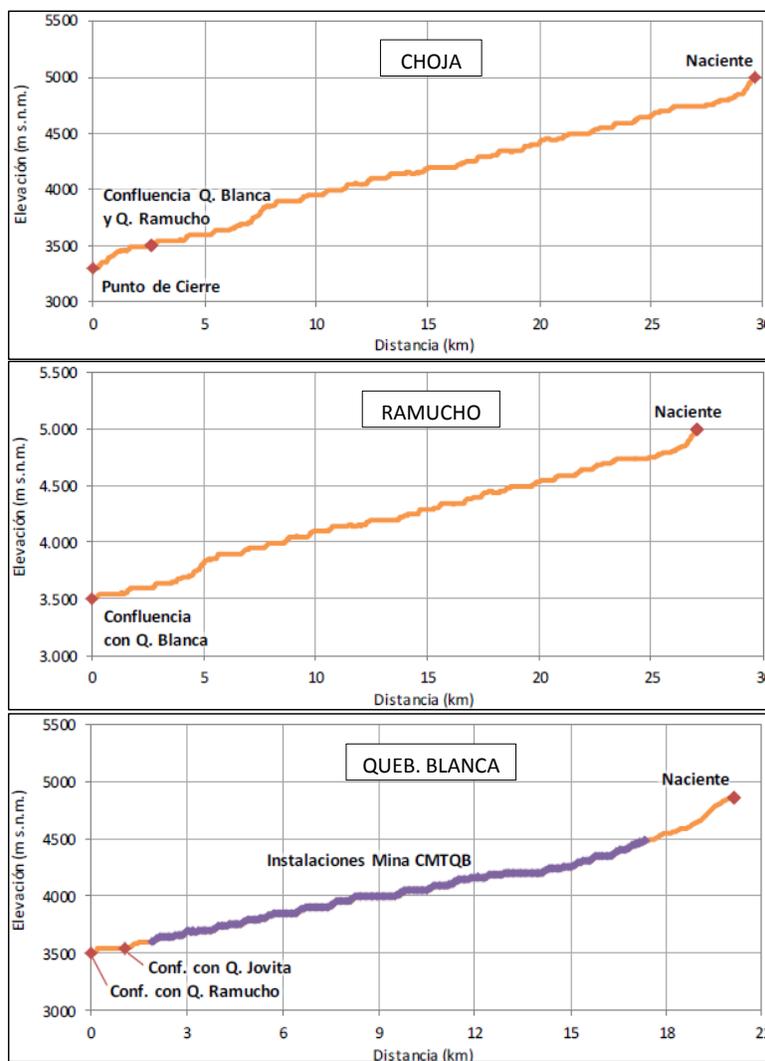
Los recursos hídricos van disminuyendo a medida que se desciende en elevación y en la cuenca comienzan a predominar las áreas de infiltración. Desde aproximadamente 10 km aguas abajo de la confluencia de las quebradas Ramucho y Blanca, ya se observa ausencia de agua superficial; desapareciendo así la escorrentía superficial intermitente.

La elevación promedio de la cuenca es de 4.277 m s.n.m., demostrando una distribución de meseta elevada entre los 4.000 y 4.500 m s.n.m. En la Figura 3.2.7-4 se muestra el perfil

topográfico del eje longitudinal de la quebrada Choja y sus sub cuencas, mientras que en la Figura 3.2.7-5 se presentan las curvas hipsométricas que caracterizan las áreas aportantes a las cuencas en función de su elevación. Tanto los perfiles topográficos como las curvas hipsométricas fueron obtenidos en base a un modelo de elevación digital construido a partir de topografía del Instituto Geográfico Militar escala 1:50.000, representativo de la condición de pre-mina (esto aplica para todos los perfiles y curvas hipsométricas que se muestran en este capítulo).

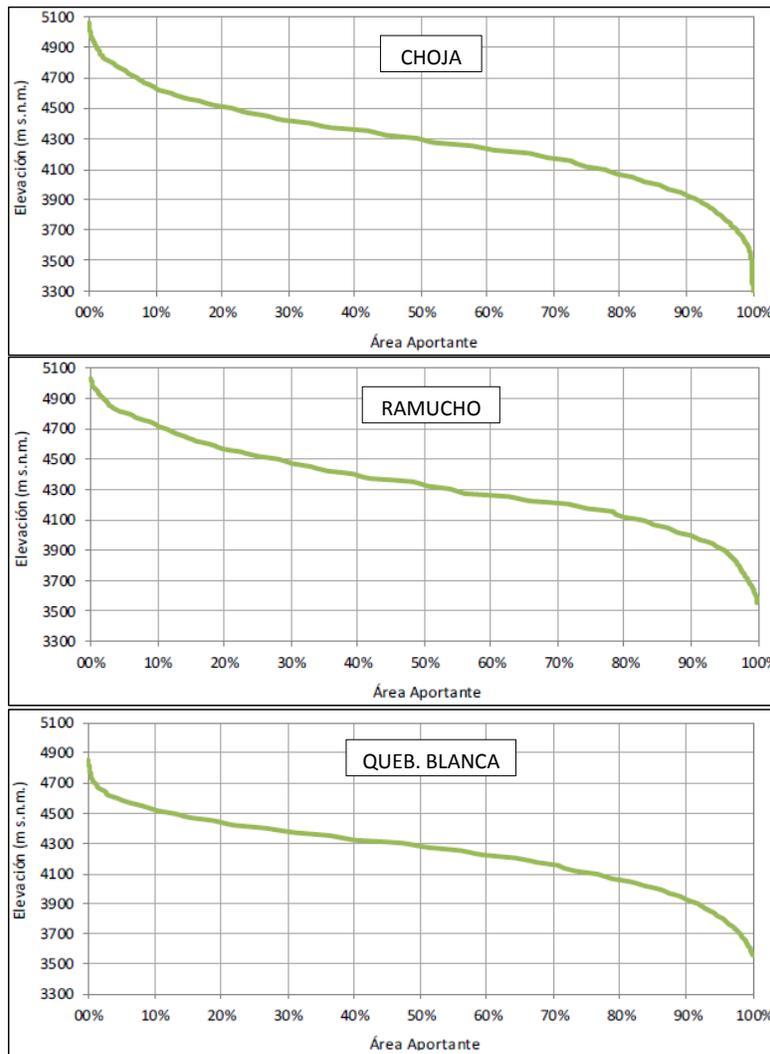
Los afluentes principales a la quebrada Choja corresponden fundamentalmente a las quebradas Ramucho y Blanca; las cuales aportan caudales efímeros e intermitentes producto de las lluvias asociadas al “Invierno Altiplánico” y afloramientos de agua subterránea en su confluencia a los 3.500 m s.n.m, donde se forma la quebrada Choja.

Figura 3.2.7-4. Perfil topográfico cuenca quebrada Choja y sus sub cuencas



Fuente: Modificado de Figuras 5, 7 y 9 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Figura 3.2.7-5. Curvas hipsométricas cuenca quebrada Choja y sus sub cuencas



Fuente: Modificado de Figuras 6, 8 y 10 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

En términos morfológicos, la cuenca presenta un relieve muy irregular y accidentado, donde predominan las altas pendientes y cerrados cajones. En la Tabla 3.2.7-1, se presentan las características principales de la cuenca de la quebrada Choja.

Tabla 3.2.7-1. Características geomorfológicas de la cuenca de la quebrada Choja y sus sub cuencas

Cuenca y Sub cuencas	Área (km ²)	i cauce (%)	i cuenca (%)	L máx (km)	Elevación mín (m s.n.m.)	Elevación media (m s.n.m.)	Elevación máx (m s.n.m.)
Qda. Choja	269	6	20	29	3.294	4.277	5.060
Qda. Ramucho	162	5	19	25	3.500	4.310	5.060
Qda. Blanca	98	5	22	17	3.500	4.262	4.850

Nota: i cauce: Pendiente media cauce; i cuenca: Pendiente media cuenca; L máx: Longitud máxima cauce.

Fuente: Tablas 2, 3 y 4 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Con respecto a sectores de sensibilidad, prohibición y/o restricción medioambiental se debe destacar que en el Área de Influencia del Proyecto no se identifican sitios en categoría de protección oficial, ya sean acuíferos protegidos por alimentar vegas y bofedales (humedales), Sitios RAMSAR, Parques o Reservas Nacionales (SNASPE). Sí existen algunas resoluciones sectoriales en cuanto al aprovechamiento de los recursos hídricos en las cuencas de carácter regional en las que se emplaza el Área de Influencia, éstas son:

- De acuerdo a Resolución DGA N°5 de enero de 2012, el sector hidrogeológico de aprovechamiento común del Salar de Llamara ha sido declarado área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas (DGA, 2012).
- A través de Resolución DGA N° 197 de enero de 2000 se declaró el agotamiento del río Loa y sus afluentes para los efectos de la concesión de nuevos derechos consuntivos permanentes (DGA, 2000).

Con respecto a la cobertura vegetal, ésta se asocia principalmente a la escorrentía subterránea que aflora en algunos sectores del cauce de la quebrada Choja. En su parte alta, sobre el cauce predominan las formaciones azonales del tipo bofedal, vega, matorral hídrico y/o llareta (acápite 3.3.1.5.4 f) del Capítulo 3.3.1 “Línea de Base Plantas Vasculares (Flora Vascular y Vegetación)” del presente EIA); desapareciendo a medida que se descende en elevación.

Por último, en esta cuenca CMTQB no es titular de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, sólo posee derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la quebrada Blanca de 3,2 l/s, de acuerdo a la Inscripción de Dominio en favor de CMQBSA: Fojas 691 N°240, año 2007, Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de B. Raíces de Pozo Almonte RES DGA. N°237 del 11 de julio de 2007.

b) Característica cuenca quebrada Guatacondo

La cuenca de la quebrada Guatacondo limita por el sur con la cuenca de la quebrada Choja, particularmente con las sub cuencas de las quebradas Blanca y Ramucho, y lo hace por el este con la cuenca del Salar de Michincha, teniendo su origen a los 4.903 m s.n.m. Corresponde a una cuenca exorreica con un sentido de escurrimiento general este a oeste, en donde su área aportante drena en dirección hacia el río Loa, alcanzando una longitud aproximada de 28 km

hasta su punto de salida, a los 3.351 m s.n.m., unos 77 km aguas arriba de la zona protegida del Salar de Llamara.

Como se ha mencionado, la quebrada Guatacondo se encuentra administrativamente en la cuenca del río Loa (código DGA 0211, de 33.100 km²), en la denominada sub cuenca Loa Medio (código 0211), sub-sub cuenca del Salar de Llamara (código 02113, de 6.700 km²).

Al igual que la cuenca de la quebrada Choja, las condiciones climáticas de esta cuenca están dadas por una fuerte influencia del denominado Invierno Altiplánico, que concentra las precipitaciones en un periodo de lluvias convectivas de verano, de diciembre a marzo. Por otro lado, existen también eventos durante el invierno (junio a agosto) los que pueden ser líquidos o sólidos, pero que no modifican el régimen hidrológico de la cuenca. No obstante, los eventos de invierno, incluso siendo de menor magnitud que los de verano, generan flujos en las zonas más altas de la cuenca, teniendo cada vez menos peso hacia aguas abajo. Con respecto a los eventos de precipitación sólida (nieve) observados de manera esporádica, es importante destacar que, dadas las altas temperaturas, la nieve se derrite a los pocos días de su acumulación.

Luego, la cuenca de la quebrada Guatacondo se caracteriza por presentar un régimen superficial principalmente pluvial, asociado fundamentalmente a tormentas estivales que forman cauces de agua intermitentes producto de las precipitaciones del Invierno Altiplánico. No existen cursos de agua permanentes y continuos, sólo afloramientos de basamento rocoso puntuales de aguas subterráneas que se incorporan en la superficie por una longitud espacial limitada antes de volver a infiltrarse. Estos afloramientos están asociados a un angostamiento de la unidad de relleno aluvial que fuerza al agua subterránea a incorporarse al sistema superficial. Ahora bien, en algunos de estos puntos de afloramiento sí es posible observar flujos de forma permanente en el tiempo.

La hoya hidrográfica comprende una superficie aproximada de 220 km², con una elevación promedio de 4.289 m s.n.m. En la Figura 3.2.7-6 se muestra el perfil topográfico del eje longitudinal de la quebrada Guatacondo y sus afluentes, mientras que en la Figura 3.2.7-7 se presenta la curva hipsométrica que caracteriza el área aportante de las cuencas en función de su elevación.

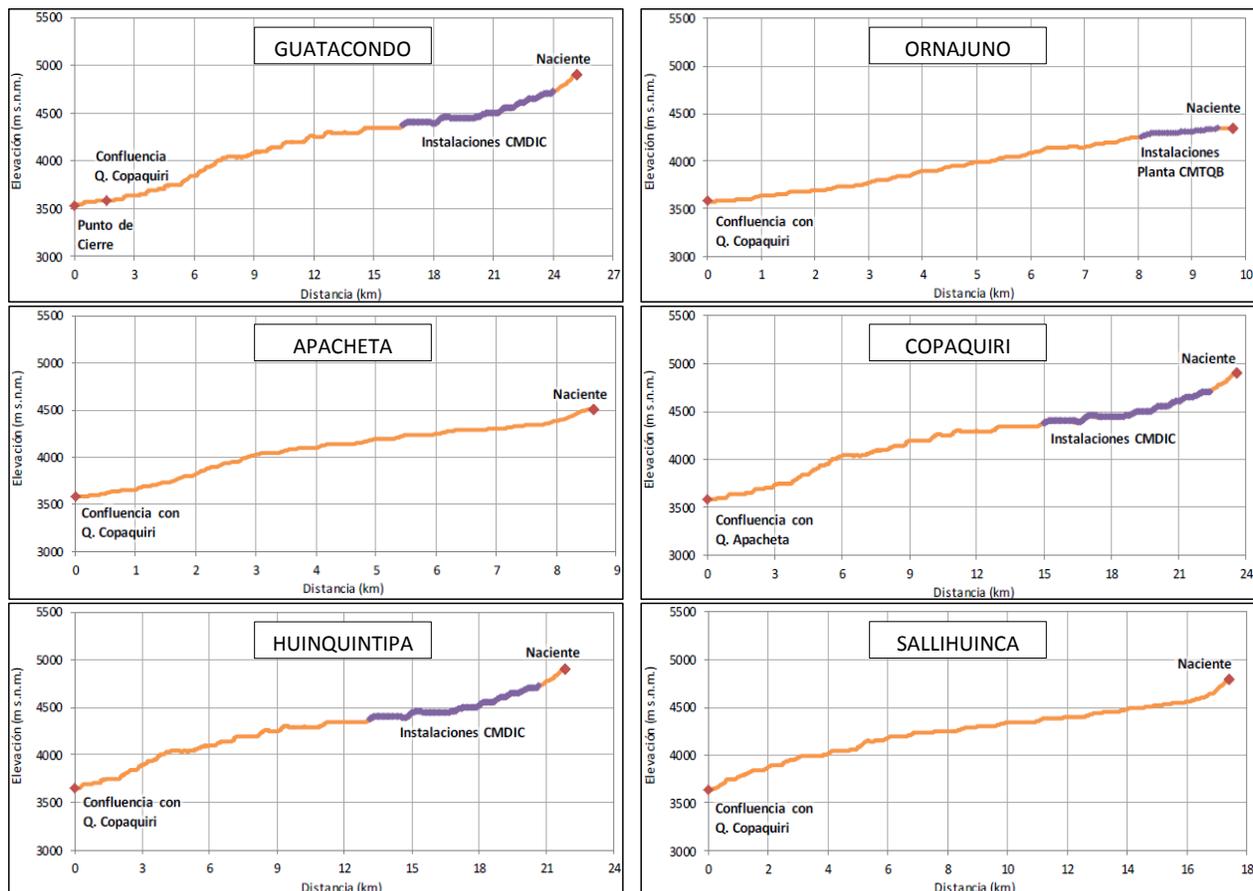
Los afluentes principales a la quebrada Guatacondo corresponden fundamentalmente a las quebradas Apacheta, de Ornajuno y Copaquiri; las cuales aportan caudales efímeros e intermitentes resultantes de eventos de tormenta, así como flujos sub-superficiales, parte de los cuales afloran o se vuelven más someros aguas abajo de la confluencia de estas tres quebradas, aproximadamente a los 3.580 m s.n.m., para alimentar a una zona de formaciones vegetacionales, albergando vegas, bofedales, pajonales hídricos, matorrales hídricos y matorrales.

En términos morfológicos, la cuenca presenta un relieve bastante irregular, con altas pendientes y marcados cajones. En la Tabla 3.2.7-2 se muestran las características geomorfológicas principales de la cuenca de la quebrada Guatacondo.

Con respecto a sectores de sensibilidad, prohibición y/o restricción medioambiental se debe destacar que no se identifican en el sector sitios en categoría de protección oficial, ya sean acuíferos protegidos por alimentar vegas y bofedales (humedales), Sitios Ramsar, Parques o Reservas Nacionales (SNASPES). Se reiteran, además, para esta cuenca las consideraciones en relación al Salar de Llamara y al río Loa que se describen para la cuenca de la quebrada Choja.

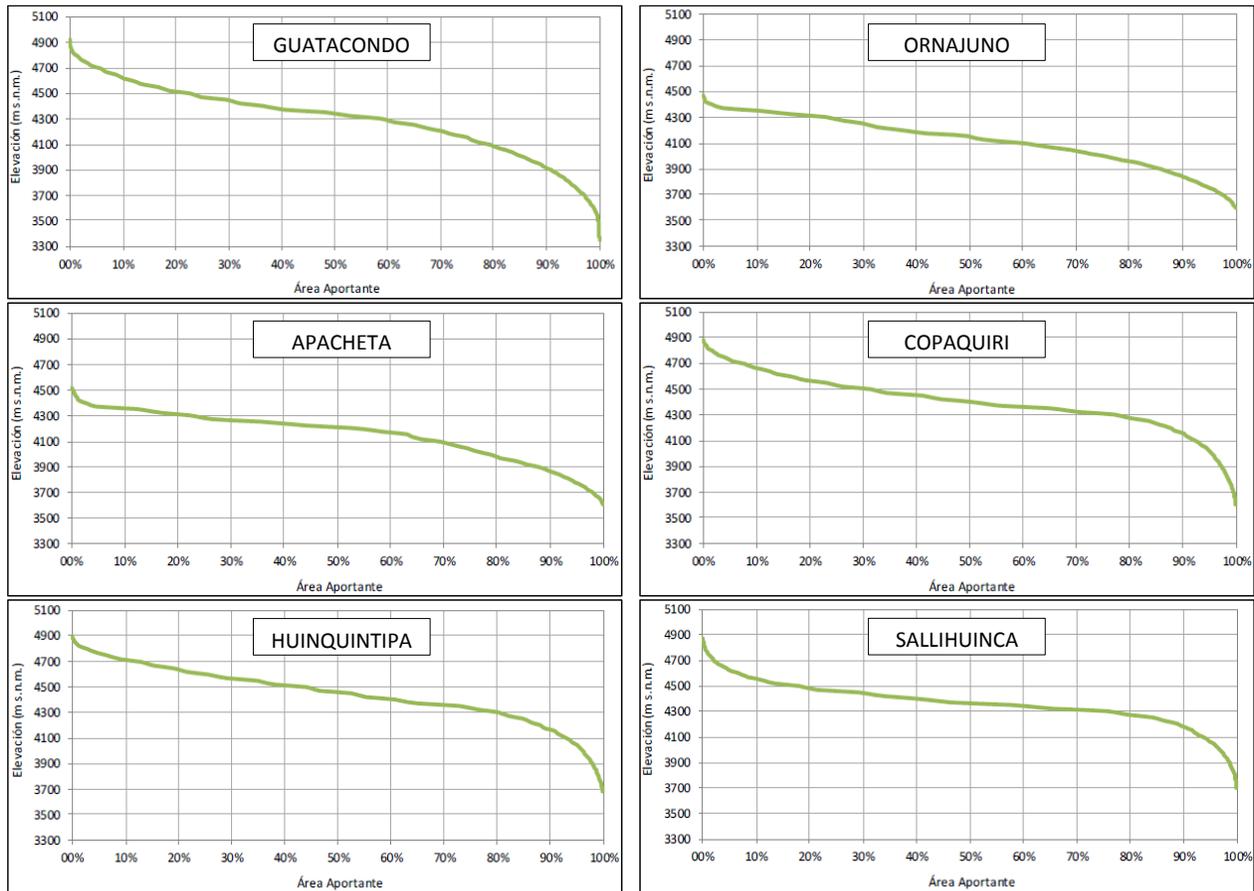
Con respecto a la cobertura vegetal, ésta se asocia principalmente a la escorrentía subterránea que aflora en algunos sectores de los cauces de la quebrada Guatacondo y sus tributarios. En su parte alta, sobre los cauces predominan las formaciones azonales del tipo bofedal, pajonal hídrico, pajonal, vega y/o matorral hídrico (acápite 3.3.1.5.4 e) del Capítulo 3.3.1 “Línea de Base Plantas Vasculares (Flora Vasculares y Vegetación)” del presente EIA); disminuyendo a medida que se desciende en elevación. Hacia la sección más baja de la cuenca se observan, además, matorrales.

Figura 3.2.7-6. Perfil topográfico cuenca quebrada Guatacondo y sus sub cuencas



Fuente: Modificado de Figuras 11, 13, 15, 17, 19 y 21 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Figura 3.2.7-7. Curvas hipsométricas cuencas quebrada Guatacondo y sus sub cuencas



Fuente: Modificado de Figuras 12, 14, 16, 18, 20 y 22 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Tabla 3.2.7-2. Características geomorfológicas cuenca quebrada Guatacondo y sus sub cuencas

Cuenca y Sub cuencas	Área (km ²)	i cauce (%)	i cuenca (%)	L máx (km)	Elevación mín (m s.n.m.)	Elevación media (m s.n.m.)	Elevación máx (m s.n.m.)
Qda Guatacondo	220	5	20	28	3.351	4.289	4.903
Qda. de Ornajuno	18	8	27	10	3.579	4.111	4.460
Qda. Apacheta	12	11	21	9	3.579	4.142	4.508
Qda. Copaquiri	157	6	16	24	3.585	4.392	4.903
Qda. Huinquentipa	82	6	15	22	3.650	4.437	4.903
Qda. Sallihuinca	73	7	16	17	3.665	4.357	4.864

Nota: i cauce: Pendiente media cauce; i cuenca: Pendiente media cuenca; L máx: Longitud máxima cauce.

Fuente: Tablas 5 a 10 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

c) Características cuenca quebrada Paguana

La cuenca de la quebrada Paguana se encuentra inmediatamente al sur de la cuenca de la quebrada Guatacondo y al oeste de la sub cuenca de la quebrada Blanca. Tiene su origen

aproximadamente a los 4.380 m s.n.m., donde limita con el borde oeste de la sub cuenca de la quebrada Blanca. La elevación promedio de la cuenca es del orden de los 4.130 m s.n.m. Corresponde a una cuenca exorreica de 33 km², con un sentido de escurrimiento general este a oeste, en donde su área aportante drena en dirección hacia el río Loa, alcanzando una longitud aproximada de 7 km hasta su punto de salida, aproximadamente a los 3.840 m s.n.m., unos 75 km aguas arriba de la zona protegida del Salar de Llamara.

Como se mencionó anteriormente, la quebrada Paguana se encuentra administrativamente en la cuenca del río Loa (código DGA 0211, de 33.100 km²), en la denominada sub cuenca Loa Medio (código 0211), sub-sub cuenca del Salar de Llamara (código 02113, de 6.700 km²).

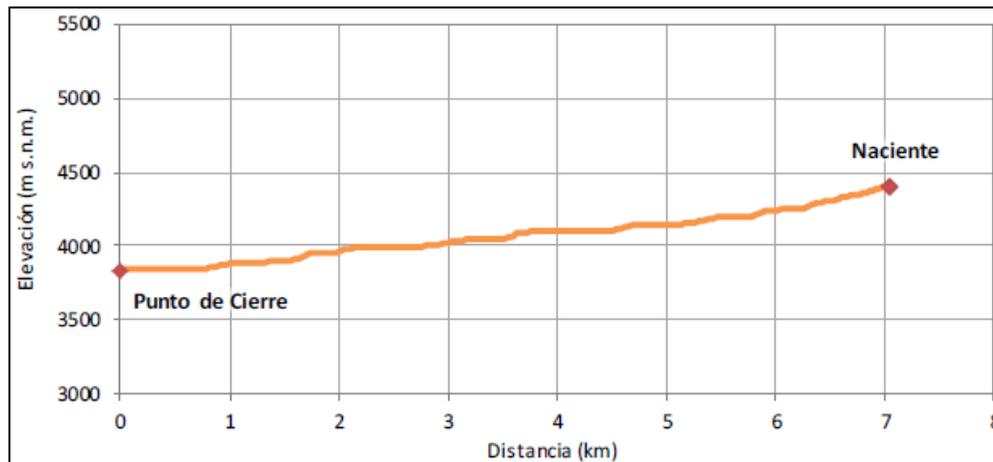
Las condiciones climáticas de esta cuenca están dadas por una fuerte influencia del denominado Invierno Altiplánico, que concentra las precipitaciones en un periodo de lluvias convectivas de verano, de diciembre a marzo. Por otro lado, existen también eventos de menor importancia durante el invierno (junio a agosto) los que pueden ser líquidos o sólidos, pero que no modifican el régimen hidrológico de la cuenca.

Así, es posible indicar que la cuenca de la quebrada Paguana se caracteriza por presentar un régimen superficial pluvial, asociado fundamentalmente a tormentas estivales que forman cauces de agua intermitentes producto de las precipitaciones del Invierno Altiplánico. No existen cursos de agua permanentes, aunque sí se han observado puntos de afloramiento de aguas y de humedad superficial, asociados a una vegetación escasa.

En la Figura 3.2.7-8 se muestra el perfil topográfico del eje longitudinal de la quebrada Paguana, mientras que en la Figura 3.2.7-9 se presenta la curva hipsométrica que caracteriza el área aportante a la cuenca en función de su elevación. En la Tabla 3.2.7-3 se muestran las características geomorfológicas principales de la cuenca de la quebrada Paguana.

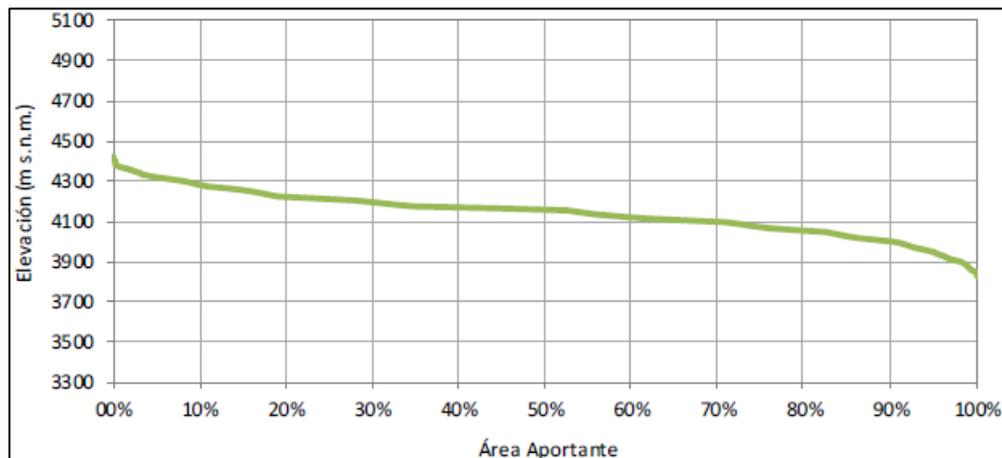
Los afluentes principales a la quebrada Paguana corresponden fundamentalmente a las quebradas Chilpanita, Colpagno y Camaruno. En la quebrada Camaruno se observan zonas acotadas de afloramiento con bajos flujos de caudal y escasa vegetación. En la quebrada Colpagno se aprecian algunos afloramientos puntuales, en su parte baja, aunque en la mayor parte de su trazado se encuentra seca, y con poca vegetación asociada. La quebrada Chilpanita no presenta agua superficial.

Figura 3.2.7-8. Perfil topográfico cuenca quebrada Paguana



Fuente: Figura 23 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Figura 3.2.7-9. Curva hipsométrica cuenca quebrada Paguana



Fuente: Figura 24 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Tabla 3.2.7-3. Características geomorfológicas cuenca quebrada Paguana

Cuenca	Área (km ²)	i cauce (%)	i cuenca (%)	L máx (km)	Elevación mín (m s.n.m.)	Elevación media (m s.n.m.)	Elevación máx (m s.n.m.)
Qda. Paguana	33	8	18	7	3.837	4.132	4.384

Nota: i cauce: Pendiente media cauce; i cuenca: Pendiente media cuenca; L máx: Longitud máxima cauce.

Fuente: Tabla 11 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Con respecto a sectores de sensibilidad, prohibición y/o restricción medioambiental se debe destacar que no se identifican en el sector sitios en categoría de protección oficial, ya sean acuíferos protegidos por alimentar vegas y bofedales (humedales), Sitios Ramsar, Parques o Reservas Nacionales (SNASPES). Se reiteran además para esta cuenca las consideraciones en relación al Salar de Llamara y al río Loa que se describen para la cuenca de la quebrada Choja.

d) Características sub-sub cuencas Área Mina

El Área Mina del Proyecto está definida por tres sub-sub cuencas asociadas a las quebradas Blanca, Jovita y de Ornajuno. La caracterización específica de esta Área, en términos de sus sub-sub cuencas, es relevante, ya que en ésta se ubican las obras del Proyecto, particularmente en sus dos sub áreas, denominadas Mina y Depósito de Relaves.

En el Área Mina, la sub-sub cuenca de quebrada Blanca es aquella que tiene su punto de salida aguas arriba de la confluencia con la quebrada Jovita, es decir, excluye a esta última. Del mismo modo, la sub-sub cuenca de la quebrada de Ornajuno es aquella cuyo punto de salida está aguas abajo de la planta concentradora concebida para la Fase 2 del Proyecto Quebrada Blanca.

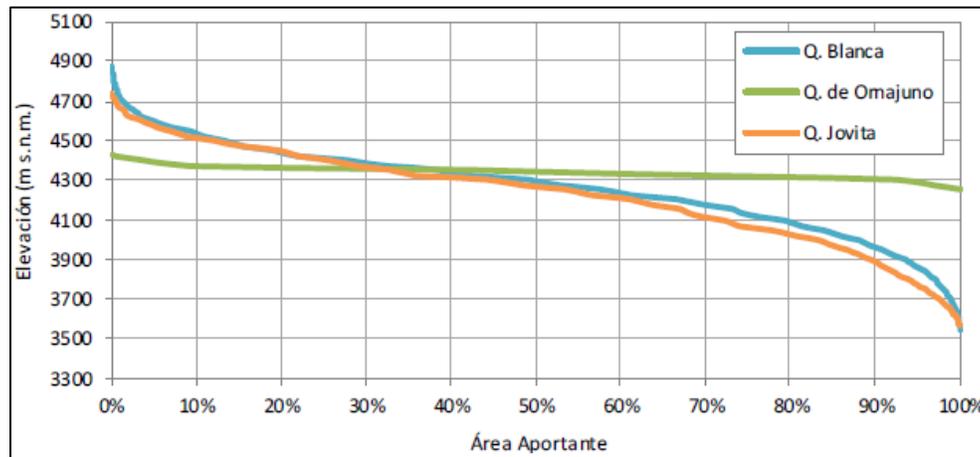
Como se ha descrito, en la sub-sub cuenca de la quebrada Blanca se encontrarán el rajo, los acopios, botaderos y depósito de relaves asociados al Proyecto, mientras que en la sub-sub cuenca de la quebrada de Ornajuno se encontrará la planta concentradora proyectada. Si bien en la sub-sub cuenca de la quebrada Jovita no se considera el emplazamiento de infraestructura asociada a la operación, ésta se ha incluido en el Área Mina por ser receptora de una descarga de aguas de no contacto asociada al Proyecto.

Las sub-sub cuencas de las quebradas Blanca, Jovita y de Ornajuno, asociadas al Área Mina, son presentadas en la Figura 3.2.7-3.

Las redes de drenaje de estas sub-sub cuencas se desarrollan naturalmente en el sentido este-oeste, siendo aportantes finalmente al río Loa cercano a su desembocadura, con un carácter exorreico. El escurrimiento por las quebradas que componen cada una de las sub-sub cuencas es intermitente, existiendo una evidente relación entre el caudal superficial y la precipitación, ya sea nival o pluvial. Como se ha mencionado anteriormente, las precipitaciones se concentran principalmente entre diciembre y marzo producto de tormentas convectivas debido al Invierno Altiplánico, existiendo esporádicos eventos invernales. Los componentes geomorfológicos de las cuencas crean amplios sectores sin caudal superficial, el cual se infiltra y pasa a ser parte del flujo subterráneo existente. De igual manera, también existen afloramientos puntuales de flujos sub-superficiales asociados a cambios en la profundidad de la roca de basamento y/o angostamiento de la cuenca.

En la Figura 3.2.7-10 se presentan las curvas hipsométricas de las sub-sub cuencas del Área Mina, mientras que en la Tabla 3.2.7-4 se presentan las características geomorfológicas de dichas sub-sub cuencas.

Figura 3.2.7-10. Curvas hipsométricas sub-sub cuencas Área Mina



Fuente: Figura 25 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Tabla 3.2.7-4. Características geomorfológicas sub-sub cuencas Área Mina

Sub-sub cuencas	Área (km ²)	i cauce (%)	i cuenca (%)	L máx (km)	Elevación mín (m s.n.m.)	Elevación media (m s.n.m.)	Elevación máx (m s.n.m.)
Q. Blanca	67	7	21	10	3.564	4.256	4.850
Q. Jovita	30	8	23	14	3.564	4.241	4.784
Q. de Ornajuno	2	5	12	1	4.246	4.329	4.450

Nota: i cauce: Pendiente media cauce; i cuenca: Pendiente media cuenca; L máx: Longitud máxima cauce.

Fuente: Modificado de Tabla 12 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Como se observa en la Tabla 3.2.7-4, estas sub-sub cuencas se caracterizan por poseer pendientes elevadas, por sobre un 10% en el caso de Ornajuno y superior a un 20% en el caso de Blanca y Jovita, las cuales presentan un desnivel superior a 1.000 m. La sub-sub cuenca de la quebrada Blanca posee 67 km² de superficie, mientras que la superficie de la quebrada Jovita corresponde a 30 km², y la de Ornajuno a 2 km². Las sub-sub cuencas presentan elevaciones medias en el entorno de los 4.300 m s.n.m.

En la Figura 3.2.7-10 se aprecia que la hipsometría de la sub-sub cuenca de Ornajuno es diferente de las sub-sub cuencas quebrada Blanca y Jovita, mostrándose bastante plana, y presentando un desnivel de sólo 200 m. Esto se debe, en parte, a que se trata de una hoya más pequeña que las otras dos, con un cauce de aproximadamente 1 km de longitud, por lo cual es esperable que no abarque un rango significativo de elevaciones. Sin embargo, la cabecera de Ornajuno muestra un cauce y laderas de menor pendiente que Blanca y Jovita, e incluso menor que la misma quebrada de Ornajuno más abajo, donde alcanza pendientes medias tanto de cauce como de sus laderas con valores comparables a los observados en Jovita y Blanca.

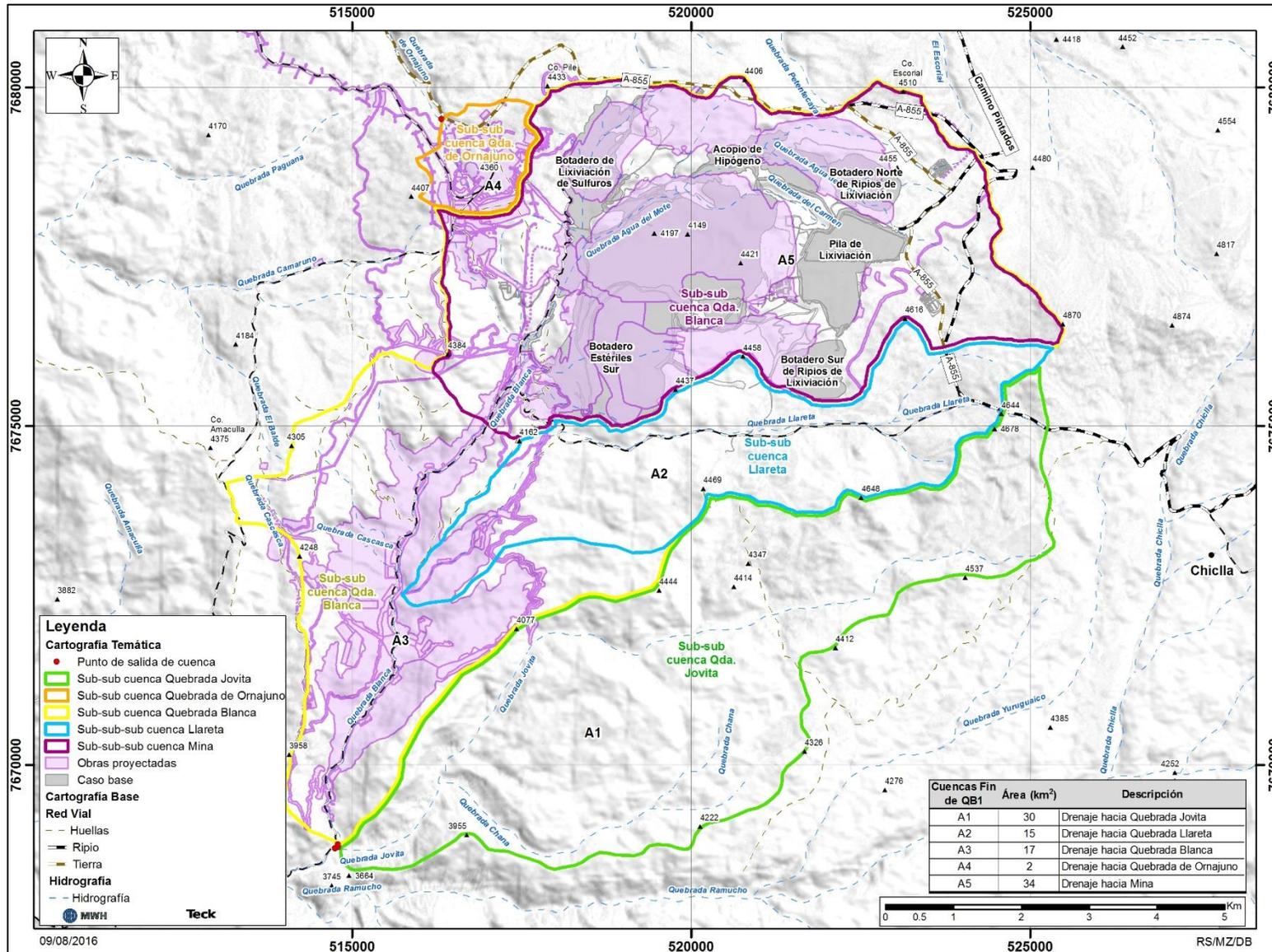
En la actualidad, debido a la infraestructura existente asociada a la operación de la mina, la configuración inicial del Área Mina, según lo mostrado en la Figura 3.2.7-3, se ha visto modificada respecto de su condición de pre-mina. Las hoyas en la condición asociada al fin de la operación

del Proyecto en su Fase 1, y previo al desarrollo de su Fase 2 (en adelante, Fin de QB1), se presentan en la Figura 3.2.7-11, en donde se observa que el área intervenida por el Proyecto, y que deja de drenar hacia la quebrada Blanca, es de aproximadamente 97 km², correspondiente a la superficie que queda aguas arriba del sistema de la Cortina Hidráulica N°2.

Se destaca en estas figuras (Figura 3.2.7-3 y Figura 3.2.7-11) que la superficie de drenaje asociada a la quebrada Llareta aumenta en la situación al fin de QB1, respecto de la situación de pre-mina, ya que se incorpora el canal Botadero Sur de Ripios de Lixiviación (Canal Ripios Sur) de aguas de no contacto, el cual aporta recursos que previamente escurrían hacia la quebrada Blanca, a la quebrada Llareta.

La superficie de la sub-sub cuenca de la quebrada de Ornajuno no cambia al fin de QB1, respecto de su condición de pre-mina, ya que en dicha fase no existen obras en esta quebrada.

Figura 3.2.7-11. Sub-sub cuencas Área Mina, situación Fin QB1



Fuente: Elaboración propia.

3.2.7.5.2 Caracterización climática

a) Contexto climático

Las características climáticas de la Región de Tarapacá son de una marcada aridez. Según la Dirección Meteorológica de Chile, el campo térmico muestra una marcada estructura longitudinal, siguiendo la orientación de las tres unidades de relieve predominantes en la región, la cordillera de Los Andes, donde se registran las temperaturas medias más bajas; la pampa del Tamarugal, que muestra un marcado gradiente zonal de temperatura y la cordillera de la costa, donde se observa una mayor homogeneidad térmica, debido a la influencia marítima, con un gradiente significativo de casi 7°C entre el sector costero y andino de la región; es así como la zona costera presenta valores de temperatura media anual entre los 16 y 18°C, en tanto en la zona intermedia los registros varían entre los 14 y 16°C y en la parte andina los registros oscilan entre 11 y 13°C, todo lo cual se presenta resumido en la Figura 3.2.7-12.

La distribución espacial de la precipitación muestra una marcada intensificación de los totales anuales desde la zona litoral, donde el valor medio anual es menor a 2 mm/año, hasta la región altiplánica, donde la influencia de la precipitación estival aportada por el llamado Invierno Altiplánico hace que los totales, puedan ser superiores a los 100 mm, como se observa en la Figura 3.2.7-13. Se destaca que las isoyetas mostradas en esta figura se han elaborado con información que no incluye registros posteriores al año 2001, ni tampoco información registrada en las estaciones de CMTQB, por lo cual las precipitaciones que entrega para la zona de estudio puede no coincidir con los resultados presentados en este informe; su objetivo se limita exclusivamente a servir como un apoyo a la caracterización regional de las precipitaciones en la región del Proyecto.

En este sentido esta región, dada su extensión, presenta cuatro (4) subtipos climáticos de acuerdo a la clasificación de Köppen, localizados en franjas longitudinales, con variaciones que van de mar a cordillera, pasando de un clima Árido con Nublados Abundantes (BWn) a Árido Desértico Normal (BWk), Árido muy Frío (BWk') y Frío de Tundra por Altura (ETH).

De acuerdo con la ubicación de las instalaciones del Proyecto Quebrada Blanca Fase 2, el Área de Influencia Hidrológica se inserta dentro de dos de los cuatro subtipos climáticos definidos para esta región. Estos corresponden a:

- Árido muy Frío (BWk')

Este subtipo climático se presenta al interior de la región, se ubica por sobre los 2.000 m de altura, debido a ello, las temperaturas son más atenuadas presentando una media anual de 10°C. En este subtipo aparecen acumulados de lluvias que fluctúan entre 50 y 100 milímetros (mm) anuales, presentándose en los meses de verano producto del Invierno Altiplánico. En este sector se encuentran un tramo de las Obras Lineales.

- Frío de Tundra por Altura (ETH)

Este subtipo predomina en el altiplano por sobre los 3.500 m s.n.m., las principales características son las grandes amplitudes diarias y anuales de temperatura producidas por el efecto continental y de altura, así como el aumento de las precipitaciones anuales que pueden llegar en algunos años por sobre los 200 mm, producto del Invierno Altiplánico. La intensidad de estas precipitaciones está influenciada por fenómenos de macro escala como La Niña. En esta zona se encuentran las instalaciones del Área Mina.

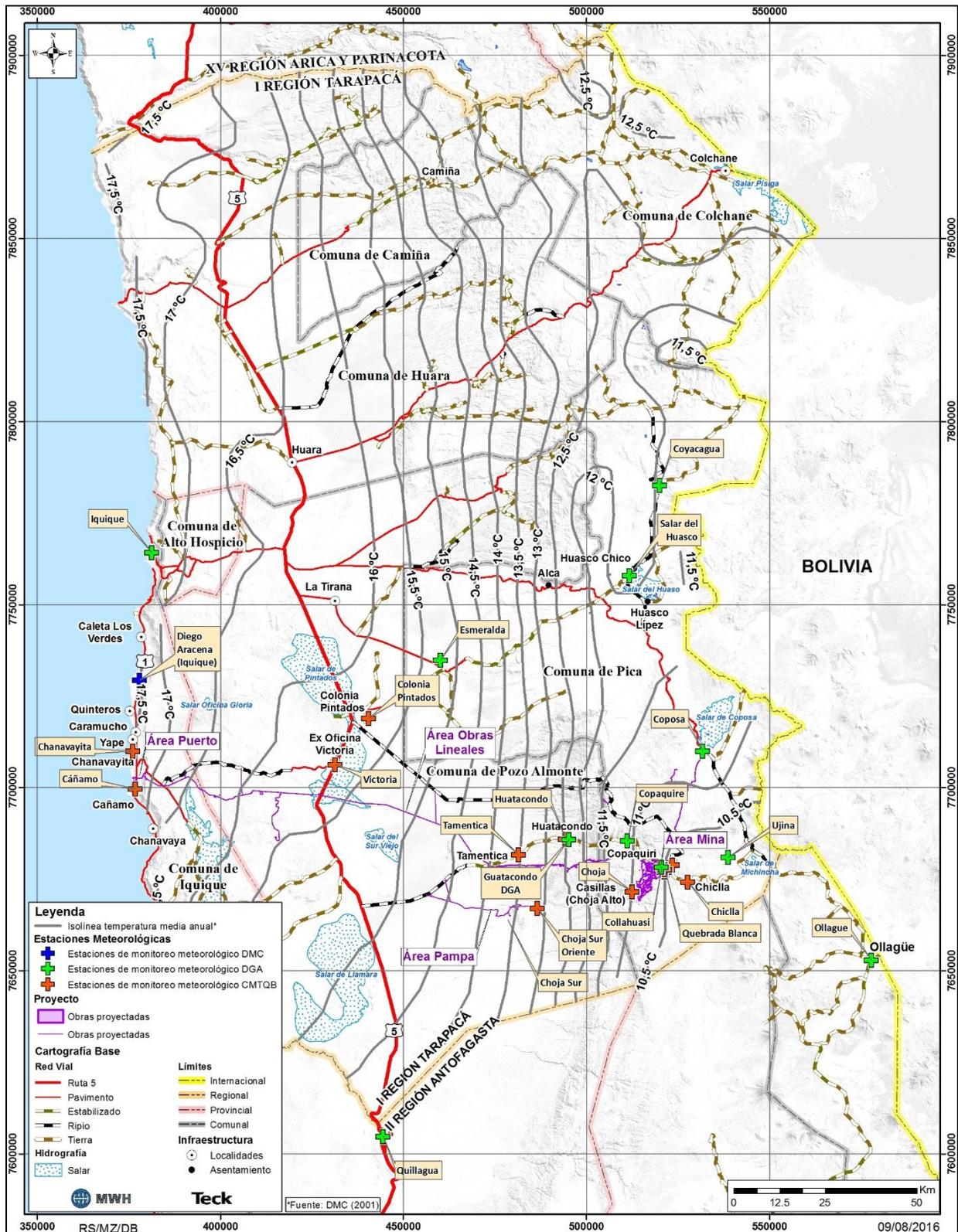
Tal como se mencionó anteriormente, el clima regional descrito es influenciado por la presencia de fenómenos de macro escala, siendo uno de los más importantes el Índice de Oscilación del Sur (*Southern Oscillation Index*, SOI por sus siglas en inglés), que determina las fluctuaciones con que la circulación de Walker se manifiesta: la circulación de Walker es un patrón de vientos a través del océano Pacífico producto de diferencias en temperatura.

Fluctuaciones negativas del SOI se denominan como el fenómeno de El Niño (-SOI), mientras que las positivas se conocen como el fenómeno de La Niña (+SOI). En el caso del fenómeno de El Niño, su frecuencia varía entre 1,0 a 11,5 años y su intensidad es prácticamente impredecible.

Los eventos El Niño tienen diferentes efectos en los regímenes de precipitación en las diversas regiones del mundo, incrementando o disminuyendo los acumulados anuales. Adicionalmente a la precipitación, hay otros factores climáticos como la temperatura ambiental, presencia de niebla y fenómenos de inversión termal atmosférica que son modificados durante años El Niño, situación que también puede ser revertida en años La Niña.

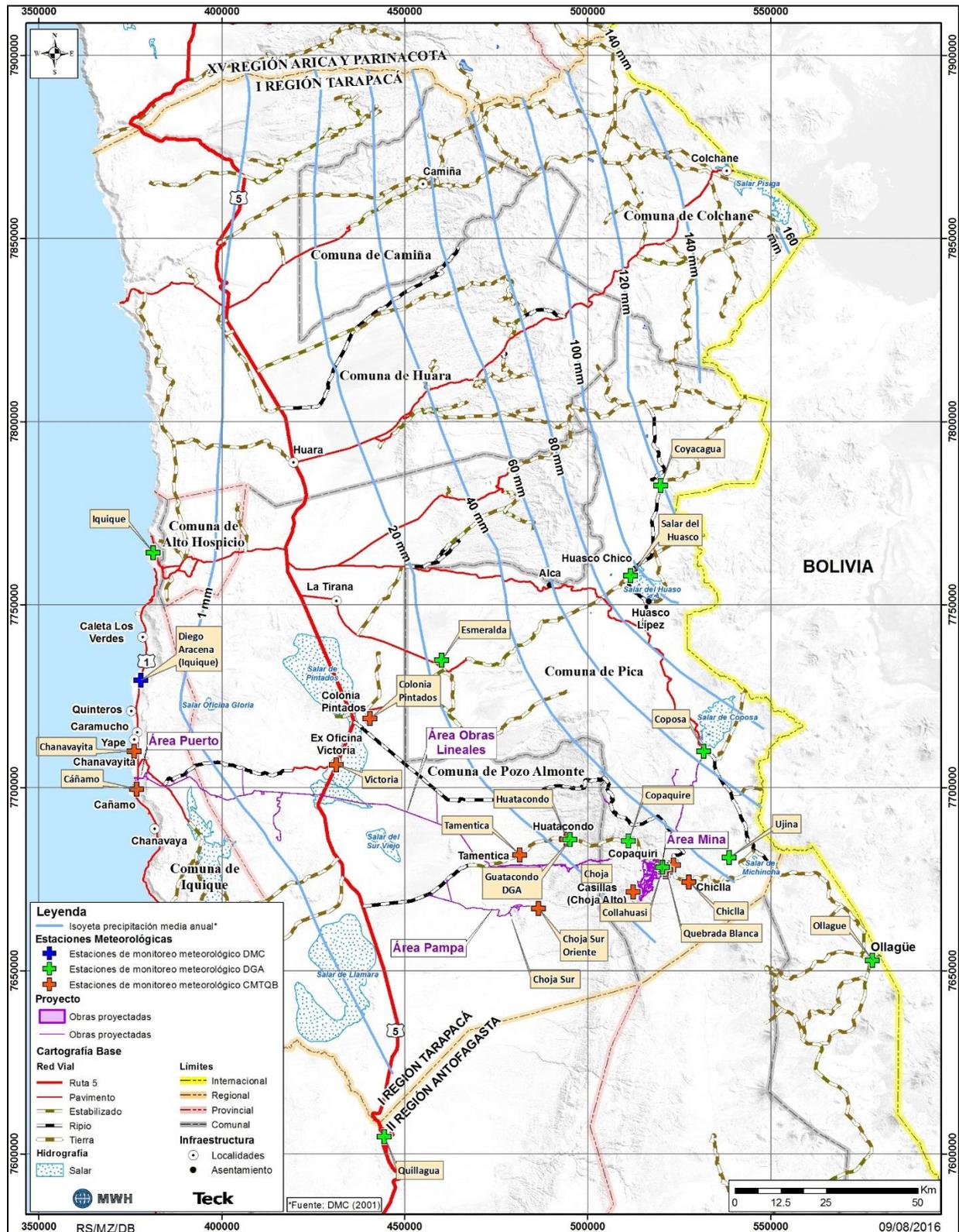
En el norte de Chile, durante los eventos El Niño se incrementa el nivel de las precipitaciones en la costa, pero se suprime el flujo de humedad hacia el interior, provocando una disminución en la intensidad de las precipitaciones en la zona altiplánica. Los eventos La Niña corresponden a períodos comparativamente más húmedos en el interior, donde se registra un aumento en las precipitaciones en dicha zona.

Figura 3.2.7-12. Mapa de isotermas de Temperatura media anual



Fuente: Elaboración propia. Isolíneas de temperatura media anual en base a Dirección Meteorológica de Chile, 2001.

Figura 3.2.7-13. Mapa de isoyetas de Precipitación media anual



Fuente: Elaboración propia. Isoyetas de precipitación media anual en base a Dirección Meteorológica de Chile, 2001.

b) Caracterización de la Precipitación

b.1) Precipitación

- Información disponible

Se consideró la información de 8 estaciones meteorológicas controladas por la Dirección General de Aguas (DGA) y de una controlada por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), las cuales se encuentran fuera del Área de Influencia, sin embargo, pueden ser usadas en un análisis a nivel regional que luego se escala a un nivel más local.

Adicionalmente, se consideró la información meteorológica de diez estaciones de CMTQB: Chiclla, Quebrada Blanca, Choja, Copaquiri, Huatacondo, Choja Sur Oriente, Choja Sur, Tamentica, Colonia Pintados y Victoria. El período de información disponible para la estación Quebrada Blanca abarca desde diciembre de 1992 a diciembre de 2015 (23 años de registro).

La Tabla 3.2.7-5 presenta una descripción general de las estaciones consideradas.

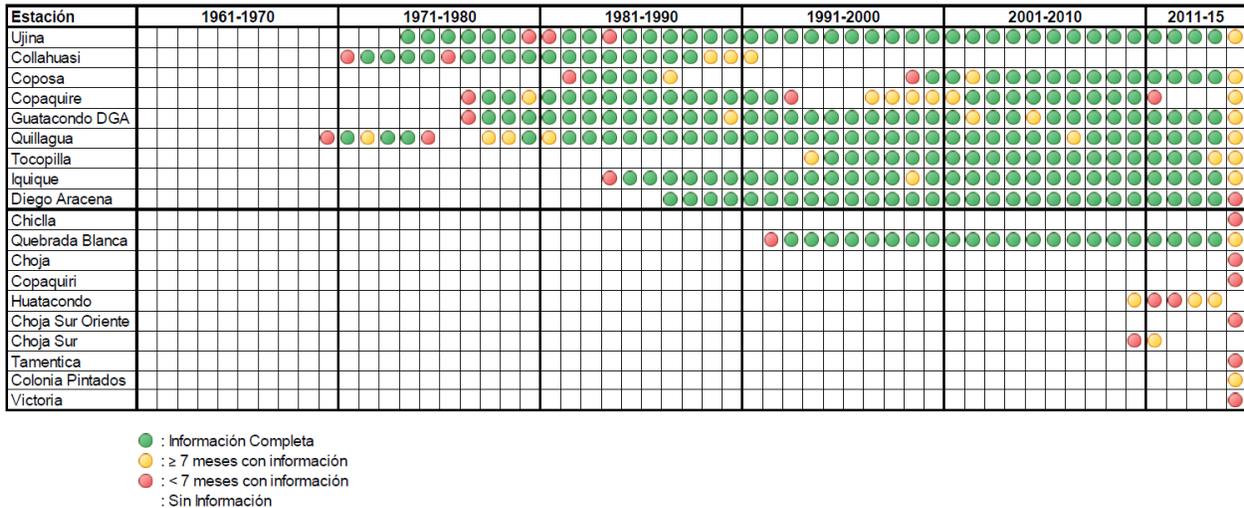
Tabla 3.2.7-5. Estaciones con registros de Precipitaciones

	Estación	Código BNA	Datum WGS84		Elevación (m s.n.m)	Período de Registro
			UTM Norte	UTM Este		
Regional	Ujina (DGA)	01080001-3	7.680.944	538.722	4.300	1974-2015
	Collahuasi (DGA)	01080002-1	7.678.240	520.585	4.250	1971-1991
	Coposa (DGA)	01700009-8	7.710.041	531.847	3.760	1982-2015
	Copaquire (DGA)	01770001-4	7.685.535	511.206	3.540	1977-2011
	Guatacondo (DGA)	02113005-2	7.685.876	495.262	2.460	1977-2015
	Quilagua (DGA)	02112008-1	7.604.648	444.557	802	1970-2015
	Tocopilla (DGA)	02210002-5	7.557.838	377.253	150	1994-2015
	Iquique (DGA)	01820001-5	7.764.260	381.308	50	1984-2015
	Diego Aracena (DMC)	-	7.729.430	378.020	52	1987-2015
Local	Chiclla (CMTQB)	-	7.674.176	527.742	4.522	Abr-Sep 2015
	Quebrada Blanca (CMTQB)	-	7.677.548	521.512	4.375	1992-2015
	Choja (CMTQB)	-	7.671.515	512.516	3.991	Abr-Sep 2015
	Copaquire (CMTQB)	-	7.685.543	511.315	3.518	Abr-Sep 2015
	Huatacondo (CMTQB)	-	7.685.975	494.600	2.280	2010-2014
	Coja Sur Oriente (CMTQB)	-	7.667.019	486.650	2.061	Abr-Sep 2015
	Choja Sur (CMTQB)	-	7.663.750	478.783	1.810	2010-2011
	Tamentica (CMTQB)	-	7.681.639	481.559	1.719	Abr-Sep 2015
	Colonia Pintados (CMTQB)	-	7.718.882	440.525	992	Ene-Oct 2015
	Victoria (CMTQB)	-	7.706.335	431.429	960	Abr-Sep 2015

Fuente: Tabla 5 de Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

En la Figura 3.2.7-14 se indica la matriz con los registros de precipitación mensual disponibles en estas estaciones. Las estadísticas de precipitaciones de las estaciones meteorológicas principales, antes mencionadas, se presentan en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA (en específico en el Anexo A de dicho documento).

Figura 3.2.7-14. Matriz de registro de Precipitaciones mensuales



Fuente: Figura 5 de Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

- Relleno y extensión de la información faltante

En el presente documento se utiliza la estadística rellena del estudio presentado en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA), en donde las estadísticas de precipitaciones de cada una de las estaciones meteorológicas de la DGA y DMC, fueron rellenas y extendidas a nivel mensual, cuando fue necesario. Se cubre el período desde 1987-1988 a 2014-2015, considerando un año hidrológico de julio a junio. Dicho período se consideró lo suficientemente corto y reciente como para ser climáticamente representativo de la situación actual, y lo suficientemente largo como para ser estadísticamente representativo de la variación climática observable en la zona de estudio. Las estadísticas se presentan en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA (en específico en el Anexo A de dicho documento).

En el caso de las estaciones CMTQB, Chanavayita y Cáñamo, no se cuenta con mediciones de precipitación. La estación Colonia Pintados cuenta con casi un año de datos, Choja Sur posee poco más de un año de registro de esta variable, mientras que la estación Huatacondo posee casi cinco años con información, sólo en algunos meses; esto es insuficiente como para realizar un relleno estadístico, pero sí proporciona información valiosa de forma referencial. Las estaciones recientemente incorporadas a la red de monitoreo meteorológico de CMTQB: Chiclla, Choja, Copaquiri, Choja Sur Oriente, Tamentica, y Victoria, poseen entre 1 y 4 meses con datos en el año 2015, por lo cual no han sido incluidas en este análisis. La estación Quebrada Blanca cuenta con información representativa de la zona desde 1992, por este motivo, su estadística fue

extendida como parte del estudio meteorológico presentado en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA, utilizando la misma metodología que para las estaciones regionales.

Se destaca que para el caso del estudio de las precipitaciones máximas diarias no se han rellenado datos, por ser tan particular el comportamiento de estos eventos extremos. Del mismo modo, el análisis estadístico asociado a esta variable considera las series disponibles en toda su extensión, dado que este tipo de análisis se puede volver muy poco representativo de las condiciones reales al efectuarse con series de tiempo muy cortas y, además, porque con dicho análisis se busca identificar eventos que ocurren con una frecuencia mayor a la cantidad de años de información disponible, siendo valiosos todos los datos existentes.

- Consistencia de la información pluviométrica

Para verificar la consistencia de la información pluviométrica ya procesada, rellenada y extendida, se utilizó el método de las curvas doble-acumuladas o curvas másicas.

La Estación Patrón se estableció como el promedio de las cinco estaciones pluviométricas más completas para el período de registro considerado, en la zona de clima altiplánico: Guatacondo DGA, Copaquire, Coposa, Ujina y Quebrada Blanca.

De las Curvas Doble Acumuladas realizadas se estableció que la estación Guatacondo DGA poseía inconsistencias en sus registros en dos años puntuales, por lo que se optó por corregir dichos datos.

- Análisis regional de Precipitación

La precipitación media mensual y anual fue calculada, en base a las estadísticas ya rellenadas, para cada estación y es presentada la Tabla 3.2.7-6. Se destaca que sobre los 2.000 m s.n.m. el régimen de precipitaciones se encuentra marcado por el invierno altiplánico en el período estival, para el cual se ha definido un año hidrológico desde julio a junio. Por el contrario, cerca de la costa las precipitaciones son muy bajas (los promedios mensuales no superan 0,6 mm), y se producen principalmente en invierno.

Si bien las estaciones Quebrada Blanca, Ujina y Collahuasi se encuentran muy próximas, el relleno estadístico realizado indica un gradiente de precipitaciones en esa zona, siendo la estación Quebrada Blanca aquella que presenta un menor registro de precipitación entre ellas. Es posible que esta diferencia entre estaciones se deba a efectos orográficos de la zona, a la naturaleza convectiva de las tormentas que ocurren en el Invierno Altiplánico y/o a la representatividad espacial de la ubicación de cada una de las estaciones.

Tabla 3.2.7-6. Precipitación media mensual y anual (mm)

Estación	Elevación (m s.n.m.)	Valores medios mensuales (mm)												Año hidrológico (jul-jun)	
		Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual	Desv. Est
Q. Blanca (CMTQB)	4.375	2,0	0,1	0,6	1,3	0,3	4,1	27,0	28,9	11,9	1,2	1,7	2,0	81,0	61,9
Ujina (DGA)	4.300	1,4	3,0	0,4	1,6	0,9	6,8	38,5	37,5	12,9	1,3	1,1	2,0	10,7	69,9
Collahuasi (DGA)*	4.250	2,4	2,3	1,6	0,4	1,0	6,4	43,4	30,9	19,3	2,3	3,1	2,9	11,6	35,2
Coposa (DGA)	3.760	2,3	0,3	0,4	0,2	0,6	4,6	27,0	27,5	10,9	1,3	1,0	2,0	78,2	74,5
Copaquire (DGA)	3.540	1,6	2,6	0,4	0,3	0,1	4,5	26,4	21,9	14,2	0,0	1,1	1,1	74,2	72,1
Guatacondo (DGA)	2.460	1,3	0,9	0,1	0,0	0,0	2,1	8,4	6,7	2,8	0,1	0,1	0,2	22,7	22,3
Quillagua (DGA)	802	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,4	1,0
Tocopilla (DGA)	150	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,3	4,1
D. Aracena (DMC)	52	0,4	0,1	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	1,5	3,3
Iquique (DGA)	50	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	1,4	3,4

(*) La estación Collahuasi se incluye sólo en forma referencial, ya que es una estación principalmente rellenada.

Fuente: Tabla 6 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

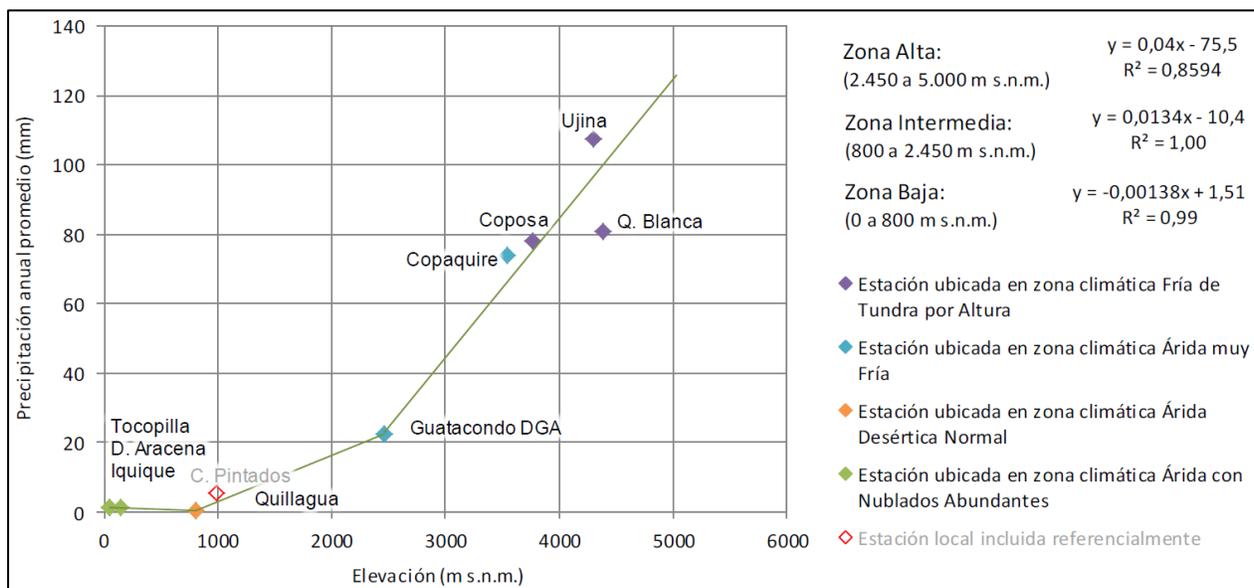
Los valores medios presentados representan la variabilidad espacial de las precipitaciones, obteniéndose en las estaciones a gran altura (sobre los 4.000 m s.n.m.) precipitaciones medias generalmente mayores a 100 mm al año, mientras que en las de más baja elevación, valores cercanos a los 1,5 mm (50 m s.n.m. aproximadamente). De los resultados presentados en la Tabla 3.2.7-6, se aprecia también una alta variabilidad interanual de las precipitaciones, con desviaciones estándares de valores en el mismo orden de magnitud del valor promedio. Esta variabilidad interanual está influenciada por los fenómenos de La Niña / El Niño que afectan la ocurrencia de precipitaciones en la zona.

- Relación entre altitud y Precipitación media anual a nivel regional

Utilizando la información presentada en la Tabla 3.2.7-6, se desarrolló una relación gráfica de precipitación media anual versus elevación, con la cual se han estimado los valores medios de precipitación a lo largo de la zona del proyecto. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 3.2.7-15, en donde se ha agregado la estación local Colonia Pintados, de forma referencial.

La estación Choja Sur, con un poco más de un año de información, se ve altamente influenciada por un gran evento de tormenta ocurrido en febrero de 2011, el cual fue registrado en la mayoría de las estaciones en estudio, por lo cual muestra una precipitación media anual que es mucho mayor que lo que se esperaría en un promedio de largo plazo. Finalmente, la estación Huatacondo muestra inconsistencias en su registro, respecto de lo que se ha medido en el período concurrente en la estación cercana Guatacondo DGA. Por estos motivos, estas dos estaciones locales se han excluido de la Figura 3.2.7-15, incluso de forma referencial.

Figura 3.2.7-15. Curva regional de Precipitación media anual vs elevación



Fuente: Figura 8 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Se distinguen en esta figura las zonas climáticas en las que se encuentra cada estación, de acuerdo a la clasificación de Köppen, según se describió en el acápite 3.2.7.4.2a. En relación a dichas zonas climáticas, se destaca la baja precipitación observada en Quillagua, menor incluso que en las estaciones costeras, lo cual es consistente con el clima desértico en donde se encuentra.

Se aclara que, si bien esta relación utiliza estaciones ubicadas entre las elevaciones 50 y 4.400 m s.n.m. aproximadamente, se considera que es representativa de elevaciones hasta aproximadamente 5.000 m s.n.m., que corresponde a las cotas mayores dentro del Área de Influencia.

- Análisis de frecuencia de Precipitación anual a nivel regional

Se realizó un análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales registradas en las estaciones de la zona de estudio, a partir de las estadísticas rellenas y/o extendidas en el período 1987-2015 (ver Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA (en específico en el Anexo D de dicho documento)), obteniéndose para cada una de ellas los valores de precipitación para probabilidades de excedencia entre 1% y 85%. Los datos fueron analizados utilizando las distribuciones Normal (N), Log Normal (LN), Pearson III (PIII), Log Pearson III (LPIII) y Gumbel (G). La distribución de mejor ajuste fue seleccionada para cada estación considerando su ajuste gráfico, coeficientes de correlación y resultados del test Chi Cuadrado. La Tabla 3.2.7-7 presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Para todas las estaciones se han escogido distribuciones de probabilidad que presentan un buen ajuste estadístico y gráfico, y que además permiten ubicar las precipitaciones obtenidas dentro de un contexto regional congruente, privilegiándose la tendencia regional por sobre la precisión de los datos puntuales registrados en cada estación. Así, para los diferentes períodos de retorno analizados, se obtuvo una relación de precipitación media anual versus elevación, según es presentado en la Figura 3.2.7-16.

Para la construcción de estas curvas de precipitación-elevación se han excluido las estaciones Copaquire, Tocopilla y Quillagua, por la poca confiabilidad de los resultados del análisis de frecuencia (Copaquire) y por tener muchos años con valores nulos de precipitación.

Al igual que la relación de precipitación media anual versus elevación, mostrada en la Figura 3.2.7-15, las relaciones entregadas para la precipitación media anual asociada a distintas probabilidades de excedencia se consideran representativas y aplicables a toda el Área de Influencia.

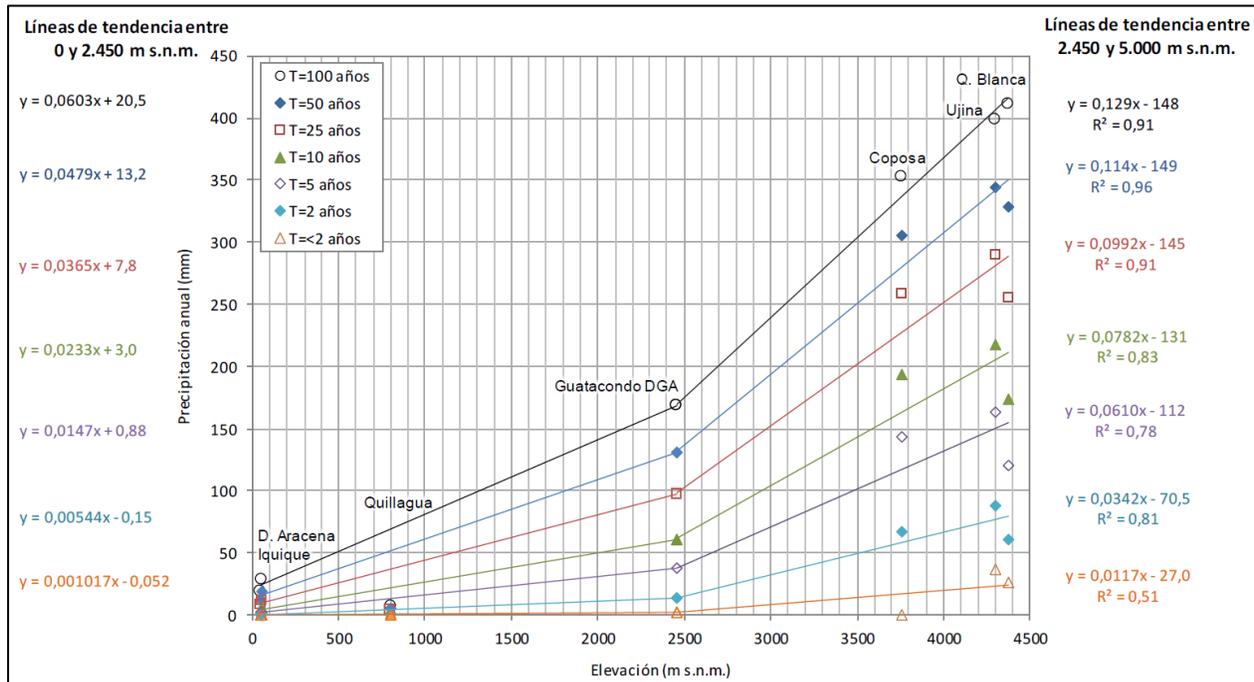
Tabla 3.2.7-7. Análisis de frecuencia de Precipitaciones anuales (mm)

Período Retorno (años)	Prob. Exc. (%)	D. Aracena	Iquique	Quillagua	Guatacondo	Copaquire	Coposa	Ujina	Q. Blanca
		52	50	802	2.460	3.540	3.760	4.300	4.375
		(m s.n.m)	(m s.n.m)	(m s.n.m)	(m s.n.m)	(m s.n.m)	(m s.n.m)	(m s.n.m)	(m s.n.m)
100	1	28,0	19,1	6,7	169	339	352	399	411
50	2	18,8	12,6	4,6	13,1	29,5	30,5	34,4	328
25	4	11,6	7,7	3,0	97,6	24,9	25,8	28,9	256
10	10	4,8	3,5	1,3	60,2	18,7	19,4	21,7	173
5	20	1,6	1,6	0,4	37,1	13,8	14,3	16,3	121
2	50	0,0	0,3	0,0	13,2	61,9	66,9	88,1	60,3
<2	85	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	36,9	25,6
Prom. Anual		1,5	1,4	0,4	22,7	74,2	78,2	107	81,0
Distribución		LP III	LN	LN	LP III	G	G	LP III	LN
Coeficiente R ²		0,91	0,92	0,98	0,91	0,90	0,86	0,94	0,98
X ² cal/X ² 1- α		5,02	0,88	0,31	0,89	0,76	0,70	0,95	0,50

Nota: Los resultados de Quillagua y Copaquire se muestran de forma referencial, y no se incluyen en la construcción de las curvas precipitación-elevación.

Fuente: Tabla 7 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Figura 3.2.7-16. Curvas regionales de Precipitación anual (según probabilidades de excedencia) vs elevación



Fuente: Figura 9 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

- **Análisis de Precipitación anual y mensual en el Área de Influencia**

A continuación, se presenta el análisis de precipitación para el Área de Influencia, que incluye las cuencas de las quebradas Choja, Guatacondo y Paguana, además del Área Mina (sub áreas Mina y Depósito de Relaves). En términos de la precipitación media anual se consideraron las curvas regionales de precipitación-altura. En cuanto a la distribución mensual, se utilizó la información de precipitación de la estación Quebrada Blanca como representativa de las diferentes cuencas y sub áreas del Área de Influencia.

- **Precipitación anual en el Área de Influencia**

Dada la información en una escala regional, presentada en la Figura 3.2.7-16, se determinó la precipitación anual para diferentes períodos de retorno en el Área de Influencia. Para lo anterior, se ha considerado, para las cuencas quebrada Choja, quebrada Guatacondo y Paguana elevaciones medias de 4.277, 4.289 y 4.132 m s.n.m., respectivamente. Del mismo modo se hizo en las sub áreas Mina y Depósito de Relaves, con elevaciones medias de 4.200 y 4.050 m s.n.m., respectivamente. En la Tabla 3.2.7-8 se presenta la precipitación anual en cada cuenca y sub área del Área de Influencia.

Tabla 3.2.7-8. Precipitación anual en Área de Influencia (mm)

Cuenca/Área	Elevación (m s.n.m)	Probabilidad de Excedencia (%)/Período de Retorno T (años)							Promedio
		1	2	4	10	20	50	85	
		T=100	T=50	T=25	T=10	T=5	T=2	T<2	
Q. Choja	4.277	404	339	279	203	149	76	23	96
Q. Guatacondo	4.289	405	340	280	204	150	76	23	96
Q. Paguana	4.132	385	322	265	192	140	71	21	90
Sub área Mina	4.200	393	329	269	196	142	72	23	92
Sub área Dep. Relaves	4.050	373	312	255	184	133	67	21	86

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

▪ Distribución mensual de Precipitaciones en el Área de Influencia

Se estudió la distribución mensual de las precipitaciones para la estación Quebrada Blanca, de modo de estimar la distribución mensual que presentarán las precipitaciones para años de diferentes períodos de retorno en las distintas cuencas y sub áreas que pertenecen al Área de Influencia. Se ha seleccionado esta estación (Quebrada Blanca) por su ubicación en el Área Mina y por su cercanía y similar elevación con las cuencas del Área de Influencia, permitiendo así representar mejor el patrón de precipitaciones en dicho sector.

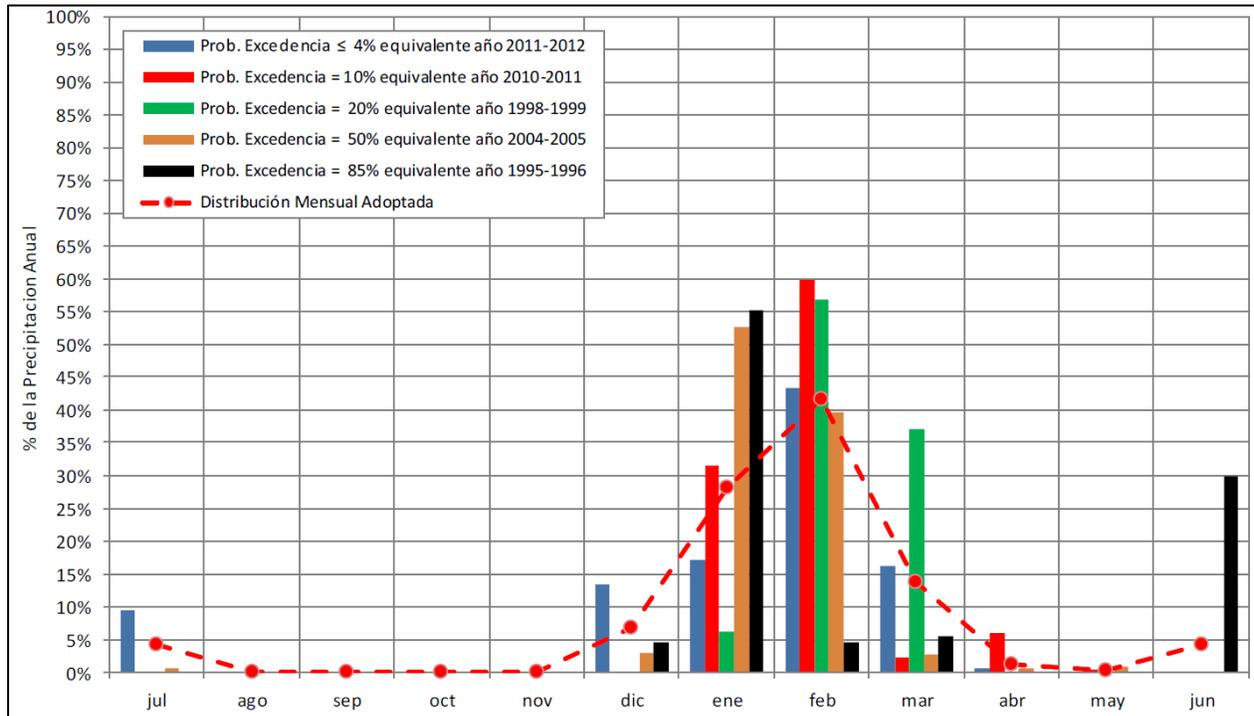
Se seleccionó, en la estación escogida, los años hidrológicos históricos que mejor se ajustaron a los períodos de retorno de interés, considerando la distribución mensual de precipitaciones observada durante ese año, los que se muestran en la Tabla 3.2.7-9. A partir de este análisis, se adoptó una distribución mensual tipo, para la estación Quebrada Blanca, la que se muestra en la Figura 3.2.7-17.

Tabla 3.2.7-9. Estación Quebrada Blanca – series históricas utilizadas para la distribución mensual

T (años)	Prob. Exec. (%)	Análisis de Frecuencia	Serie Histórica	
		Precipitación Anual (mm)	Pp Anual Observada (mm)	Año Hidrológico
100	1	411	249	2011-2012
50	2	328	249	2011-2012
25	4	256	249	2011-2012
10	10	173	171	2010-2011
5	20	121	118	1998-1999
2	50	60	59	2004-2005
<2	85	26	28	1995-1996

Fuente: Tabla 11 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Figura 3.2.7-17. Distribución mensual de precipitación en estación Quebrada Blanca



Fuente: Figura 12 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

A partir de la distribución mensual de las precipitaciones obtenida del análisis anterior, se estimó la distribución de precipitaciones en forma mensual para la estación Quebrada Blanca, para los diferentes períodos de retorno, lo que se muestra en la Tabla 3.2.7-10. Notar que los valores anuales corresponden a aquéllos presentados en la Tabla 3.2.7-7.

Tabla 3.2.7-10. Distribución mensual de Precipitación (mm) estación Quebrada Blanca

T (años)	Prob. Exec. (%)	Anual	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	1	411	17	0,0	0,0	0,1	0,0	28	116	171	56	4,8	0,7	18
50	2	328	14	0,0	0,0	0,1	0,0	22	92	136	45	3,8	0,6	14
25	4	256	11	0,0	0,0	0,1	0,0	17	72	106	35	3,0	0,5	11
10	10	173	7,2	0,0	0,0	0,1	0,0	12	49	72	24	2,0	0,3	7,4
5	20	121	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	34	50	17	1,4	0,2	5,2
2	50	60	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	17	25	8,3	0,7	0,1	2,6
<2	85	26	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	7,2	11	3,5	0,3	0,0	1,1

Fuente: Tabla 14 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Como se ha mencionado, las precipitaciones anuales representativas dentro del Área de Influencia, tanto a nivel promedio como asociadas a distintos períodos de retorno, se han obtenido a partir de las curvas regionales de precipitación-elevación desarrolladas (Figura 3.2.7-15 y Figura

3.2.7-16). La distribución mensual, en tanto, se ha asumido igual a aquella seleccionada para su respectiva estación representativa (Quebrada Blanca), según el análisis de distribuciones mensuales descrito anteriormente. En las Tabla 3.2.7-11 a Tabla 3.2.7-15 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 3.2.7-11. Distribución mensual de Precipitación (mm) cuenca quebrada Choja

T (años)	Prob. Exec. (%)	Anual	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	1	404	17	0,0	0,0	0,1	0,0	27	114	168	55	4,7	0,7	18
50	2	339	14	0,0	0,0	0,1	0,0	23	95	141	47	3,9	0,6	14
25	4	279	12	0,0	0,0	0,1	0,0	19	79	116	38	3,3	0,5	12
10	10	203	8,4	0,0	0,0	0,1	0,0	14	57	84	28	2,3	0,4	8,6
5	20	149	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	10	42	62	21	1,7	0,2	6,4
2	50	76	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	21	32	10	0,9	0,1	3,3
<2	85	23	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	6,4	9,8	3,1	0,3	0,0	1,0
Promedio		96	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	27	40	13	1,1	0,1	4,1

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Tabla 3.2.7-12. Distribución mensual de Precipitación (mm) cuenca quebrada Guatacondo

T (años)	Prob. Exec. (%)	Anual	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	1	405	17	0,0	0,0	0,1	0,0	28	114	168	55	4,7	0,7	18
50	2	340	15	0,0	0,0	0,1	0,0	23	96	141	47	3,9	0,6	15
25	4	280	12	0,0	0,0	0,1	0,0	19	79	116	38	3,3	0,5	12
10	10	204	8,4	0,0	0,0	0,1	0,0	14	57	84	28	2,3	0,4	8,7
5	20	150	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	10	42	62	21	1,7	0,2	6,4
2	50	76	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	21	32	10	0,9	0,1	3,3
<2	85	23	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	6,4	9,8	3,1	0,3	0,0	1,0
Promedio		96	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	27	40	13	1,1	0,1	4,1

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Tabla 3.2.7-13. Distribución mensual de Precipitación (mm) cuenca quebrada Paguana

T (años)	Prob. Exec. (%)	Anual	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	1	385	16	0,0	0,0	0,1	0,0	26	109	160	52	4,5	0,7	17
50	2	322	14	0,0	0,0	0,1	0,0	22	90	134	44	3,7	0,6	14
25	4	265	11	0,0	0,0	0,1	0,0	18	75	110	36	3,1	0,5	11
10	10	192	7,9	0,0	0,0	0,1	0,0	13	54	79	26	2,2	0,3	8,2
5	20	140	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	39	58	20	1,6	0,2	6,0
2	50	71	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	20	29	9,8	0,8	0,1	3,1
<2	85	21	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	5,8	8,9	2,8	0,2	0,0	0,9
Promedio		90	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	25	37	12	1,0	0,1	3,9

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Tabla 3.2.7-14. Distribución mensual de Precipitación (mm) sub área Mina

T (años)	Prob. Exec. (%)	Anual	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	1	393	16	0,0	0,0	0,1	0,0	27	111	163	54	4,5	0,7	17
50	2	329	14	0,0	0,0	0,1	0,0	22	93	137	45	3,8	0,6	14
25	4	269	11	0,0	0,0	0,1	0,0	18	76	112	37	3,1	0,5	12
10	10	196	8,1	0,0	0,0	0,1	0,0	13	55	81	27	2,3	0,4	8,4
5	20	142	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	40	59	19	1,6	0,3	6,1
2	50	72	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	20	30	9,9	0,8	0,1	3,1
<2	85	23	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	6,6	9,7	3,2	0,3	0,0	1,0
Promedio		92	3,8	0	0	0	0	6,3	26	38	13	1,1	0,2	3,9

Fuente: Tabla 15 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Tabla 3.2.7-15. Distribución mensual de Precipitación (mm) sub área Depósito Relaves

T (años)	Prob. Exec. (%)	Anual	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	1	373	16	0,0	0,0	0,1	0,0	25	105	155	51	4,3	0,7	16
50	2	312	13	0,0	0,0	0,1	0,0	21	88	130	43	3,6	0,6	13
25	4	255	11	0,0	0,0	0,1	0,0	17	72	106	35	2,9	0,5	11
10	10	184	7,7	0,0	0,0	0,1	0,0	13	52	76	25	2,1	0,3	7,9
5	20	133	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	38	55	18	1,5	0,2	5,7
2	50	67	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	19	28	9,2	0,8	0,1	2,9
<2	85	21	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	6,1	8,9	2,9	0,2	0,0	0,9
Promedio		86	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	24	36	12	1,0	0,2	3,7

Fuente: Tabla 16 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

b.2) Línea de Nieve

No existe registro de información respecto a la ocurrencia de nieve en ninguna de las áreas de desarrollo del proyecto, tanto en las estaciones DGA como en las estaciones CMTQB. No obstante, es importante señalar que existen eventos de precipitación durante los meses de invierno que han generado nevadas en las partes más altas de las cuencas (sobre los 4.000 m s.n.m.), las cuales no han sido significativas en acumulación dado que estos eventos en general, de ocurrir, son de magnitudes e intensidades moderadas. Existen indicios de eventos de precipitación sólida durante los meses de verano, de muy baja intensidad y que, debido a la alta radiación solar y temperatura, se derriten rápidamente, lo que refuerza la idea de considerar sólo un aporte pluvial a estas cuencas. A continuación, se presenta un análisis de la elevación de la línea de nieve en la zona de estudio, la cual permite justificar que las cuencas aportantes presentarán condiciones de régimen pluvial.

En la Tabla 3.2.7-16 se presentan, a modo de referencia, los valores de la elevación de la línea de nieves semi-permanente para distintas latitudes, de acuerdo a lo propuesto por Escobar y Vidal (1992).

Tabla 3.2.7-16. Elevación de la Línea de Nieves (L.N) y Radiación Teórica Máxima (RS máx.)

Latitud (Grados)	Elevación L.N (m s.n.m)	RS máx. (Watt/m ²)
27,0	4.350	501
27,5	4.275	502
28,0	4.050	503
28,5	3.975	503
29,0	3.750	504
29,5	3.675	504
30,0	3.525	505
30,5	3.375	506
31,0	3.225	507
31,5	3.075	507
32,0	3.000	508
32,5	2.775	508
33,0	2.670	509
33,5	2.400	510
34,0	2.280	510
34,5	2.100	511
35,0	1.950	511

Fuente: Tabla 23 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

La zona de más alta elevación intervenida por el Proyecto Quebrada Blanca se ubica en la latitud 21°S, aproximadamente entre la cota 4.300 a 4.500 m s.n.m., por lo tanto, de acuerdo a lo presentado en la Tabla 3.2.7-16, es de esperar que la elevación de la línea de nieves supere los 4.500 m s.n.m. Si bien Escobar y Vidal (1992) realizan su estudio para la zona central de Chile, permite extrapolar un valor estimado de la ubicación de la cota media de la línea de nieves en la zona de estudio. Se espera que la ubicación de la línea de nieves del sector sea igual o superior a los 4.375 m s.n.m. en cualquier caso.

En el estudio realizado por Robles y Santander (2011), se define la elevación de la línea de nieve a partir de la temperatura índice presentada el mismo día del evento de precipitación máxima en 24 horas anual, suponiendo un gradiente constante de descenso de la temperatura con la altura, $\gamma = -0,0065 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$. A partir del método definido por los autores es posible determinar a qué altura la temperatura desciende hasta los 0°C, de tal manera de definir la posición de la línea de nieve como $LN = H_0 - 300 \text{ m s.n.m.}$ (Garreaud, 1992), donde H_0 corresponde a la cota de la isoterma 0°C.

El valor de la altura H_0 fue determinado en la zona del Proyecto a partir de la temperatura índice, dada como la temperatura registrada a la hora de máxima intensidad durante la tormenta de precipitación máxima de 24 horas.

Considerando que la estación Quebrada Blanca se encuentra aproximadamente en la cota 4.375 m s.n.m. se presenta a continuación los resultados del cálculo de la elevación de la línea de nieves considerando el método propuesto por Robles y Santander (2011). Si bien el estudio se realizó para la zona central de Chile, la metodología presentada es válida en la zona de estudio, pues a través de mediciones locales en términos generales es posible determinar la ubicación de la línea de nieves en forma bastante precisa mediante el empleo del gradiente adiabático.

En consecuencia, de los resultados mostrados en la Tabla 3.2.7-17, el Área de Influencia presentaría sólo características pluviales, dado que se ubica bajo la mínima cota de nieve calculada para el año 2013/2014 de 4.495 m s.n.m.

De esta forma, para efectos de caracterizar el régimen hidrológico de las cuencas, se ha considerado que éstas presentarán un comportamiento netamente pluvial. Lo anterior se concluye en atención de que las precipitaciones, en las estaciones ubicadas sobre los 2.000 m s.n.m., se concentran en promedio casi en un 100% en el período del Invierno Altiplánico (diciembre-marzo), período que también corresponde a la época cálida del año. Por lo tanto, se espera que todas las cuencas afectadas no presenten acumulación de nieve en el período.

Tabla 3.2.7-17. Resultados elevación de la Línea de Nieve estación Quebrada Blanca

Año Hidrológico (Jul-Jun)	Fecha Pmax.	Pmax24 hr (mm)	Hora max intensidad	T índice (°C)	Ho 0°C (m s.n.m.)	Línea de Nieve (m s.n.m.)
2004/2005	11-01-2005	11	12:00-13:00	9,5	5.842	5.542
2005/2006	31-01-2006	8	16:00-17:00	8,3	5.657	5.357
2006/2007	13-01-2007	6	10:00-11:00	8,4	5.672	5.372
2007/2008	15-01-2008	19	18:00-19:00	5,1	5.165	4.865
2008/2009	21-02-2009	4	14:00:15:00	8,5	5.688	5.388
2009/2010	21-01-2010	3	17:00-18:00	6,8	5.426	5.126
2010/2011	30-01-2011	22	14:00-15:00	3,4	4.903	4.603
2011/2012	20-02-2012	23	12:00-13:00	3,2	4.872	4.572
2012/2013	17-01-2013	6	19:00-20:00	4,1	5.004	4.704
2013/2014	16-01-2014	13	15:00-16:00	2,7	4.795	4.495
2014/2015	06-02-2015	15	20:00-21:00	2,8	4.811	4.511
Cota Mínima						4.495

Fuente: Tabla 24 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA

b.3) Eventos extremos: Precipitación máxima diaria

Las estaciones meteorológicas consideradas para el análisis de precipitaciones máximas en la zona del Proyecto Quebrada Blanca fueron: Quebrada Blanca, Ujina, Coposa, Copaquire, Guatacondo DGA, Iquique, y Diego Aracena.

El registro de las estaciones con precipitaciones máximas diarias en la zona del Proyecto se presenta en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA (en específico en el Anexo F de dicho documento).

- Estadística de Precipitación máxima

Para efectos de la caracterización de las precipitaciones máximas diarias representativas del Área de Influencia, se han tomado en cuenta las estadísticas completas disponibles en las estaciones anteriormente mencionadas. Dichas estadísticas corresponden a series de máximos anuales de precipitaciones diarias, para lo cual se han seleccionado, para cada año hidrológico, la mayor precipitación diaria del período húmedo. En el caso de las estaciones ubicadas sobre los 2.000 m s.n.m. dicho período es el estival, considerado entre los meses de noviembre y abril, ambos inclusive. En el caso de las estaciones costeras, el período húmedo corresponde al invernal. En ambos casos, los eventos asociados al período húmedo suelen ser los eventos máximos de todo el año.

Como es característico de la zona altiplánica, se ha identificado que las tormentas extremas en la zona de estudio en altura ocurren principalmente en verano, asociadas a fenómenos convectivos, resultantes en eventos de gran intensidad y radio de influencia reducido en

comparación a los sistemas frontales que afectan las zonas más bajas. Éstos son eventos estadísticamente difíciles de analizar, generalmente no habiendo buenas correlaciones entre registros de distintas estaciones, o entre las precipitaciones máximas y las precipitaciones medias mensuales o anuales para una misma estación. En cuanto a las estaciones costeras, tampoco se observó una buena correlación entre los eventos extremos registrados en ellas, debido posiblemente a la pequeña magnitud y frecuencia de dichos eventos.

Por este motivo, las series de eventos máximos se consideraron tal como fueron registradas, sin rellenar años con datos faltantes ni extender estadísticas.

Al ser analizadas, las series de precipitaciones máximas diarias fueron aumentadas en un 10%, para hacerlas representativas de precipitaciones máximas en 24 horas.

- Análisis de frecuencia de Precipitación máxima

Se ha realizado un análisis de frecuencia a partir de las series de precipitaciones máximas en 24 horas mencionadas, considerando 5 distribuciones de probabilidad: Normal (N), Log Normal (LN), Pearson III (PIII), Log Pearson III (LPIII) y Gumbel (G). La bondad de los ajustes se evaluó gráficamente, considerando el coeficiente de correlación R2 y mediante un test Chi cuadrado.

El resumen de los resultados del análisis de frecuencia para las siete estaciones se presenta en la Tabla 3.2.7-18 y los resultados gráficos y cálculos se presentan en el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA (en específico en el Anexo G de dicho documento).

Tabla 3.2.7-18. Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) según período de retorno (años)

Estaciones	Elevación (m s.n.m)	T (Años)/ Prob. Exec (%)							Distribución
		200	100	50	25	10	5	2	
		0,5	1	2	4	10	20	50	
D. Aracena	52	19	16	13	10	6,4	2,8	0	G
Iquique	50	20	13	9	5	2,3	1,1	0,1	LPIII
Guatacondo	2.460	41	33	27	21	14	9,5	4,4	LPIII
Copaquire	3.540	60	53	47	40	31	23	12	PIII
Coposa	3.760	54	47	41	35	27	21	14	LN
Ujina	4.300	61	55	49	43	35	29	20	LN
Q. Blanca	4.375	64	54	45	37	27	20	12	LN

Fuente: Modificado de Tabla 25 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

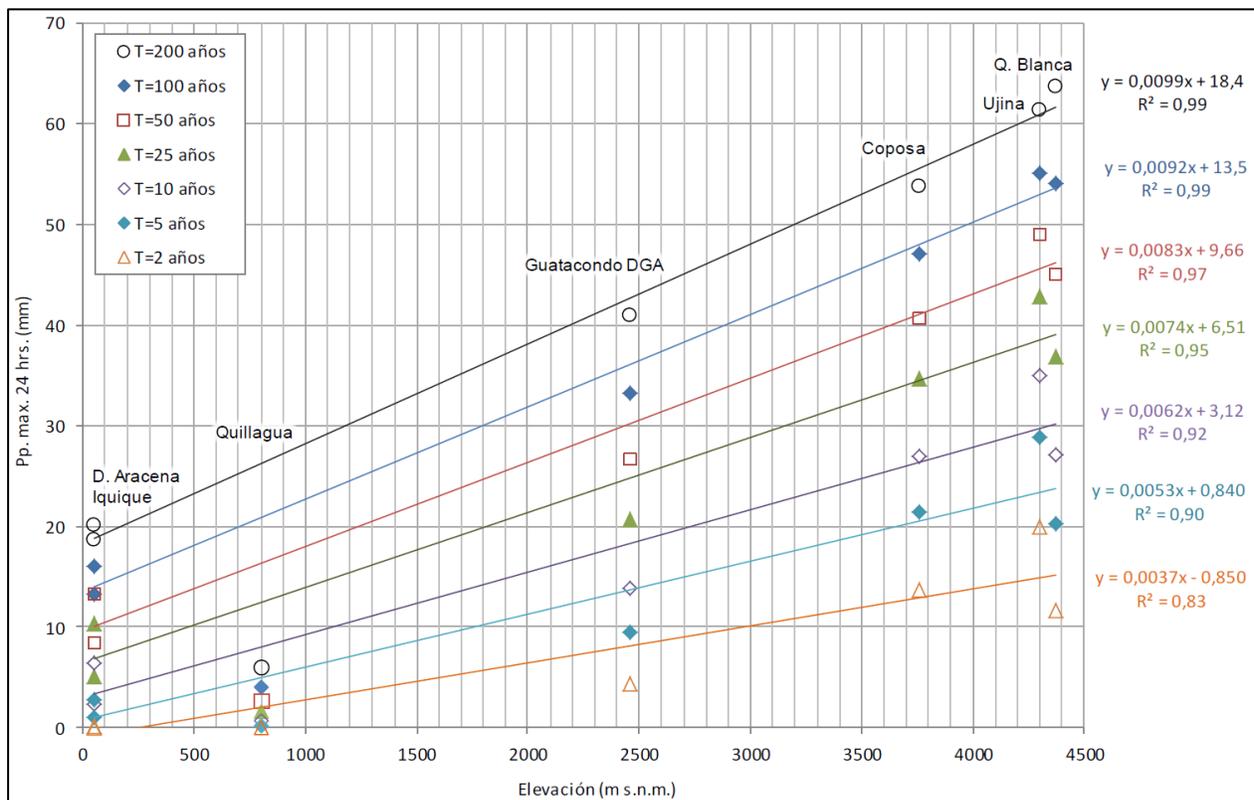
Para todas las estaciones se han escogido distribuciones de probabilidad que presentan un buen ajuste estadístico, y gráfico, y que además permiten ubicar las precipitaciones obtenidas dentro de un contexto regional congruente.

- Relación Precipitación máxima y elevación

La relación precipitación máxima - elevación, obtenida a partir de la Tabla 3.2.7-18, se presenta en la Figura 3.2.7-18. El objetivo de estas curvas es definir la precipitación en el Área de Influencia.

Al igual que para el Análisis de Frecuencia de Precipitación Anual a nivel Regional, para la construcción de estas curvas de precipitación-elevación se han excluido las estaciones Copaquire, Tocopilla y Quillagua, por la poca confiabilidad de los resultados del análisis de frecuencia (Copaquire) y por tener muchos años con valores nulos de precipitación.

Figura 3.2.7-18. Curvas regionales de Precipitación máxima vs. elevación, para distintos períodos de retorno



Fuente: Figura 13 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

La Precipitación Máxima Probable (PMP) se define como la máxima altura de lluvia que tiene posibilidad de ocurrir cuando se reúnen las condiciones más desfavorables, tanto meteorológicas como de contenido de humedad en la atmósfera. La Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2009) propone un método con base física para determinar la magnitud de dicho evento, conocido como Método Hidrometeorológico, pero que requiere de información de detalle que generalmente no se tiene, por lo cual la misma WMO propone para dichos casos la estimación de la PMP mediante métodos de base estadística, siendo uno de los más utilizados aquel propuesto por Herschfield (1961).

El método de Herschfield establece una curva envolvente superior para describir la relación entre la PMP y el promedio y la desviación estándar de la serie de precipitación máxima, mediante la definición de factores de frecuencia, según la siguiente ecuación:

$$PMP = (X'_{PPmax} + K_m S'_{PPmax}) \cdot F$$

Donde X'_{PPmax} y S'_{PPmax} son, respectivamente, el promedio corregido y la desviación estándar corregida de la serie de precipitaciones máximas diarias, y K_m es el factor de frecuencia máximo que se obtiene a partir de las relaciones gráficas propuestas por Herschfield.

Stöwhas (1983) realizó una revisión de esta metodología utilizando registros pluviométricos en Chile, y propuso como alternativa, el uso de una curva envolvente construida a partir de las estadísticas chilenas, la cual incorpora la dependencia de K_m respecto de C_v , y que entrega resultados menos conservadores que los de Herschfield cuando C_v es mayor que 0,35. Finalmente, Stöwhas propone comparar los resultados obtenidos mediante este método, con aquéllos resultantes de asumir un coeficiente de frecuencia igual a 11, lo cual entregaría un límite inferior para la estimación de la PMP.

En la Tabla 3.2.7-19 se resumen los resultados obtenidos mediante los métodos descritos, para las cuatro estaciones ubicadas a mayor altitud: Quebrada Blanca, Ujina, Collahuasi y Coyacagua. En dicha tabla se observa que los resultados obtenidos mediante el método modificado por Stöwhas efectivamente son menos conservadores que aquéllos entregados por el método de Herschfield, siendo siempre mayores que aquéllos determinados por un coeficiente de frecuencia igual a 11. Se considera que, para la mayoría de las estaciones analizadas, el valor obtenido según el método de Stöwhas es el más representativo de la PMP en la zona altiplánica. No obstante, en el caso de la estación Quebrada Blanca, se considera que dicho valor puede estar subestimando la PMP de la zona, dada la diferencia observada respecto de los resultados en el resto de las estaciones, por lo cual se considera la PMP según Herschfield como el valor más adecuado en dicha estación.

La PMP es particularmente relevante para la sub área Depósito de Relaves, donde se requiere para efectos de diseño. Luego, se destaca el hecho de que el Reglamento de Obras Mayores (MOP, 2015) establece que, para efectos del diseño del vertedero evacuador de crecidas para un depósito tal como el proyectado (Anexo 1.6 del Capítulo 1 del EIA), se debe considerar el máximo entre la PMP y la precipitación máxima en 24 horas asociada a un período de retorno de 10.000 años. En vista de lo anterior, se incluye en la Tabla 3.2.7-19 el valor de dicha precipitación máxima.

Finalmente, dado que la estación Ujina es la que posee el registro más largo, de entre las estaciones altiplánicas ubicadas en la cercanía del Área de Influencia, y por ser la que entrega el máximo valor de la PMP en esta zona, se ha adoptado, de forma conservadora, el valor de 184 mm obtenido para dicha estación, como representativo de la PMP de toda el Área de Influencia.

Tabla 3.2.7-19. PMP estimada mediante métodos de Herschfield y Stöwahas (mm)

Parámetro	Q. Blanca (CMTQB) (4.375 m s.n.m.)	Ujina (DGA) (4.300 m s.n.m.)	Collahuasi (DGA) (4.250 m s.n.m.)	Coyacagua (DGA) (4.013 m s.n.m.)
Herschfield	174	288	208	179
Stöwahas (Envolvente según Cv)	109	184	161	148
Stöwahas (K=11)	107	181	131	113
P 24 máx (T=10.000 años)	136	100	100	93
PMP adoptada por estación	174	184	161	148
PMP/P24max (T=10.000 años)	1,3	1,8	1,6	1,6
PMP adoptada para Área de Influencia	184			

Fuente: Modificada de Tabla 27 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

- Precipitaciones máximas en el Área de Influencia

Aplicando las expresiones precipitación máxima vs. elevación que se muestran en la Figura 3.2.7-18, se han estimado las precipitaciones máximas en 24 horas representativas del Área de Influencia, como se detalla en la Tabla 3.2.7-20. Se incluye además la PMP obtenida, según se describe en el punto anterior.

Tabla 3.2.7-20. Precipitaciones máximas en 24 hrs (mm) en Área de Influencia

Cuenca/Área	Elevación (m s.n.m.)	Período de Retorno (años)							PMP
		200	100	50	25	10	5	2	
Choja	4.277	61	53	45	38	30	23	15	184
Guatacondo	4.289	61	53	45	38	30	23	15	184
Paguana	4.132	59	51	44	37	29	23	14	184
Sub área Mina	4.200	60	52	45	38	29	23	14	184
Sub área Dep. Relaves	4.150	58	51	43	37	28	22	14	184

Fuente: Modificado de Tabla 28 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

b.4) Resumen de Precipitaciones en el Área de Influencia

A continuación, se presenta en la Tabla 3.2.7-21 un resumen de las principales condiciones de precipitaciones en las diferentes cuencas y áreas asociadas al Proyecto.

Tabla 3.2.7-21. Resumen Precipitaciones en Área de Influencia (mm)

Cuenca/Área	Elevación (m s.n.m.)	Pp Anual Promedio	Pp Anual año normal (Pexc 50%)	Pp Anual año seco (Pexc 85%)	Pp max en 24 hrs. T**=100	Pp max en 24 hrs. T**=200
Choja	4.277	96	76	23	53	61
Guatacondo	4.289	96	76	23	53	61
Paguana	4.132	90	71	21	51	59
Sub área Mina	4.200	92	72	23	52	60
Sub área D. Relaves	4.050	86	67	21	51	58

* Pexc: Probabilidad de excedencia. ** T: Período de retorno (años).

Fuente: Modificado de Tabla 31 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

c) Caracterización Temperatura

c.1) Información disponible

Para el análisis de temperatura se utilizó la información regional recopilada a partir de información pública en las estaciones de la Dirección General de Aguas, Dirección Meteorológica de Chile y estaciones administradas por CMTQB, las cuales se muestran en la Tabla 3.2.7-22. Tal información representa de manera regional las características meteorológicas principales de la zona de estudio. Las estaciones consideradas contienen estadísticas de la temperatura mínima, máxima y media mensual en sus respectivos períodos de registro.

En la Figura 3.2.7-19 se presenta una matriz con el registro disponible de temperatura en las distintas estaciones. En el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA (en específico en el Anexo K de dicho documento) se presentan los registros de temperatura utilizados para este análisis.

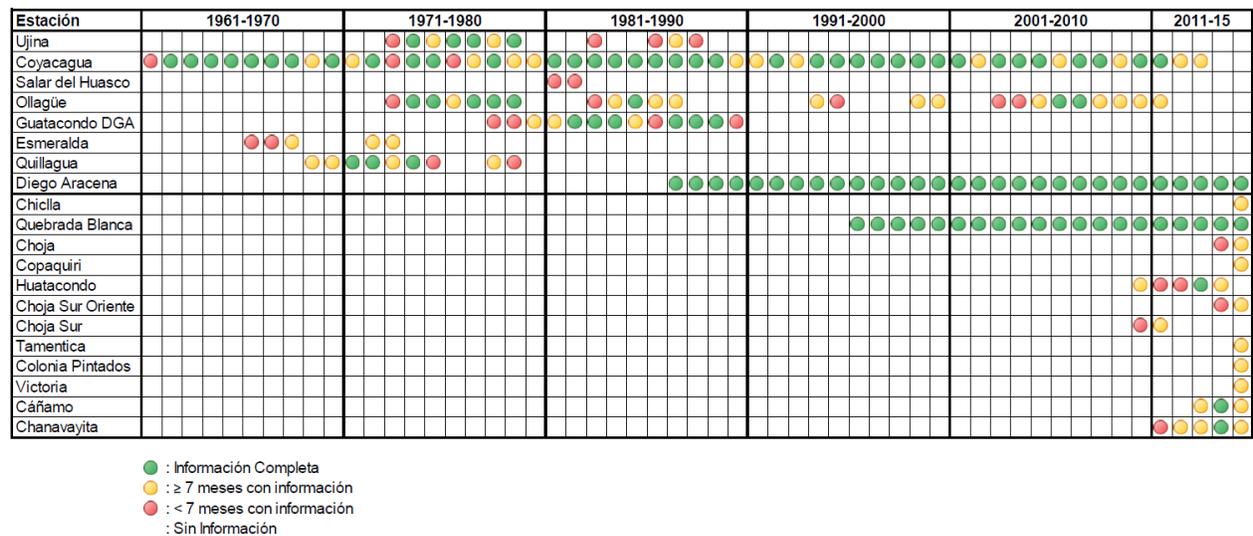
Tabla 3.2.7-22. Estaciones con registros de Temperatura

Estación	Código BNA	Datum WGS84		Elevación (m s.n.m.)	Período de Registro	
		UTM Norte	UTM Este			
Regional	Ujina (DGA)	01080001-3	7.680.944	538.722	4.300	1973-1988
	Coyacagua (DGA)	01050007-9	7.782.608	520.130	4.013	1961-2013
	Salar del Huasco (DGA)	01051003-1	7.757.931	511.892	3.800	1981-1982
	Ollagüe (DGA)	02000001-5	7.652.920	577.892	3.700	1973-2011
	Guatacondo (DGA)	02113005-2	7.685.876	495.262	2.460	1978-1990
	Esmeralda (DGA)	01700008-K	7.734.864	460.226	1.115	1966-1973
	Quillagua (DGA)	02112008-1	7.604.648	444.557	802	1969-1979
	Diego Aracena (DMC)	-	7.729.430	378.020	52	1987-2015
Local	Chiclla (CMTQB)	-	7.674.176	527.742	4.522	Mar-Sep 2015
	Quebrada Blanca (CMTQB)	-	7.677.548	521.512	4.375	1996-2015
	Choja (CMTQB)	-	7.671.515	512.516	3.991	2014-2015

Estación	Código BNA	Datum WGS84		Elevación (m s.n.m.)	Período de Registro
		UTM Norte	UTM Este		
Copaquiri (CMTQB)	-	7.685.543	511.315	3.518	Mar-Sep 2015
Huatacondo (CMTQB)	-	7.685.975	494.600	2.280	2010-2014
Choja Sur Oriente (CMTQB)	-	7.667.019	486.650	2.061	2014-2015
Choja Sur (CMTQB)	-	7.663.750	478.783	1.810	2010-2011
Tamentica (CMTQB)	-	7.681.639	481.559	1.719	Mar-Sep 2015
Colonia Pintados (CMTQB)	-	7.718.882	440.525	992	Ene-Oct 2015
Victoria (CMTQB)	-	7.706.335	431.429	960	Mar-Sep 2015
Cañaño (CMTQB)		7.699.690	376.810	12	2013-2015
Chanavayita (CMTQB)		7.709.970	376.100	4	2011-2015

Fuente: Tabla 32 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Figura 3.2.7-19. Matriz de registro de Temperaturas



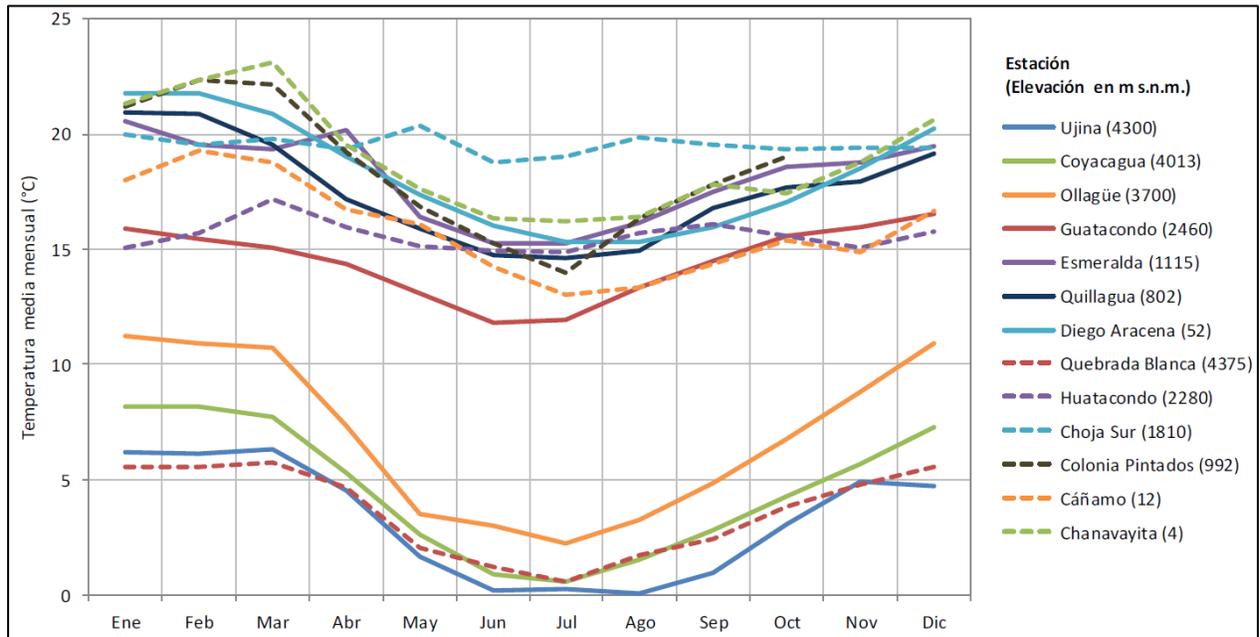
Fuente: Figura 18 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

c.2) Análisis regional de Temperatura

A continuación, se realiza un análisis de la distribución mensual de la temperatura en las estaciones que caracterizan su comportamiento regional. En él, es posible observar la variación estacional de la temperatura media, con máximos en los meses de verano (enero-febrero) y mínimos en los meses de invierno (junio-agosto).

En la Figura 3.2.7-20 se muestran las temperaturas medias mensuales de las estaciones con al menos un año de información, mientras que sus valores se detallan en la Tabla 3.2.7-22. Excepcionalmente, se incluye de forma referencial, la estación Colonia Pintados, la cual, si bien cuenta con 10 meses de datos, entrega información valiosa que permite caracterizar la zona desértica de elevación intermedia (en el entorno de los 1.000 m s.n.m.).

Figura 3.2.7-20. Temperatura media mensual en estaciones con información disponible



Fuente: Figura 19 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Tabla 3.2.7-23. Temperatura media mensual y anual (°C)

Estación	Elevación (m s.n.m.)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ujina (DGA)	4.300	6,2	6,1	6,3	4,5	1,7	0,2	0,2	0,1	0,9	3,1	4,9	4,8	3,3
Coyacagua (DGA)	4.013	8,2	8,2	7,7	5,3	2,6	0,9	0,6	1,6	2,8	4,3	5,7	7,3	4,6
Ollagüe (DGA)	3.700	11,2	10,9	10,7	7,4	3,5	3,0	2,3	3,3	4,8	6,7	8,8	10,9	7,0
Guatacondo (DGA)	2.460	15,9	15,5	15,0	14,3	13,1	11,8	11,9	13,4	14,5	15,6	16,0	16,5	14,5
Esmeralda (DGA)	1.115	20,5	19,5	19,3	20,2	16,4	15,3	15,3	16,1	17,5	18,5	18,8	19,4	18,1
Quillagua (DGA)	802	21,0	20,9	19,5	17,2	15,9	14,7	14,6	15,0	16,8	17,7	17,9	19,2	17,5
D. Aracena (DMC)	52	21,8	21,8	20,9	19,0	17,3	16,0	15,3	15,3	16,0	17,0	18,5	20,2	18,3
Q. Blanca (CMTQB)	4.375	5,6	5,6	5,7	4,7	2,0	1,2	0,6	1,7	2,4	3,8	4,8	5,5	3,6
Huatacondo (CMTQB)	2.280	15,1	15,7	17,2	16,0	15,1	14,9	14,9	15,7	16,1	15,5	15,0	15,8	15,6
Choja Sur (CMTQB)	1.810	20,0	19,5	19,8	19,3	20,4	18,8	19,0	19,8	19,5	19,3	19,4	19,4	19,5
C. Pintados (CMTQB)	992	21,2	22,3	22,1	19,2	16,9	15,2	14,0	16,3	17,8	19,0	-	-	18,6*
Cáñamo (CMTQB)	12	18,0	19,3	18,7	16,7	16,1	14,3	13,0	13,3	14,4	15,4	14,9	16,6	15,9
Chanavayita (CMTQB)	4	21,3	22,4	23,1	19,5	17,6	16,3	16,2	16,4	17,8	17,4	18,8	20,6	19,0

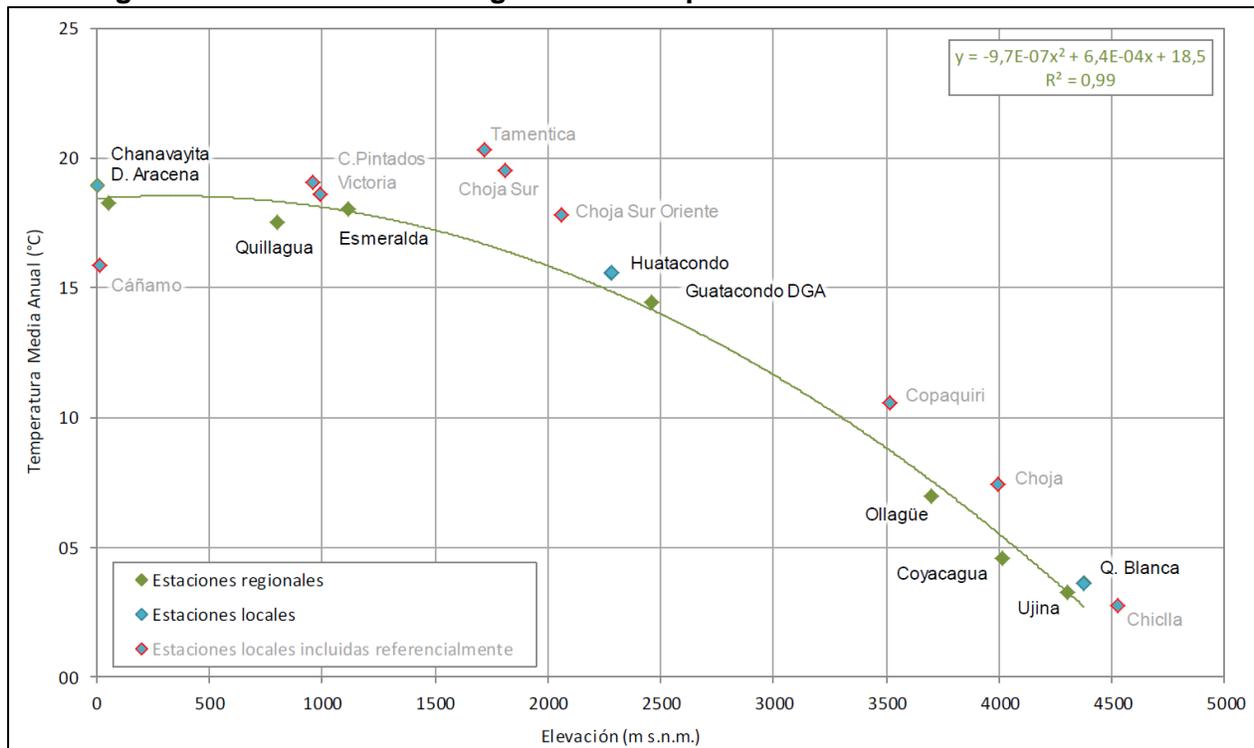
* Valor medio anual corregido para hacerlo representativo de un promedio anual, de acuerdo a la variación mensual de Diego Aracena.

Fuente: Tabla 33 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

De manera de caracterizar el gradiente de temperatura versus elevación, en la Figura 3.2.7-21 se presenta la temperatura media anual de las estaciones regionales (y las locales con registro de más de cuatro años). De tal análisis se desprende que, a modo general regional, la temperatura tiene un comportamiento aproximadamente cuadrático, lo cual se debe netamente a la conciliación numérica, para esta variable, de la convergencia en una misma latitud de distintas e independientes zonas climáticas: zona costera de baja elevación, zonas árida desértica y árida muy fría de elevación media, y una altiplánica de gran altura. Entre la zona árida fría y la zona altiplánica (desde los 2.000 m s.n.m. hacia arriba, aproximadamente), la tendencia regional se aproxima a una tendencia lineal con un descenso de 6,0°C por cada 1.000 m de incremento en elevación.

Se incluyen en esta figura, de forma referencial (no se usaron en la construcción de la curva), las temperaturas medias anuales de las estaciones Choja Sur y Cañaño, además de las estaciones locales con menos de un año de datos, en donde su temperatura media ha sido corregida para hacerla representativa de una media anual, tal como se ha descrito para Colonia Pintados. Para la corrección, en el caso de Chiclla, Copaquiri y Choja, se consideró la distribución mensual de Quebrada Blanca; para Choja Sur Oriente y Tamentica, se consideró Guatacondo DGA; y para Victoria se consideró Diego Aracena.

Figura 3.2.7-21. Curva regional de Temperatura media anual vs. elevación



Fuente: Figura 20 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

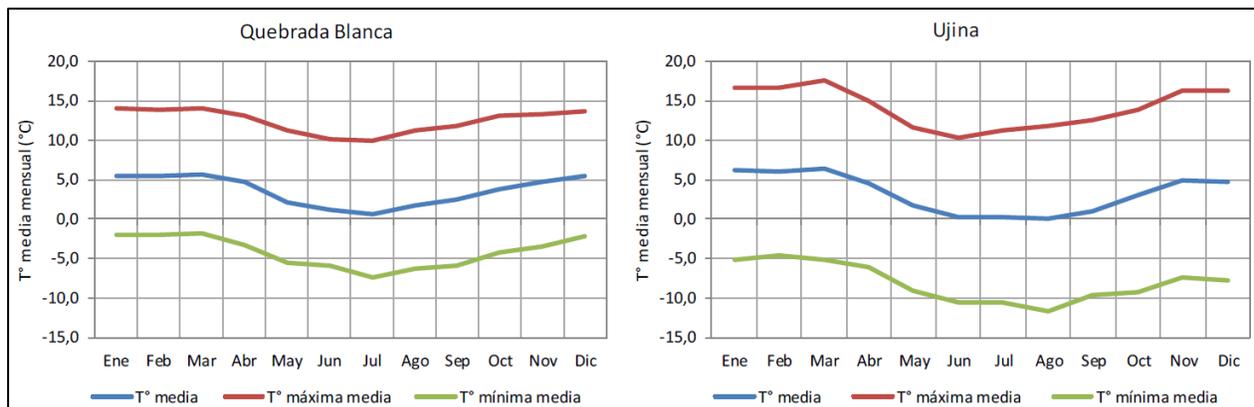
c.3) Análisis de Temperatura en el Área de Influencia

En términos locales existen varias estaciones, tanto de la DGA y DMC como de CMTQB, las cuales son de interés para el análisis de esta variable en el Área de Influencia. En particular para la caracterización de la temperatura, se observa que las estaciones de la red nacional (DGA y DMC), algunas de las cuales se encuentran en la cercanía del Área de Influencia del Proyecto, proporcionan información valiosa, ya que constan de un registro mucho más largo que el que poseen la mayoría de las estaciones de CMTQB.

El registro de temperaturas medias, máximas y mínimas medias mensuales, en las estaciones de interés local (Área de Influencia), que corresponden a Quebrada Blanca y Ujina, se ilustra en la Figura 3.2.7-22. La estación de Quebrada Blanca se ubica a una elevación aproximada de 4.375 m s.n.m., presentando una variación estacional típica de ubicaciones cordilleranas. Como se muestra en la Figura 3.2.7-22, se caracteriza por temperaturas mínimas medias que bordean los -7°C en los meses de invierno; mientras que la temperatura media máxima alcanza los 14°C durante la época estival. Su temperatura media anual llega a los 3,6°C.

Se considera que de las dos estaciones de interés para el Área de Influencia, la estación Quebrada Blanca es la más representativa para dicha área (incluyendo las sub áreas Mina y Depósito de Relaves). En la Tabla 3.2.7-24 se presentan los respectivos valores de temperaturas de Quebrada Blanca.

Figura 3.2.7-22. Registro de Temperatura media, máxima y mínima mensual estaciones Quebrada Blanca y Ujina



Nota: Máxima media corresponde al promedio sobre los años de la máxima diaria de cada mes; mínima media corresponde al promedio sobre los años de la mínima diaria de cada mes.

Fuente: Figura 21 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Tabla 3.2.7-24. Temperatura media, máximas y mínimas mensuales (°C). Estación Quebrada Blanca

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	5,6	5,6	5,7	4,7	2,0	1,2	0,6	1,7	2,4	3,8	4,8	5,5	3,6
Máxima	14,1	13,8	14,1	13,1	11,3	10,2	10,0	11,4	11,9	13,1	13,3	13,7	12,5
Mínima	-2,0	-2,0	-1,8	-3,2	-5,5	-5,9	-7,4	-6,3	-5,9	-4,3	-3,5	-2,2	-4,2

Fuente: Tabla 34 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

En términos generales, para determinar la temperatura media anual en el Área de Influencia, se propone la relación entre la temperatura media anual y la elevación obtenida, según se muestra en la Figura 3.2.7-21, la cual se considera representativa a nivel regional, tanto por su buen ajuste como por su gradiente térmico climáticamente adecuado.

En el caso particular de la sub área Mina, se han adoptado los resultados de temperatura a nivel mensual y anual obtenidos en la estación meteorológica Quebrada Blanca, dada su cercanía a dicha área, y a su proximidad con la curva regional a nivel medio anual.

En el caso de la sub área Depósito de Relaves, se ha propuesto adoptar la temperatura media anual según se obtiene de la curva regional de elevación-temperatura, adoptando luego la distribución mensual porcentual observada en Quebrada Blanca. Se realiza un procedimiento análogo para las cuencas de las quebradas Choja, Guatacondo y Paguana. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 3.2.7-25.

Tabla 3.2.7-25. Resumen de Temperaturas medias en el Área de Influencia (°C)

Cuenca/Área	Elevación (m s.n.m.)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Choja	4.277	5,4	5,4	5,5	4,6	1,9	1,2	0,6	1,6	2,3	3,7	4,7	5,3	3,5
Guatacondo	4.289	5,3	5,3	5,4	4,4	1,9	1,1	0,6	1,6	2,3	3,6	4,5	5,2	3,4
Paguana	4.132	7,1	7,1	7,3	6,0	2,5	1,5	0,8	2,2	3,1	4,8	6,1	7,0	4,6
Sub área Mina	4.200	5,6	5,6	5,7	4,7	2	1,2	0,6	1,7	2,4	3,8	4,8	5,5	3,6
Sub área D. Relaves	4.050	7,9	7,9	8,1	6,6	2,9	1,8	0,8	2,4	3,5	5,4	6,8	7,9	5,2

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

d) Caracterización Humedad Relativa

d.1) Información disponible

Para evaluar la humedad relativa en el Área de Influencia se dispone de un registro a nivel horario, en las doce estaciones operadas por CMTQB, incluyendo a la estación Quebrada Blanca, con mediciones desde 1996. A nivel regional, se cuenta con información a nivel mensual en la

estación Diego Aracena (Iquique), de la DMC. El período de registro disponible para cada estación se presenta en la Tabla 3.2.7-26, y se ilustra en la Figura 3.2.7-23.

Tabla 3.2.7-26. Estaciones con registro de Humedad Relativa

Estación		Datum WGS84		Elevación (m s.n.m.)	Período de Registro
		UTM Norte	UTM Este		
Regional	Diego Aracena (DMC)	7.729.430	378.020	52	1987-2015
Local	Chiclla (CMTQB)	7.674.176	527.742	4.522	Mar-Sep 2015
	Quebrada Blanca (CMTQB)	7.677.548	521.512	4.375	1996-2015
	Choja (CMTQB)	7.671.515	512.516	3.991	Mar-Sep 2015
	Copaquiri (CMTQB)	7.685.543	511.315	3.518	Mar-Sep 2015
	Huatacondo (CMTQB)	7.685.975	494.600	2.280	2010-2014
	Choja Sur Oriente (CMTQB)	7.667.019	486.650	2.061	2014-2015
	Choja Sur (CMTQB)	7.663.750	478.783	1.810	2010-2011
	Tamentica (CMTQB)	7.681.639	481.559	1.719	Mar-Sep 2015
	Colonia Pintados (CMTQB)	7.718.882	440.525	992	Ene-Oct 2015
	Victoria (CMTQB)	7.706.335	431.429	960	Mar-Sep 2015
	Cáñamo (CMTQB)	7.699.690	376.810	12	2013-2015
	Chanavayita (CMTQB)	7.709.606	375.877	4	2011-2015

Fuente: Tabla 44 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Figura 3.2.7-23. Matriz de registro de Humedad Relativa

Estación	1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-15			
Diego Aracena																
Chiclla																
Quebrada Blanca																
Choja																
Copaquiri																
Huatacondo																
Choja Sur Oriente																
Choja Sur																
Tamentica																
Colonia Pintados																
Victoria																
Cáñamo																
Chanavayita																

- : Información Completa
- : ≥ 7 meses con información
- : < 7 meses con información
- : Sin Información

Fuente: Figura 26 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

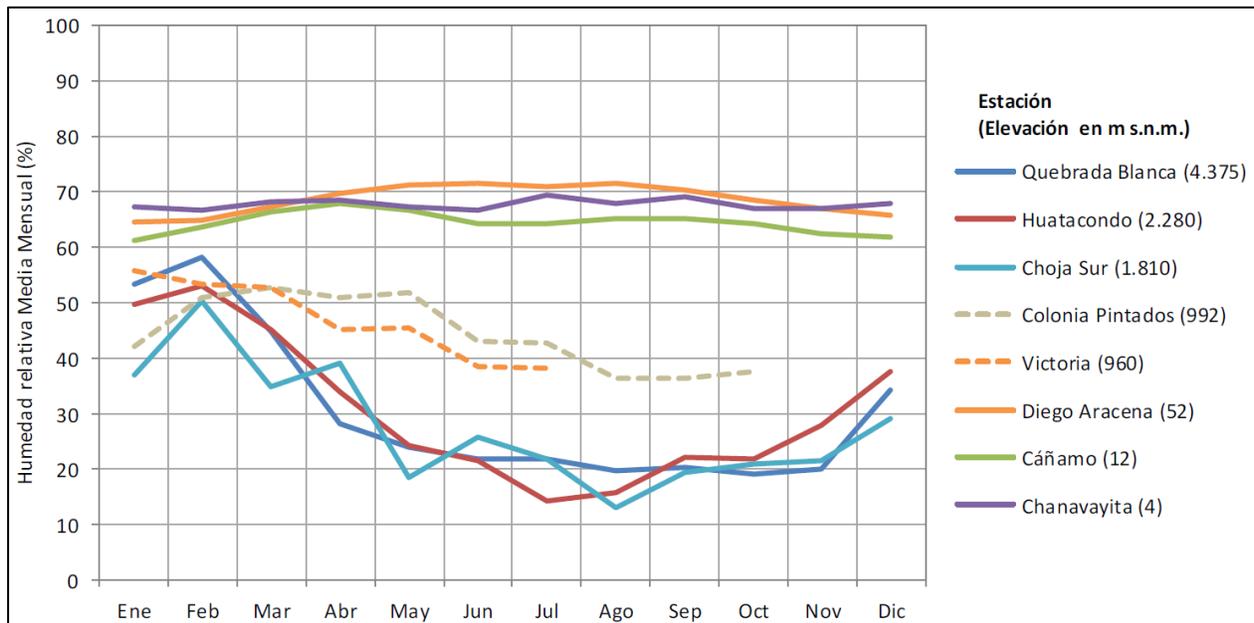
d.2) Análisis regional de Humedad Relativa

A nivel regional, se cuenta, para la zona costera, con un registro de larga data de humedad relativa en la estación Diego Aracena (Iquique, DMC), la que cuenta con mediciones continuas desde 1980. Se consideraron para dicha estación los registros de humedad relativa de los últimos 28 años hidrológicos (julio a junio). Se incluyen también para la caracterización regional, la información aportada por la estación Quebrada Blanca, y por los registros más recientes en Huatacondo, Choja Sur, Cádiz y Chanavayita. Adicionalmente, se incluyen, de forma referencial, las mediciones en las estaciones más nuevas de la red de monitoreo local, que cuentan con menos de un año de datos, pero aportan información valiosa para la caracterización regional de la humedad relativa.

En la Figura 3.2.7-24 se grafica la humedad relativa media mensual en las estaciones mencionadas. En este caso, de las estaciones locales más nuevas (con menos de un año de datos), sólo se incluyen referencialmente Colonia Pintados y Victoria, ya que muestran un comportamiento de la humedad relativa, asociado a una zona climática desértica, que es diferente del que se observa en las estaciones costeras y altiplánicas, aportando información relevante. El resto de dichas estaciones (Chiclla, Choja, Copaquiri, Choja Sur Oriente y Tamentica) muestran variaciones mensuales muy consistentes con sus estaciones cercanas, por lo que se han omitido para efectos de este gráfico.

Para los valores medios, se observa que existen tres tipos de curvas de humedad, una sin mucha variación estacional, que se mantiene en el entorno de los 60% y 70% a lo largo del año, para todas las estaciones costeras, otro tipo, que presenta mayores humedades en verano que en invierno, y que es bastante similar para todas las estaciones ubicadas hacia la zona altiplánica (entre los 1.810 y 4.375 m s.n.m), y finalmente una humedad intermedia, observada en la zona desértica, en el entorno de los 1.000 m s.n.m.

Figura 3.2.7-24. Humedad Relativa media mensual

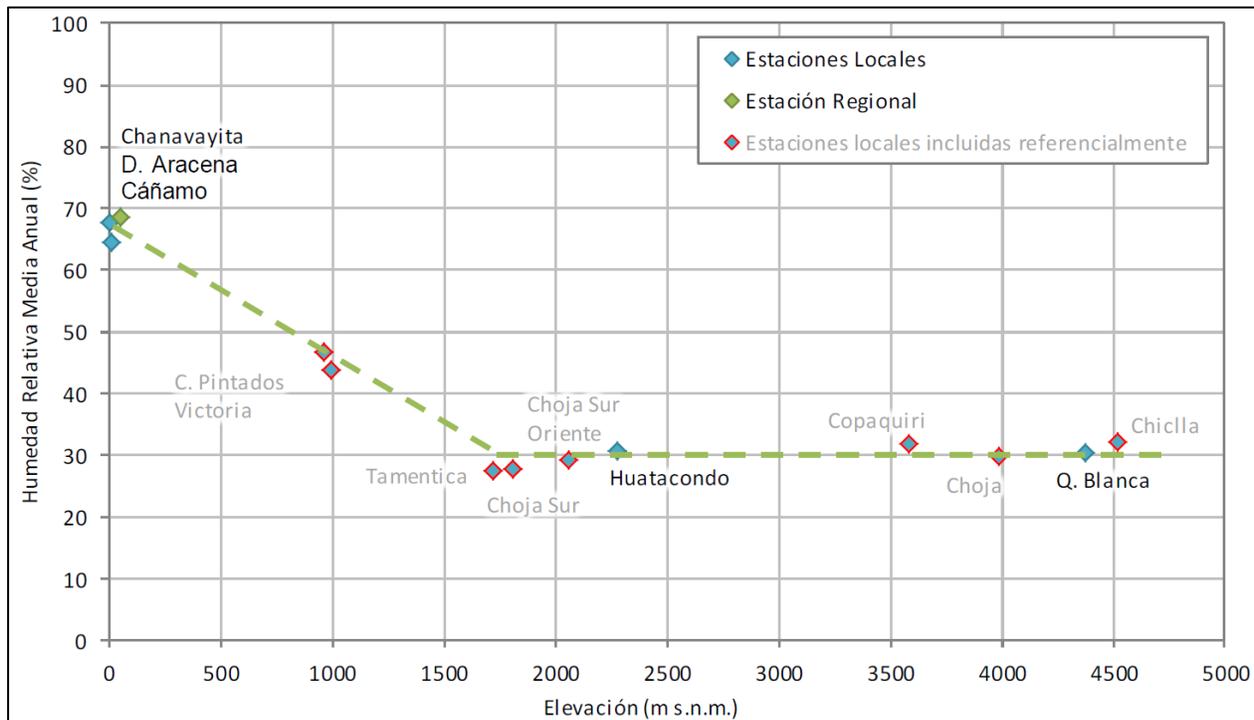


Fuente: Figura 27 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

De forma referencial, se han graficado las humedades relativas medias anuales en cada estación, en función de su elevación, lo cual se presenta en la Figura 3.2.7-25. Allí se observa una tendencia bastante marcada, con humedades medias anuales constantes de un 30% entre los 4.500 y los 1.700 m s.n.m., la cual luego aumenta hacia la costa, para llegar casi a un 70%. Se destaca que, en la interpretación de esta tendencia, se debe considerar más confiable la información registrada en las estaciones que cuentan con más de 2 o 3 años de datos (ya que esta variable es bastante estable), mientras que el resultado en estaciones con menos de un año (mostradas con contorno rojo), se debe asumir aproximado.

Se aclara que para incluir las humedades de las estaciones locales más nuevas en la Figura 3.2.7-25, sus medias observadas (de entre 7 y 10 meses) han sido corregidas para hacerlas representativas de medias anuales. En el caso de Colonia Pintados, para completar sus valores asociados a noviembre y diciembre de 2015, se ha interpolado linealmente entre octubre y enero, con lo cual se obtuvo una media anual. Para el resto de dichas estaciones, se ha definido una estación de referencia, cuya variación mensual de humedad relativa permitió escalar la media observada incompleta. Las estaciones de referencia fueron: (1) para Chiclla, Choja y Copaquiri, Quebrada Blanca; (2) para Choja Sur Oriente, y Tamentica, Huatacondo; y (3) para Victoria, Colonia Pintados (previamente corregida).

Figura 3.2.7-25. Curva regional de Humedad Relativa media anual vs. elevación



Fuente: Figura 29 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

d.3) Análisis de Humedad Relativa en el Área de Influencia

De acuerdo al análisis realizado, se ha considerado que, para elevaciones desde los 3.000 m s.n.m. hacia arriba, la estación Quebrada Blanca entrega información representativa de la humedad relativa local, abarcando las cuencas de quebrada Choja, Guatacondo y Paguana, e incluyendo por lo tanto a las sub áreas Mina y Depósito de Relaves.

En la Tabla 3.2.7-27 y en la Figura 3.2.7-26 se presenta la humedad relativa media, media máxima y media mínima a nivel mensual en la estación Quebrada Blanca (y por lo tanto del Área de Influencia). Se observan variaciones estacionales considerables, presentándose mayores valores de humedad relativa en el verano (diciembre - marzo) y valores menores en los meses de invierno (junio - noviembre). Esto es coincidente con los meses en que se registran las mayores tormentas (verano), lo cual incrementa la humedad atmosférica. La oscilación entre los máximos y mínimos registrados en esta estación resulta en valores de humedades relativas medias máximas cercanas al 95% en períodos de lluvia y valores cercanos a un 2% como valores medios mínimos en todos los meses. El valor medio anual de la humedad relativa es de 31%.

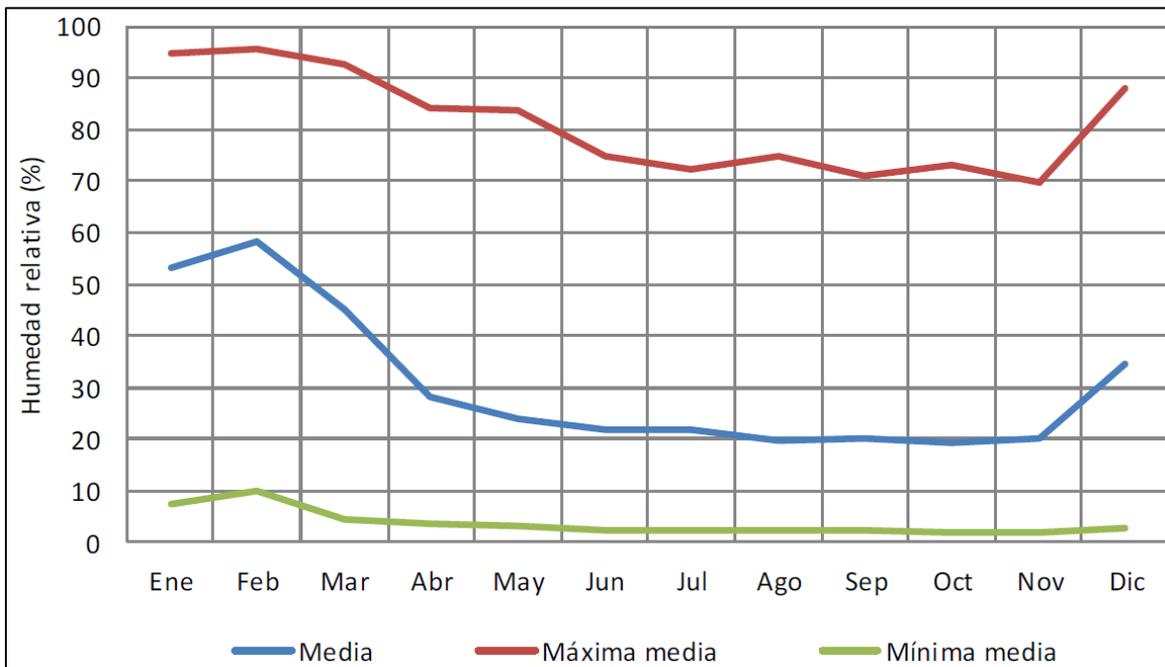
Se observa una variación estacional gradual, la cual denota una estabilidad de los datos propia de un registro de largo considerable.

Tabla 3.2.7-27. Humedad Relativa (%) estación Quebrada Blanca – Área de Influencia

HR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	53,3	58,4	44,9	28,2	24,1	21,9	21,9	19,6	20,3	19,2	20,0	34,4	30,6
Máxima	94,9	95,6	92,6	84,0	83,9	74,8	72,2	75,0	71,1	73,0	69,9	87,9	81,3
Mínima	7,2	10,0	4,5	3,5	2,9	2,5	2,3	2,2	2,1	2,0	2,1	2,8	3,7

Fuente: Tabla 45 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Figura 3.2.7-26. Registro de Humedad Relativa estación Quebrada Blanca. Valores medio, máximo medio y mínimo medio mensual



Fuente: Figura 30 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

e) Caracterización Evaporación

e.1) Información disponible

Para la obtención de datos regionales de mediciones de evaporación de bandeja, se utilizó la información de algunas de las estaciones meteorológicas de la red DGA, además de información de las estaciones CMTQB Quebrada Blanca y Colonia Pintados. Si bien se cuenta con información en otras estaciones locales, éstas no han sido agregadas al análisis por poseer registros de entre 2 y 6 meses de información, siendo la evaporación una variable compleja de medir, y menos estable que otras variables analizadas en el presente estudio.

Las estaciones con información disponible de evaporación se listan en la Tabla 3.2.7-28. Cabe hacer notar la disparidad en la calidad de la información obtenida en cada estación, donde existe una gran cantidad de meses en el año donde no existe registro.

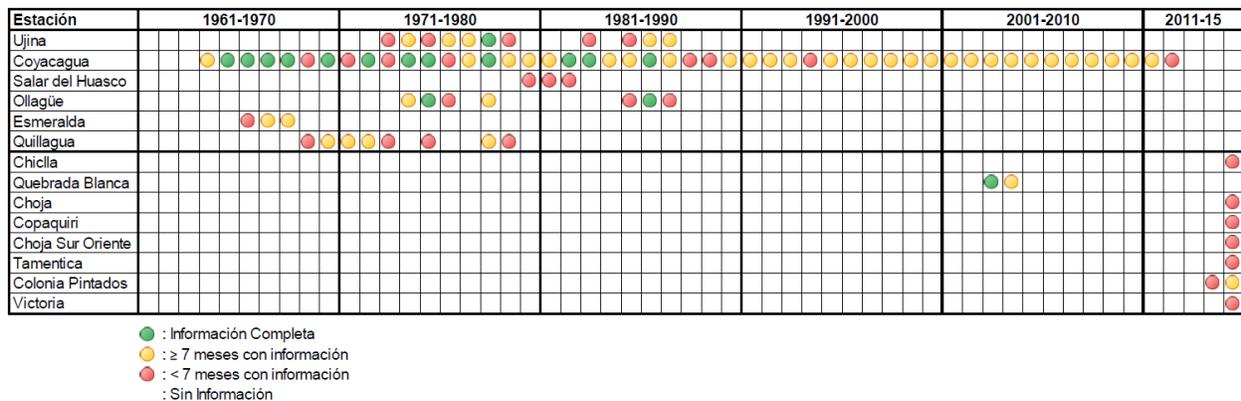
En la Figura 3.2.7-27 se presenta una matriz con el registro disponible de evaporación de bandeja en las distintas estaciones. En el Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA (en específico en el Anexo L de dicho documento) se presentan los registros de evaporación utilizados para este análisis.

Tabla 3.2.7-28. Estaciones con registro de Evaporación de Bandeja

	Estación	Código BNA	Datum WGS84		Elevación (m s.n.m.)	Período de Registro
			UTM Norte	UTM Este		
Regional	Ujina (DGA)	01080001-3	7.680.944	538.722	4.300	1973-1988
	Coyacagua (DGA)	01050007-9	7.782.608	520.130	4.013	1964-2012
	Salar del Huasco (DGA)*	01051003-1	7.757.931	511.892	3.800	1980-1982
	Ollagüe (DGA)	02000001-5	7.652.920	577.892	3.700	1974-1987
	Esmeralda (DGA)	01700008-K	7.734.864	460.226	1.115	1966-1968
	Quillagua (DGA)	02112008-1	7.604.648	444.557	802	1969-1979
Local	Chiclla (CMTQB)	-	7.674.176	527.742	4.522	Abr-Sep 2015
	Quebrada Blanca (CMTQB)	-	7.677.548	521.512	4.375	2003-2004
	Choja (CMTQB)	-	7.671.515	512.516	3.991	May-Sep 2015
	Copaquiri (CMTQB)	-	7.685.543	511.315	3.518	Abr-Sep 2015
	Choja Sur Oriente	-	7.667.019	486.650	2.061	Abr-Sep 2015
	Tamentica (CMTQB)	-	7.681.639	481.559	1.719	May-Sep 2015
	Colonia Pintados (CMTQB)	-	7.718.882	440.525	992	2014-2015
	Victoria (CMTQB)	-	7.706.335	431.429	960	Abr-Sep 2015

Fuente: Tabla 61 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Figura 3.2.7-27. Matriz de registro de Evaporación de Bandeja mensual



Fuente: Figura 49 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

e.2) Análisis regional de Evaporación

Las mediciones en evaporímetros de bandeja pueden presentar problemas de lectura en zonas donde ocurre congelamiento y existen velocidades del viento altas. Particularmente, en las estaciones Coyacagua, Ujina y Quebrada Blanca, es posible que, debido a su altitud, se presente un congelamiento de los evaporímetros de bandeja durante la madrugada, lo que alteraría la

medición de esta variable. No obstante esta limitación, las mediciones realizadas en estas estaciones representan la mejor estimación de evaporación de bandeja a nivel regional.

A modo de caracterización, en la Tabla 3.2.7-29 se presenta la evaporación de bandeja en las estaciones consideradas para este análisis.

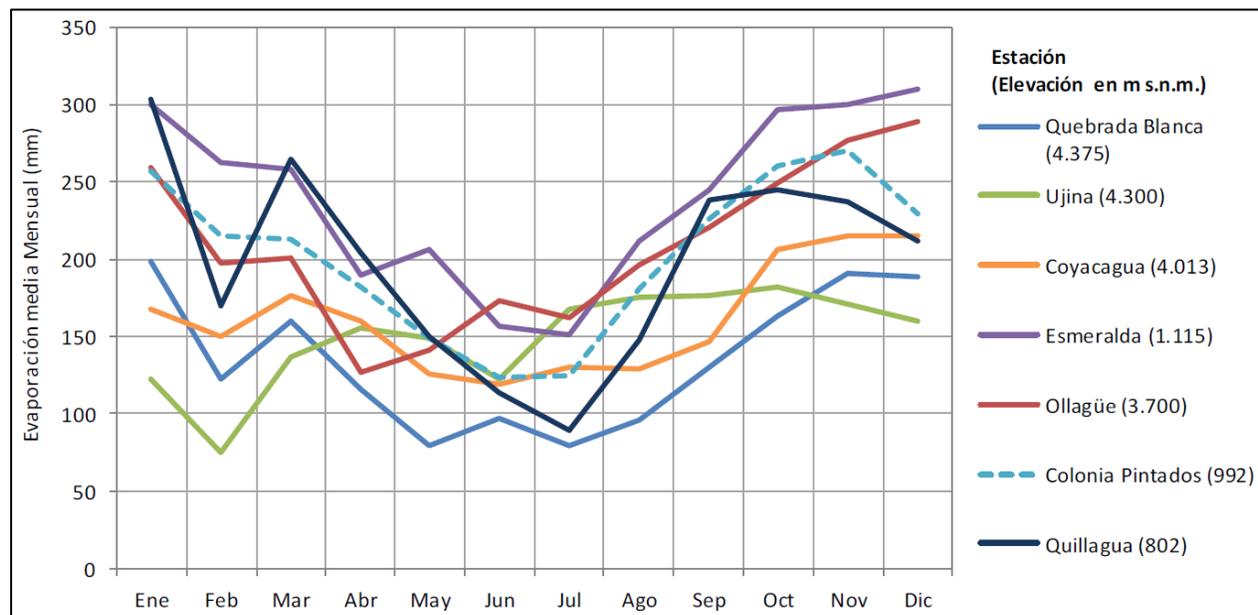
Tabla 3.2.7-29. Evaporación de Bandeja media mensual (mm)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ujina (DGA)	122	75	137	155	149	123	168	176	176	182	171	160	1.793
Coyacagua (DGA)	168	150	176	160	126	119	130	129	147	207	215	215	1.942
Ollagüe (DGA)	259	197	201	127	141	173	162	197	221	250	277	289	2.494
Esmeralda (DGA)	301	263	258	190	206	156	152	211	245	297	300	310	2.890
Quillagua (DGA)	304	170	265	204	151	114	89	148	238	245	237	212	2.376
Q. Blanca (CMTQB)	199	122	160	116	79	98	80	96	131	164	191	189	1.622
C. Pintados (CMTQB)	257	215	213	182	149	123	125	181	226	260	270	230	2.432

Fuente: Tabla 62 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Por otro lado, en la Figura 3.2.7-28 se presenta la distribución mensual de la evaporación de bandeja en las estaciones analizadas.

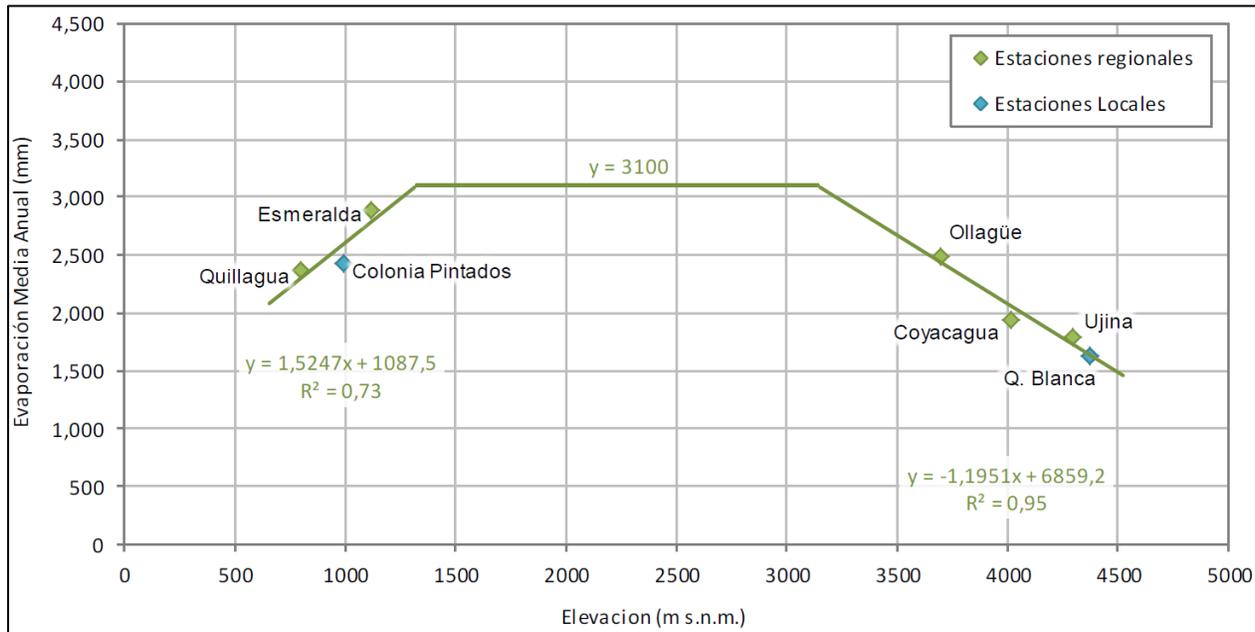
Figura 3.2.7-28. Evaporación de Bandeja media mensual



Fuente: Figura 50 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

A partir de la información medida de Evaporación de Bandeja anual promedio, fue posible establecer una relación lineal, por tramos, entre la elevación y la evaporación, como se muestra en la Figura 3.2.7-29. Para la zona ubicada entre los 1.300 m s.n.m. y los 3.150 m s.n.m., al no contarse para efectos del presente estudio con información medida de evaporación, se ha adoptado el valor obtenido por DGA (2009) entre dichas elevaciones (3.100 mm/año).

Figura 3.2.7-29. Curva regional de Evaporación de Bandeja media mensual vs. elevación



Fuente: Figura 51 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

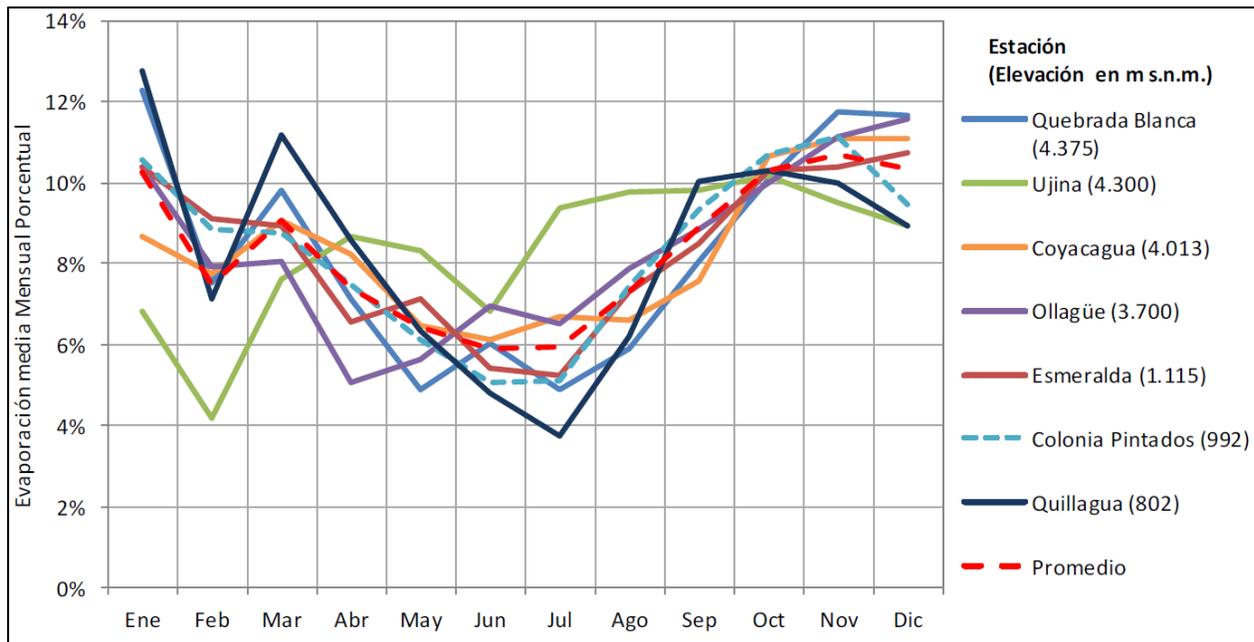
e.3) Análisis de Evaporación en el Área de Influencia

La información disponible de medición directa de evaporación de bandeja en el Área de Influencia corresponde, en general, a registros relativamente limitados. Se considera que éstos son suficientes como para caracterizar las evaporaciones anuales promedio de forma aproximada, para las distintas cuencas y sub áreas del Área de Influencia, a través de la curva regional obtenida, sin embargo, la distribución estacional obtenida a partir de estos registros varía para cada estación, sin ser clara la distribución esperable en cada zona de interés.

En vista de lo anterior, se ha estimado una distribución mensual promedio, considerando las distribuciones porcentuales de todas las estaciones analizadas. En la Figura 3.2.7-30 se presenta dicho promedio en comparación con las distribuciones mensuales porcentuales observadas en cada estación.

De esta forma, la distribución mensual porcentual promedio estimada es considerada como representativa de la variación estacional de la evaporación en los sectores del Proyecto ubicados dentro del rango de elevaciones con información (700 a 4.500 m s.n.m.). Así, para cada cuenca y sub área del Área de Influencia la evaporación media anual estará dada por la curva regional de evaporación-elevación (de acuerdo a sus respectivas elevaciones). Las evaporaciones mensuales estarán determinadas por la evaporación anual así estimada, ponderada por el porcentaje de aporte de cada mes a dicho valor anual. En la Tabla 3.2.7-30 a continuación se resume la distribución mensual porcentual promedio adoptada y en la Tabla 3.2.7-31 se presentan los resultados de la distribución mensual de la Evaporación en Bandeja en cada cuenca y sub área del Área de Influencia.

Figura 3.2.7-30. Evaporación de Bandeja media mensual porcentual



Fuente: Figura 52 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Tabla 3.2.7-30. Distribución mensual porcentual media de Evaporación

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
% mensual	10,3	7,5	9,1	7,4	6,4	5,9	5,9	7,3	8,9	10,3	10,7	10,3	100

Fuente: Tabla 63 del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Tabla 3.2.7-31. Resumen Evaporación de Bandeja en el Área de Influencia (mm)

Cuenca/Área	Elevación (m s.n.m.)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Choja	4.277	180	131	159	129	112	103	103	128	156	180	187	180	1.748
Guatacondo	4.289	179	130	158	128	111	102	102	127	154	179	185	179	1.733
Paguana	4.132	198	144	175	142	123	113	113	140	171	198	206	198	1.921
Sub área Mina	4.200	189	138	167	136	118	108	109	135	163	190	197	190	1.840
Sub área D. Relaves	4.050	207	151	183	149	130	119	120	148	179	208	216	209	2.019

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

Se ha adoptado un factor de tanque (K_T) de 0,6 para la zona altiplánica (clima frío de tundra por altura, sobre los 4.000 m s.n.m.) (DGA, 2009), abarcando el Área Mina. Luego, en base a estos factores y a la evaporación de bandeja presentada en la Tabla 3.2.7-31, se ha obtenido la evaporación de lago presentada en la Tabla 3.2.7-32.

Tabla 3.2.7-32. Resumen Evaporación de Lago en el Área de Influencia (mm)

Cuenca/Área	Elevación (m s.n.m.)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Choja	4.277	108	78,6	95,4	77,6	67,1	61,9	61,9	76,6	93,3	108	112	108	1.049
Guatacondo	4.289	107	78,0	94,6	77,0	66,6	61,4	61,4	75,9	92,6	107	111	107	1.040
Paguana	4.132	119	86,4	105	85,3	73,8	68,0	68,0	84,1	103	119	123	119	1.153
Sub área Mina	4.200	113	82,8	100	81,6	70,8	64,8	65,4	81,0	97,8	114	118	114,0	1.104
Sub área D. Relaves	4.050	124	90,6	110	89,4	78,0	71,4	72,0	88,8	107	125	130	125,0	1.211

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.1-1 del Capítulo 3.2.1 Línea de Base Clima y Meteorología del presente EIA.

3.2.7.5.3 Escorrentía Superficial

a) Información disponible

En el Área de Influencia existe información de caudales de 2 estaciones fluviométricas, una perteneciente a la DGA y otra a Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) y aforos en 26 puntos de monitoreo pertenecientes a CMTQB.

En la Tabla 3.2.7-33 se muestran las características principales de las estaciones fluviométricas antes indicadas, mientras que su ubicación geográfica se muestra en la Figura 3.2.7-31.

Tabla 3.2.7-33. Estaciones fluviométricas en el Área de Influencia

Estación	Propietario	UTM E	UTM N	Área Drenaje (km ²)	Elevación (m s.n.m.)	Período de Registro
Río Huatacondo en Copaquire BNA: 02113001-K	DGA	511.691	7.685.700	186	3.450	1977 en adelante
QDH-2	CMDIC	522.539	7.681.420	54	4.292	2004 en adelante

Datum WGS84 H19S

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo. Dirección Meteorológica de Chile. 2001. "Climatología Regional". Departamento de Meteorología y Climatología

Por otro lado, en la Tabla 3.2.7-34 se muestran las características principales de las estaciones de aforo pertenecientes a CMTQB. Su ubicación geográfica se muestra también en la Figura 3.2.7-31.

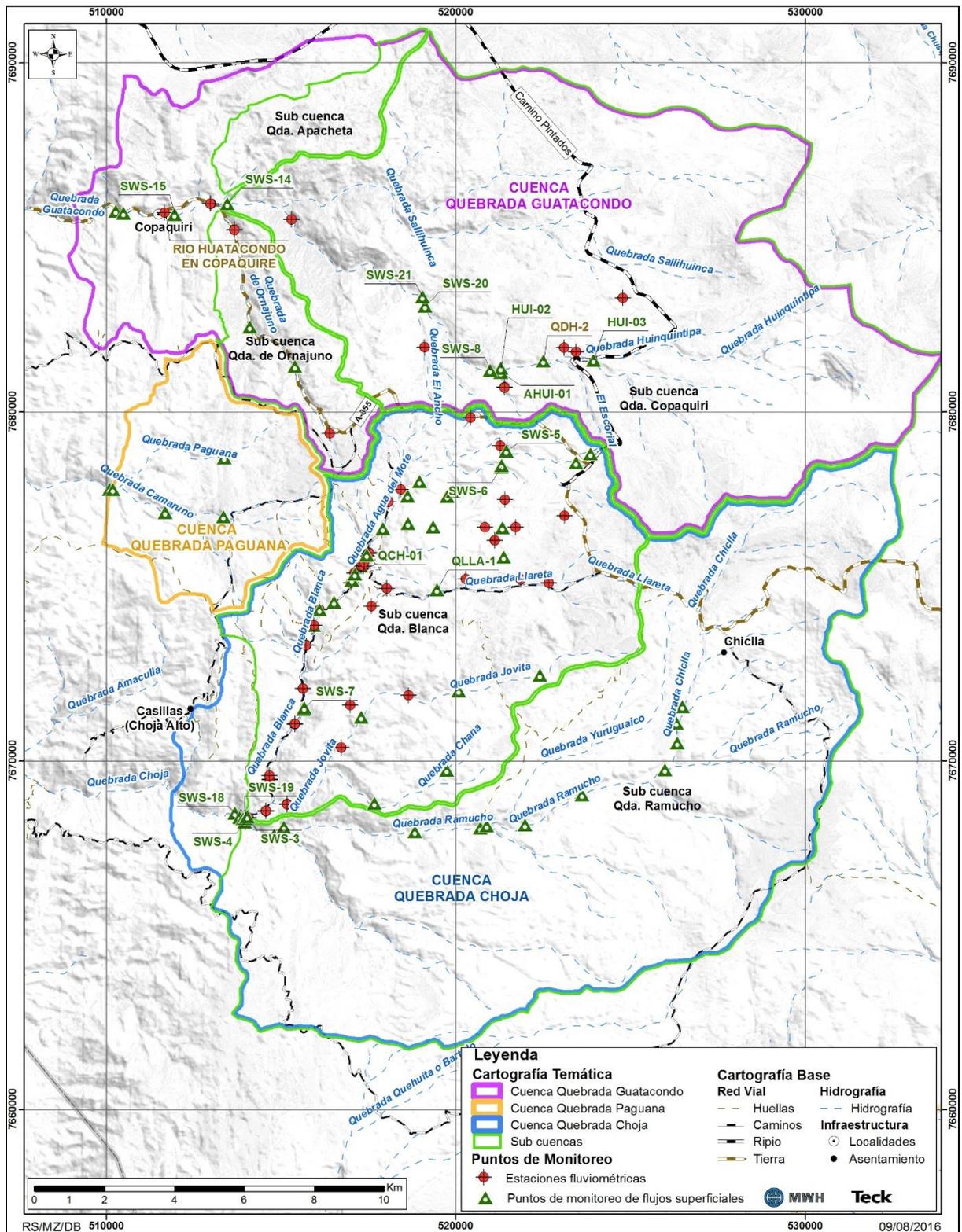
Tabla 3.2.7-34. Ubicación puntos de monitoreo de Caudal superficial Área de Influencia

Cuenca	Punto de Monitoreo	Sector	UTM E	UTM N	Período de Monitoreo	N° de Aforos
Q. Blanca Área Mina	SWS-5	Vertiente Agua del Mote a. abajo Ripios Norte	521.459	7.678.874	2/13-12/15	23
	SWS-9	Agua del Mote al pie de Ripios Norte (estruje)	521.949	7.678.831	3/13-12/15	25
	M03	Bofedal del Carmen	521.182	7.678.476	4/10-12/11	8
	SWS-6	Vertiente bofedal El Carmen	521.305	7.678.411	3/13-10/15	18
	M01	Bofedal Ciénaga Grande	521.206	7.676.655	4/10-3/12	12
	BCI-01	Vertiente Ciénaga Grande	521.35	7.676.668	2/13-12/15	30
Q. Blanca aguas abajo Cortina Hidráulica N°1	M08	Quebrada Blanca	517.300	7.675.568	1/12	1
	QCH-01	Vertiente	517.122	7.675.344	3/13-11/15	35
	SWS-2	Q. Blanca a. arriba de confluencia Q. Llareta	515.726	7.672.667	2/14-12/15	22
	SWS-7	Vertiente aguas abajo	515.681	7.671.508	1/13-12/15	36
	SWS-3	Vertiente aguas abajo	514.046	7.668.397	2/14-10/15	16
Q. Llareta	SWS-19	Quebrada Blanca	513.981	7.668.343	5/13-12/15	31
	M07	Quebrada Llareta	519.605	7.675.271	2/11-3/12	5
Q. Ramucho	QLLA-1	Vertiente quebrada Llareta	519.478	7.674.898	3/13-12/15	28
	SWS-4	Q. Ramucho a. arriba confluencia Q. Blanca	513.934	7.668.298	1/13-12/15	35
Q. Choja	SWS-18	Confluencia quebradas Blanca y Ramucho	513.887	7.668.334	2/13-12/15	34
Quebrada Huinquintip a	M05	Quebrada Huinquintipa 1	524.090	7.681.852	4/10-3/12	16
	M06	Quebrada Huinquintipa 2	524.076	7.681.848	4/10-2/12	14
	HUI-03	Aguas arriba Q. Huinquintipa, a. abajo CMDIC	523.955	7.681.481	1/13-12/15	33
	HUI-02	Vertiente tributaria Q. Huinquintipa	521.293	7.681.248	1/13-12/15	36
	AHUI-01	Vertiente tributaria Q. Huinquintipa	521.298	7.681.129	2/13-10/15	31
	SWS-8	Pozo a. abajo de confluencia Q. Huinquintipa	520.990	7.681.189	2/13-12/15	34
	SWS-20	Quebrada Huinquintipa	519.133	7.683.028	6/13-12/15	32
	SWS-21	Quebrada Huinquintipa	519.060	7.683.296	6/13-12/15	32
	SWS-14	Quebrada Huinquintipa	513.471	7.685.963	2/13-12/15	33
	SWS-15	Quebrada Huinquintipa	511.965	7.685.658	2/13-12/15	36

Datum WGS84 H19S

Fuente: Tabla 16 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Figura 3.2.7-31. Ubicación geográfica de estaciones fluviométricas y de aforo en el Área de Influencia



Fuente: Elaboración propia.

b) Caudales en estación fluviométrica Río Huatacondo en Copaquire (DGA)

Tal como fue indicado en el acápite anterior en el Área de Influencia existe una única estación fluviométrica DGA con registros históricos disponibles de caudal, y se encuentra ubicada a la salida de la definida cuenca del río Guatacondo. La estación corresponde al denominado Río Huatacondo en Copaquire.

La estación Río Huatacondo en Copaquire presenta registros de caudales medios mensuales desde hace 38 años aproximadamente, con valores medios anuales cercanos a 17 l/s y un rendimiento promedio de 0,1 l/s/km².

En la Tabla 3.2.7-35 se resumen los caudales medios mensuales y el rendimiento específico, a nivel promedio para cada mes del año, en la estación Huatacondo en Copaquire. En términos generales, los caudales mayores se observan durante el verano, manteniéndose un flujo bastante constante durante el resto del año. La estadística completa de dicha estación se encuentra en el Anexo 3.2.7-1 (en específico en el Anexo A de dicho documento). En la Figura 3.2.7-32 se presenta la serie histórica de caudales medios mensuales.

Tabla 3.2.7-35. Caudales medios mensuales (l/s) y rendimiento específico (l/s/km²). Estación Río Huatacondo en Copaquire DGA

Mes	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
Caudal Medio Mensual	16	18	15	17	12	11	15	28	25	17	18	17	17
Rendimiento Específico Medio	0,09	0,1	0,08	0,09	0,07	0,06	0,08	0,15	0,14	0,09	0,1	0,09	0,09

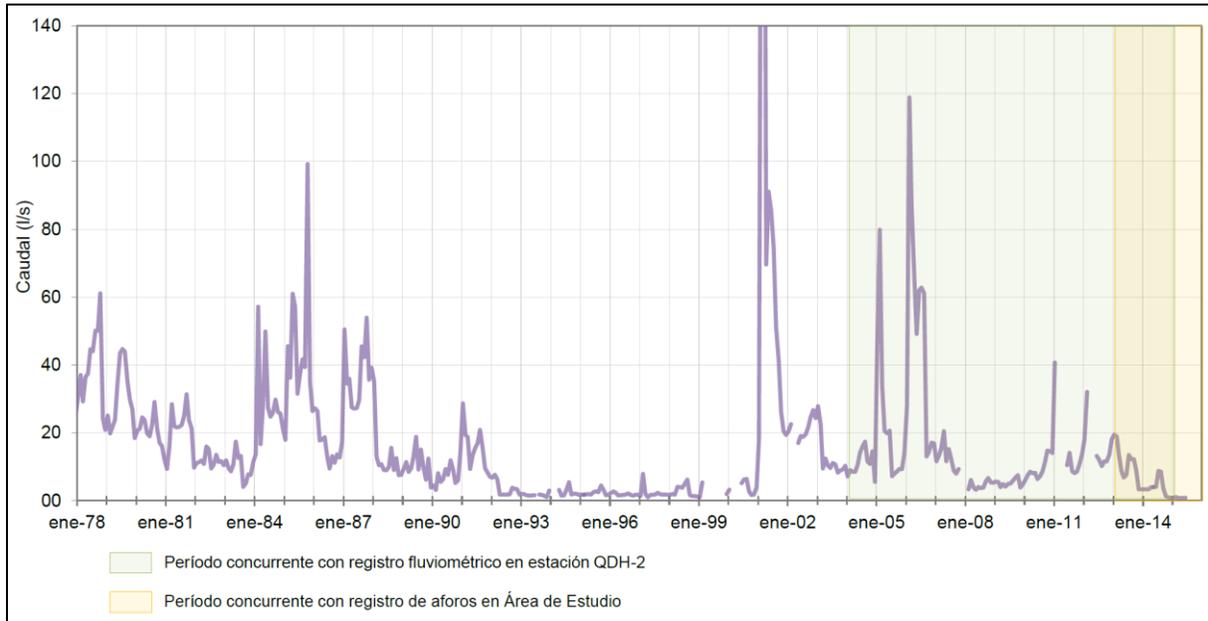
Fuente: Tabla 17 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Se considera que los caudales registrados en esta estación no se encuentran estrictamente en régimen natural, puesto que se han visto influenciados por la operación minera de gran escala de CMDIC, durante aproximadamente los últimos 10 años. Parte de esta operación minera se ubica en la cabecera de la sub cuenca de la quebrada Huinquentipa, la cual limita por el norte con la sub cuenca de la quebrada Blanca, y es tributaria del río Guatacondo. Se estima que, en la actualidad, la zona intervenida de la cuenca producto de esta operación es de aproximadamente un 20% de la superficie de la cuenca de la estación Huatacondo en Copaquire. No obstante, existe un compromiso por parte de CMDIC de mantener los caudales de la quebrada Huinquentipa dentro de su rango normal, mediante la descarga de un flujo de restitución aguas arriba de la estación QDH-2, de 9 l/s entre diciembre y marzo, y 1 l/s el resto del año (COREMA, 2001). Luego, se considera que la estación Huatacondo en Copaquire permite caracterizar, de forma aproximada, el régimen fluviométrico del Área de Influencia en una escala regional.

A modo referencial, se incluye en la Figura 3.2.7-33 la variación estacional del rendimiento unitario para la cuenca de Huatacondo en Copaquire, el cual presenta un valor medio anual de 0,1 l/s/km², calculado a partir de los caudales medios mensuales promedio en dicha estación. De forma complementaria, se incluye la curva análoga, asociada al período de registro de Huatacondo en Copaquire previo al desarrollo de la operación de CMDIC en la cabecera de la cuenca de la

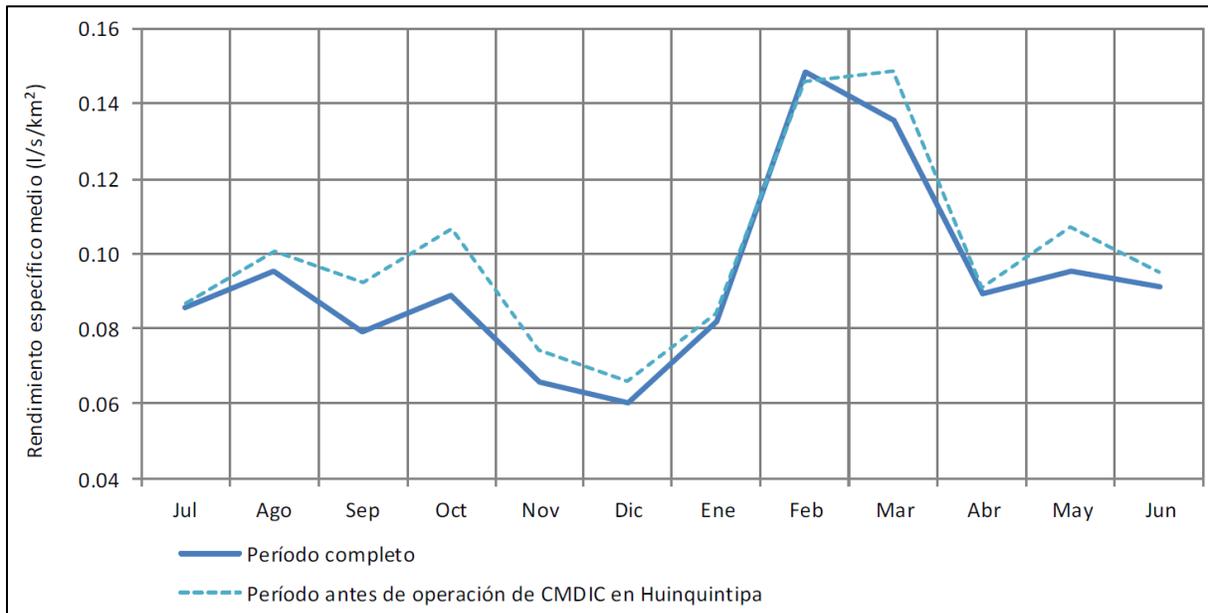
quebrada Huinquantipa (se ha considerado dicho período hasta el año hidrológico 2002-2003, al verificarse, mediante imágenes satelitales que hasta esa fecha no existían obras en la cabecera de la quebrada Huinquantipa).

Figura 3.2.7-32. Serie histórica Caudal medio mensual. Estación Río Huatacondo en Copaquire (DGA)



Fuente: Figura 30 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Figura 3.2.7-33. Variación estacional del rendimiento medio mensual. Estación Río Huatacondo en Copaquire (DGA)



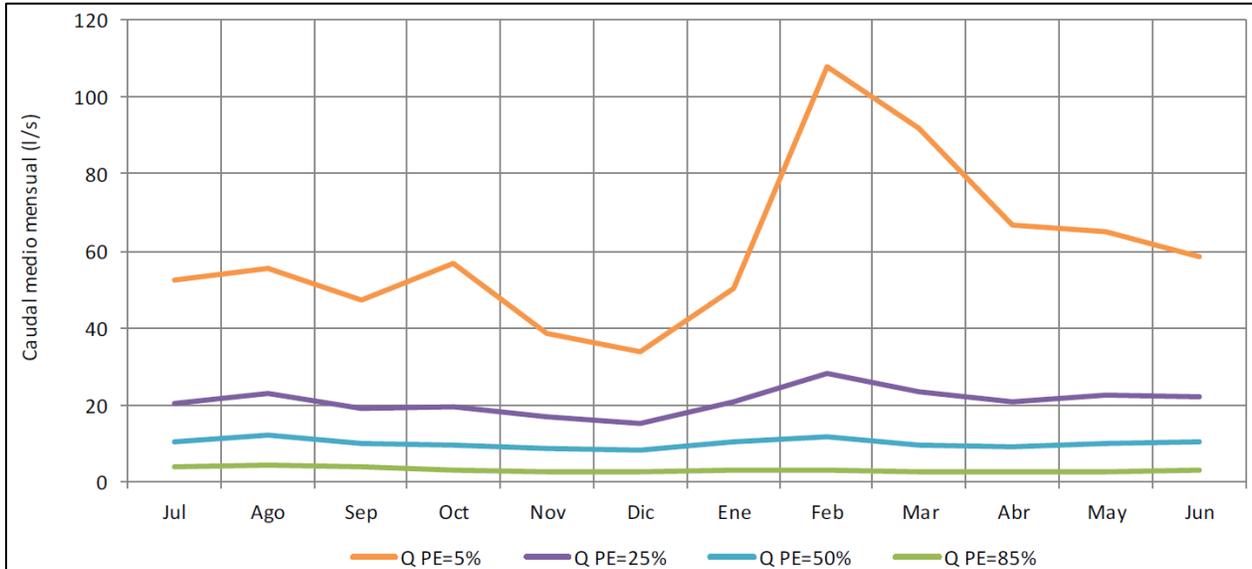
Fuente: Figura 31 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

A partir de estas curvas de rendimiento específico y de los caudales medios mensuales presentados, no se distingue un cambio apreciable en el régimen hidrológico en la estación Huatacondo en Copaquire desde el inicio de la operación de CMDIC en la cabecera de la quebrada Huinquentipa. A simple vista, la Figura 3.2.7-33 podría sugerir que los caudales en Huatacondo en Copaquire en el período previo a la operación en CMDIC eran mayores que en la actualidad, para algunos meses del año, sin embargo, en la Figura 3.2.7-32 se observa que no existe una tendencia de largo plazo hacia la disminución (ni al aumento) de los caudales en la quebrada Guatacondo en los últimos 38 años.

Se realizó un análisis de variación estacional de los caudales medios mensuales, mediante un análisis de frecuencia para las series de tiempo asociadas a cada mes del año. Los análisis de frecuencia se efectuaron considerando 5 distribuciones de probabilidad: Normal (N), Log Normal (LN), Pearson III (PIII), Log Pearson III (LPIII) y Gumbel (G). La bondad de los ajustes se evaluó gráficamente, considerando el coeficiente de correlación R^2 y mediante un test Chi cuadrado. El análisis consideró los años hidrológicos con información completa entre 1978-1979 y 2014-2015.

Las curvas de variación estacional obtenidas se presentan en la Figura 3.2.7-34 y sus valores se resumen en la Tabla 3.2.7-36. El detalle de los cálculos realizados se presenta en Anexo 3.2.7-1 (en específico en el Anexo B de dicho documento).

Figura 3.2.7-34. Curvas de variación estacional de Caudales medios mensuales. Estación Río Huatacondo en Copaquire



Fuente: Figura 32 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Tabla 3.2.7-36. Resumen curvas variación estacional Caudales medios mensuales (l/s). Estación Río Huatacondo en Copaquire

Probabilidad de Excedencia (%)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
5	52	56	47	57	38	34	50	108	94	67	65	58
25	20	23	19	20	17	15	21	28	23	21	22	22
50	11	12	10	9.3	8.6	8.1	10	12	10	9.1	10	10
85	3.9	4.2	3.7	3	2.7	2.7	2.9	3.2	2.7	2.6	2.7	2.9
Distribución	LN	LP III	LN	LN	LP III	LN	LP III	LP III				

Fuente: Tabla 18 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

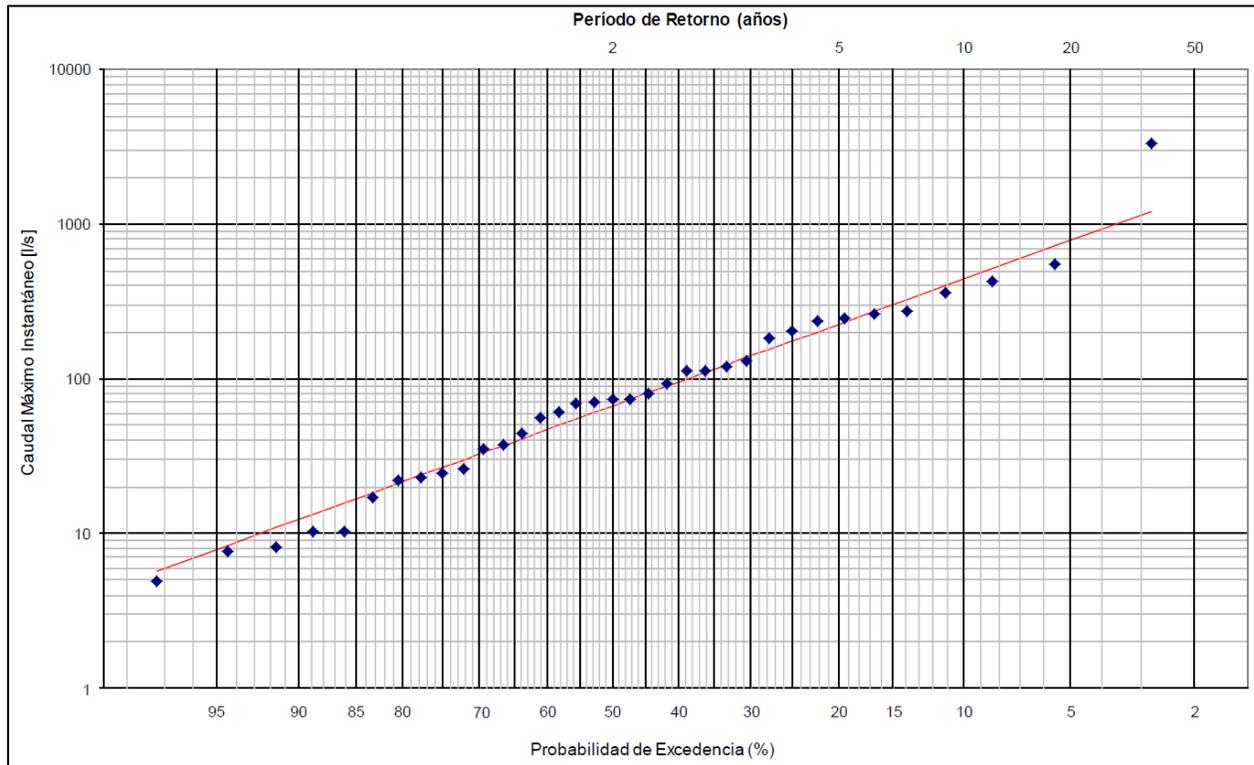
Las curvas de variación estacional obtenidas se consideran bastante representativas del régimen hídrico que se observa en la cuenca de la estación Río Huatacondo en Copaquire. Se destaca que, si bien en prácticamente todos los años se observan tormentas extremas, la aridez de la zona y el tipo de suelo que en ella se observa, resultan en una gran capacidad de infiltración, la cual reduce considerablemente la escorrentía superficial asociada a dichos eventos. Como se muestra en las curvas de variación estacional, se espera que sólo para los casos de años particularmente húmedos y poco frecuentes, repetidos eventos de gran magnitud generen mayores caudales.

c) Caudales máximos instantáneos estación río Huatacondo en Copaquire

Se realizó un análisis de frecuencia a la serie estadística del Caudal Máximos Instantáneo Anual de la estación Río Huatacondo en Copaquire (área 186 km²). Los análisis de frecuencia se efectuaron considerando 5 distribuciones de probabilidad: Normal, Log Normal, Pearson III, Log Pearson III y Gumbel.

La distribución de probabilidad de mejor ajuste, y que es aceptada por el test Chi-Cuadrado, es la Log Pearson III. Los resultados gráficos obtenidos se presentan en la Figura 3.2.7-35, mientras que los resultados numéricos del análisis se muestran en la Tabla 3.2.7-37, en la que se incluye, además, el rendimiento unitario de la cuenca aportante a esta estación. El detalle de los cálculos realizados se presenta en el Anexo 3.2.7-1 (en específico en el Anexo C de dicho documento).

Figura 3.2.7-35. Ajuste análisis de frecuencia distribución Log Pearson III para Caudales máximos anuales



Fuente: Figura 33 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Tabla 3.2.7-37. Análisis de frecuencia Caudales máximos anuales. Estación Huatacondo en Copaquire DGA

Tr (años)	Prob. Exc. (%)	Caudal (l/s)	Rendimiento Unitario (l/s/km ²)
250	0,4	4.230	22
100	1	2.420	13
50	2	1.530	8,1
25	4	930	4,9
10	10	440	2,3
5	20	230	1,2
2	50	70	0,4

Fuente: Tabla 20 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

d) Caudales medios mensuales estación QDH-2

La estación QDH-2 presenta registros de caudales medios mensuales desde enero del año 2004 hasta junio del año 2007 (SCM, 2007), y medios horarios desde enero del 2007 hasta junio del año 2014 (Teck, 2014), con valores medios anuales del orden de 13 l/s y un rendimiento promedio de 0,24 l/s/km². Según ya se ha descrito para esta zona, los mayores caudales extremos se observan durante el verano, sin embargo, se observan también marcados máximos invernales, los que, si bien están generalmente asociados a eventos de menor magnitud, son más frecuentes,

por lo cual se obtienen caudales medios mensuales de invierno comparables a los de verano (ver Tabla 3.2.7-38). La estadística completa de dicha estación se encuentra en el Anexo 3.2.7-1 (en específico en el Anexo A de dicho documento). En Figura 3.2.7-36 se presenta la serie histórica de caudales medios mensuales.

Tabla 3.2.7-38. Caudales medios mensuales (l/s) y rendimiento específico (l/s/km²). Estación QDH-2

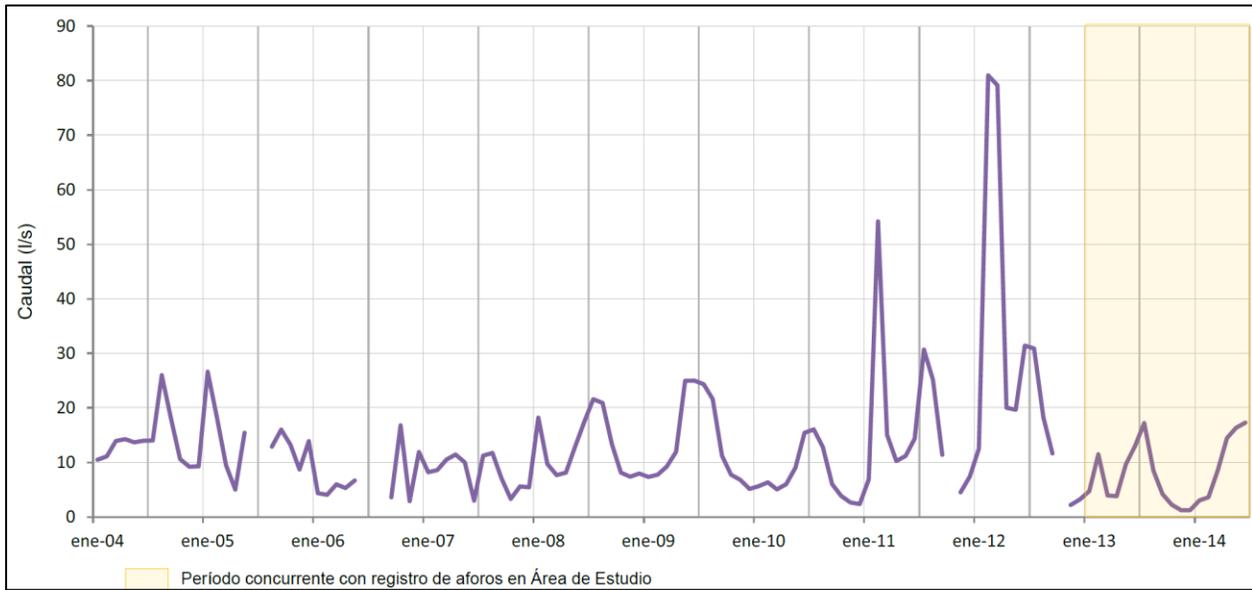
Mes	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
Caudal Medio Mensual	21	18	10	8,2	5,1	6,8	9,8	20	15	10	14	17	13
Rendimiento Medio	0,39	0,33	0,19	0,15	0,1	0,13	0,18	0,36	0,28	0,19	0,25	0,31	0,24

Fuente: Tabla 21 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

A modo referencial, se incluye en la Figura 3.2.7-37 la variación estacional del rendimiento unitario para la cuenca de la estación QDH-2, el cual presenta un valor medio anual de 0,24 l/s/km², calculada a partir de sus caudales medios mensuales promedio.

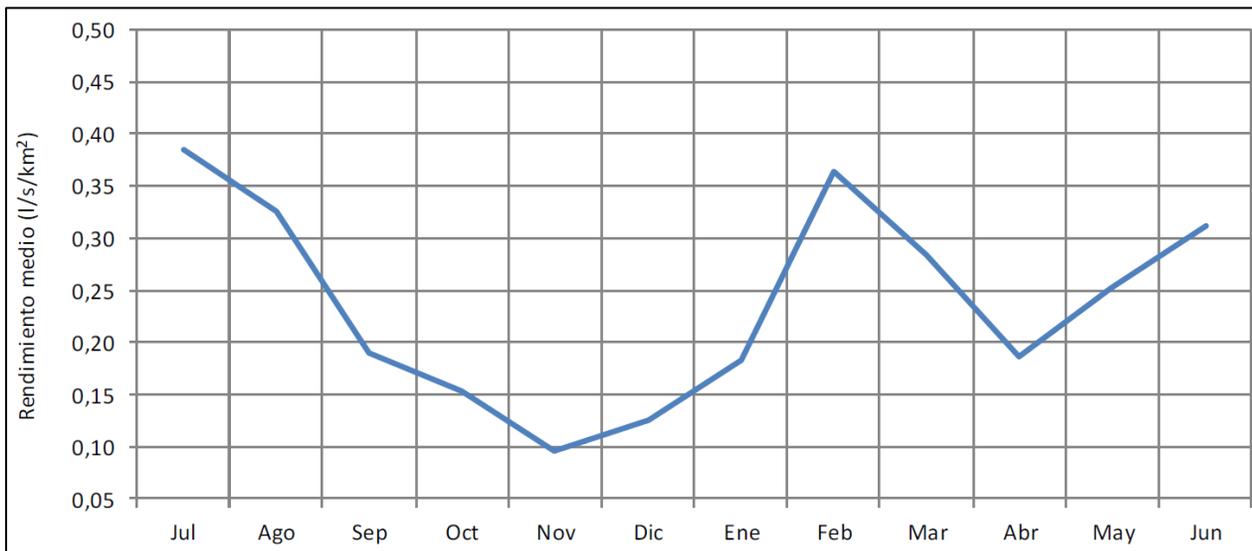
La estación QDH-2 se ubica inmediatamente aguas abajo de la operación de CMDIC, por lo cual los caudales allí registrados no se encuentran, en estricto rigor, en régimen natural. Sin embargo, existe un compromiso por parte de CMDIC de mantener los caudales de la quebrada Huinquintipa dentro de su rango normal, mediante la descarga de un flujo de restitución aguas arriba de la estación QDH-2, de 9 l/s entre diciembre y marzo, y 1 l/s el resto del año (COREMA, 2001). En la práctica no se observa a partir del registro una tendencia clara al aumento ni al descenso de los caudales en este punto (ver Figura 3.2.7-36), en circunstancias en que la operación de CMDIC se ha ido desarrollando en la cuenca de la quebrada de Huinquintipa progresivamente durante los últimos 10 años. Se considera que esto verifica la existencia de un efecto de regulación del caudal en este punto, producto de la restitución de flujo que se efectúa de forma artificial a la quebrada Huinquintipa. Luego, si bien esta regulación puede limitar el análisis de variaciones hídricas en años muy secos o húmedos, posiblemente mostrando siempre caudales cercanos a los valores medios esperados en esa zona, se ha considerado que la estación QDH-2 permite caracterizar, de forma aproximada, el régimen fluviométrico asociado a las cuencas altas de cabecera en el Área de Influencia.

Figura 3.2.7-36. Serie histórica Caudal medio mensual. Estación QDH-2



Fuente: Figura 34 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Figura 3.2.7-37. Variación estacional del rendimiento medio mensual. Estación QDH-2

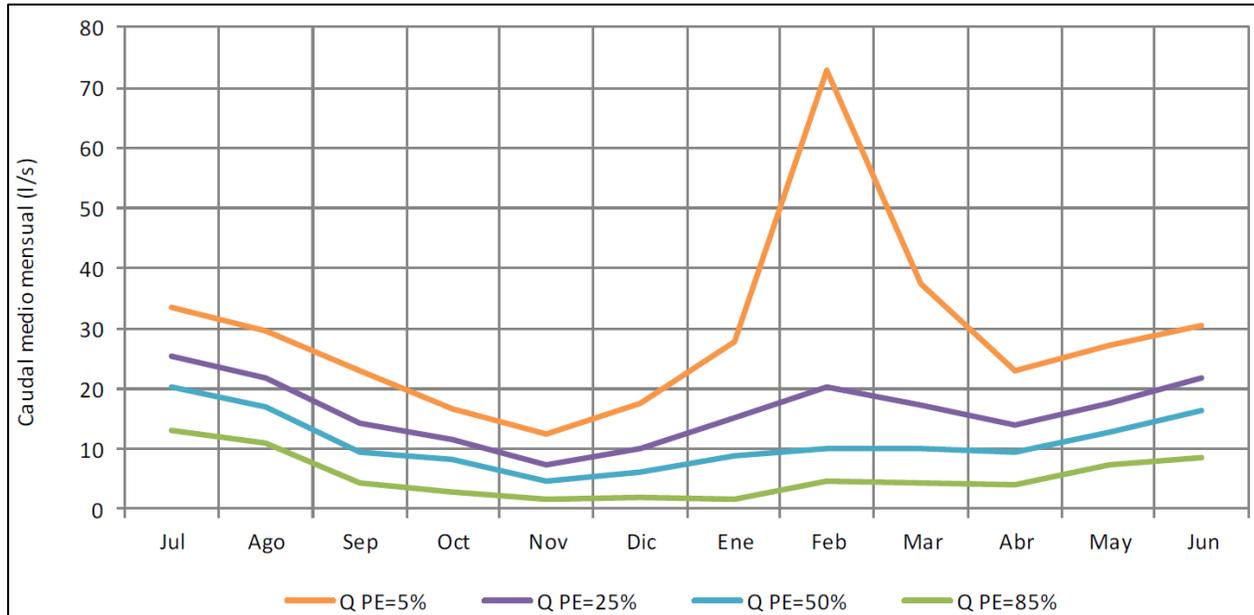


Fuente: Figura 35 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Se realizó un análisis de variación estacional de los caudales medios mensuales en QDH-2, para efectos referenciales, ya que se cuenta con 8 a 11 valores de caudales medios mensuales para cada mes del año. Para estos efectos se desarrolló un análisis de frecuencia para las series de tiempo asociadas a cada mes. Los análisis de frecuencia se efectuaron considerando 5 distribuciones de probabilidad: Normal (N), Log Normal (LN), Pearson III (PIII), Log Pearson III (LPIII) y Gumbel (G). La bondad de los ajustes se evaluó gráficamente, considerando el coeficiente de correlación R^2 y mediante un test Chi-cuadrado. El análisis consideró los años hidrológicos entre 2004-2005 y 2013-2014.

Las curvas de variación estacional obtenidas se presentan en la Figura 3.2.7-38 y sus valores se resumen en la Tabla 3.2.7-39. El detalle de los cálculos realizados se presenta en el Anexo 3.2.7- 1 (en específico en el Anexo D de dicho documento).

Figura 3.2.7-38. Curvas de variación estacional de los Caudales medios mensuales. Estación QDH-2



Fuente: Figura 36 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Tabla 3.2.7-39. Resumen Curvas de variación estacional Caudales medios mensuales (l/s). Estación QDH-2

Probabilidad de Excedencia (%)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
5	34,0	30,0	23,0	17,0	13,0	18,0	28,0	73,0	37,0	23,0	27,0	30,0
25	25,0	22,0	14,0	12,0	7,4	10,0	15,0	20,0	17,0	14,0	18,0	22,0
50	20,0	17,0	10,0	8,2	4,7	6,2	8,8	10,0	10,0	9,4	13,0	16,0
85	13,0	11,0	4,4	2,9	1,7	1,9	1,5	4,5	4,5	4,2	7,3	8,6
Distribución	PIII	LPIII	G	N	G	G	G	LPIII	LN	G	G	PIII

Fuente: Tabla 22 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Como se ha explicado, estas curvas de variación estacional se deben considerar sólo para efectos referenciales, ya que han sido construidas a partir de series de tiempo relativamente cortas, en términos de su validez estadística. Sin embargo, se considera que entregan información valiosa, ya que muestran un comportamiento comparable al obtenido para Huatacondo en Copaquire, pero con diferencias esperables, considerando que QDH-2 se asocia a una cuenca de cabecera: para probabilidades de excedencia bajas, los caudales en QDH-2 muestran un comportamiento muy similar al observado en Huatacondo en Copaquire, el cual es consistente con un sistema dominado por el Invierno Altiplánico, con importantes máximos de

verano; no obstante, dicho comportamiento es diferente al régimen promedio observado en QDH-2, para el cual los caudales medios máximos de invierno son tan grandes como los estivales.

Para condiciones hídricas normales (50% de probabilidad) se esperan caudales de entre 5 y 20 l/s en el punto QDH-2 de la quebrada Huinquintipa, con mayores caudales en invierno en comparación al verano. Estos valores son equivalentes a los observados a nivel promedio (entre 5 y 21 l/s), según se muestra en la Tabla 3.2.7-38.

e) Monitoreo de Caudales

Se cuenta con información de caudales de afloramiento (ver Anexo 3.2.7-1 (en específico en el Anexo E de dicho documento)), medidos en campañas periódicas desde diciembre de 2010 hasta diciembre de 2015. Dicha información se compone de:

- Mediciones realizadas por CMTQB entre abril de 2010 y marzo de 2012, consistentes en 17 campañas, en las que se midieron caudales en 6 puntos ubicados en afloramientos naturales: 3 ubicados en la sub área Mina en zonas de afloramiento natural, uno en la quebrada Llaretta, dos en la quebrada Huinquintipa. Adicionalmente, existen afloros en 2 puntos ubicados en la sub área Mina pero asociados a flujos operacionales.
- Mediciones realizadas por Schlumberger Water Services (SWS) desde diciembre de 2012, consistentes en un monitoreo periódico (aproximadamente mensual) de los caudales observados en varios sitios de interés, asociados a puntos de afloramiento de aguas subterráneas al sistema superficial. Se cuenta con información recabada, durante 37 campañas, en 20 puntos ubicados en afloramientos naturales, de los cuales 4 se encuentran en la sub área Mina, 5 en la quebrada Blanca aguas abajo del actual proyecto y uno en cada una de las quebradas Llaretta, Ramucho y Choja, y 8 en la quebrada Guatacondo y sus tributarios, incluyendo a la quebrada Huinquintipa. Adicionalmente, existen afloros en 11 puntos ubicados en la sub área Mina pero asociados a flujos operacionales.

En la Tabla 3.2.7-40 se presentan los flujos medios, mínimos y máximos monitoreados en los puntos que se pueden asociar a afloramientos naturales o a afloramientos que fueron naturales y hoy se encuentran influenciados externamente, excluyendo aquellos cuyo origen corresponde a estrujes de depósitos u otros procesos mineros. Para cada uno de los puntos seleccionados se entrega un rendimiento unitario referencial, calculado como la razón entre su caudal promedio y el área de la cuenca superficial aportante a cada uno de ellos. Además, se especifica en cada caso el régimen en que se encuentra cada punto, ya sea éste natural, con efecto de CMTQB o con efecto de CMDIC.

Cabe señalar que el periodo de monitoreo de los puntos M01 al M08 corresponde al 2010-2012, mientras que todos los puntos restantes fueron monitoreados entre 2013 y 2015.

Tabla 3.2.7-40. Análisis monitoreo de Caudales en Área de Influencia

Cuenca	Punto de Monitoreo	Promedio (l/s)	Mínimo (l/s)	Máximo (l/s)	Área (km ²)	Rendimiento (l/s/km ²)	N° de Aforos	Régimen del Punto
Q. Blanca Área Mina	SWS-5	0,5	0	2,8	3,6	0,15	23	Efecto CMTQB
	SWS-9	0,5	0	2,6	3	0,16	25	Efecto CMTQB
	M03	0,1	0	0,21	0,7	0,13	8	Efecto CMTQB ⁽²⁾
	SWS-6	0	0	0,3	0,7	0,00	18	Efecto CMTQB ⁽²⁾
	M01	1,3	0,17	6	1,8	0,72	12	Efecto CMTQB ⁽²⁾
	BCI-01	0,1	0	0,88	1,8	0,06	30	Efecto CMTQB ⁽²⁾
Q. Blanca aguas abajo Cortina Hidráulica N°1	M08	1,3	1,3	1,3	33	0,04	1	Efecto CMTQB
	QCH-01	0,2	0	2,3	33	0,00	35	Efecto CMTQB
	SWS-2	0	0	0	9,2	0,00	22	Efecto CMTQB
	SWS-7	2,6	0	16	61,7	0,04	36	Efecto CMTQB
	SWS-3	0	0	0	64,7	0,00	16	Efecto CMTQB
	SWS-19 ⁽³⁾	1,3	0	6,7	64,7	0,02	31	Efecto CMTQB
Q. Llareta	M07	5,7	0,12	18	8,5	0,67	5	Natural ⁽¹⁾
	QLLA-1	0,3	0	6,8	9,1	0,03	28	Natural ⁽¹⁾
Q. Ramucho	SWS-4 ⁽³⁾	7,2	0	24	161	0,04	35	Natural
Q. Choja	SWS-18 ⁽³⁾	10	0,12	23	226	0,04	34	Efecto CMTQB
Q. Huiniquinta	M05	9,7	0	32	26,9	0,36	16	Efecto CMDIC
	M06	7,1	0	27	26,9	0,26	14	Efecto CMDIC
	HUI-03	3	0	10	26,9	0,11	33	Efecto CMDIC
	HUI-02	3,5	0	15	55,1	0,06	36	Efecto CMDIC
	AHUI-01	0	0	0,03	2	0,00	31	Natural
	SWS-8	3,2	0	12	57,1	0,06	34	Efecto CMDIC
	SWS-20	1,5	0	24	59,9	0,03	32	Efecto CMDIC
	SWS-21	1,2	0	28	69,6	0,02	32	Efecto CMDIC
	SWS-14	0,4	0	6,6	156,9	0,00	33	Efecto CMDIC
SWS-15	4,4	0	12	190,2	0,02	36	Efecto CMDIC	

⁽¹⁾ Estos puntos no tienen influencia sub-superficial externa, sin embargo, reciben flujos superficiales esporádicos provenientes del canal de contorno del Botadero Sur de Ripios de Lixiviación existente, cuando ocurren intensos eventos de lluvia.

⁽²⁾ Si bien la cuenca se encuentra intervenida superficialmente por las pilas de lixiviación, estas instalaciones se encuentran desconectadas sub-superficialmente ya que se encuentran impermeabilizadas por el fondo.

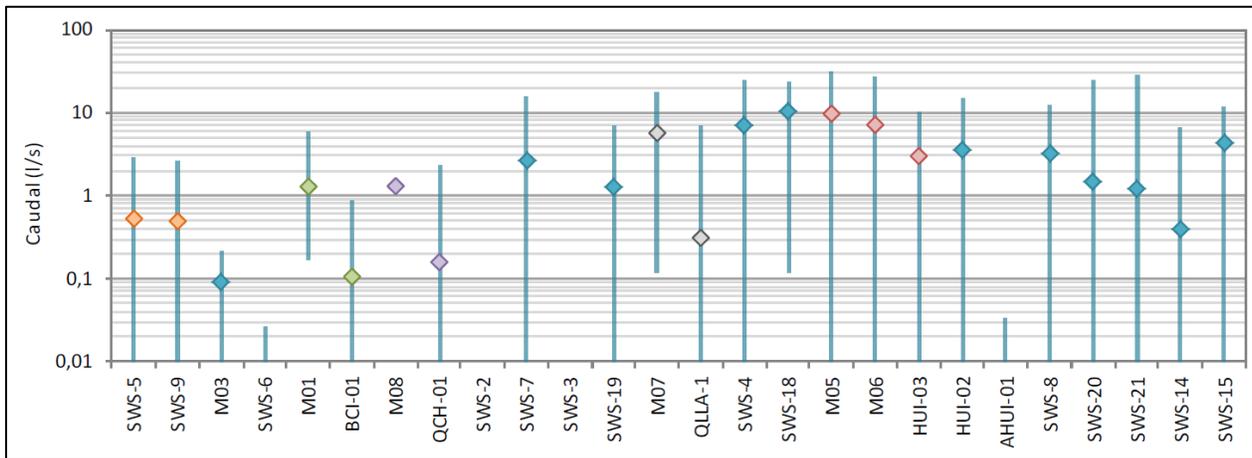
⁽³⁾ Para estos tres puntos, en el mes en que se efectuó la primera exploración de quebradas de SWS, se midieron flujos de manera adicional al monitoreo regular. El caudal considerado para efectos del presente análisis corresponde al promedio de ambos aforos realizados en el mes: el del monitoreo regular y el de la exploración.

Fuente: Tabla 23 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Se destaca que la medición, mediante aforos, de flujos tan pequeños como los que se observan en algunos puntos (M01 y M03, por ejemplo), tiene asociado un error significativo en relación al orden de magnitud del caudal que se presenta. En consecuencia, valores del orden de 0,1 o 0,2 l/s se deben considerar aproximados. No obstante, tales mediciones sí entregan información valiosa, en el sentido de que son indicativos de la presencia de agua en los cursos de agua relevantes, en determinados instantes.

En la Figura 3.2.7-39 se muestran los rangos de variación de los caudales medidos en cada punto, junto a sus respectivos promedios. Se han destacado con colores distintos aquellos pares o tríos de puntos que coinciden espacialmente de forma aproximada, a pesar de tener, en algunos casos, nomenclaturas distintas por haber sido identificados en primer lugar por CMTQB (periodo 2010-2012) y luego por SWS (periodo 2013-2015), en sus respectivas campañas. Los puntos naranjos se encuentran en la quebrada Agua del Mote, los verdes en el humedal de Ciénaga Grande y los morados en la quebrada Blanca, inmediatamente aguas abajo del proyecto. Los puntos grises se encuentran en la quebrada Llaretta, y los rojos en la quebrada Huinquentipa. Se aclara que los puntos M05 y M06 se encuentran en dos brazos de la misma sección de la quebrada Huinquentipa, por lo cual el flujo en dicha sección corresponde a la suma de aquéllos medidos en M05 y M06. En contraste, el punto HUI-3 (unos 80 m aguas arriba de M05 y M06) también estaría midiendo el flujo en uno de los brazos de la quebrada, por lo cual no ha sido considerado al momento de cuantificar el flujo total en dicha sección.

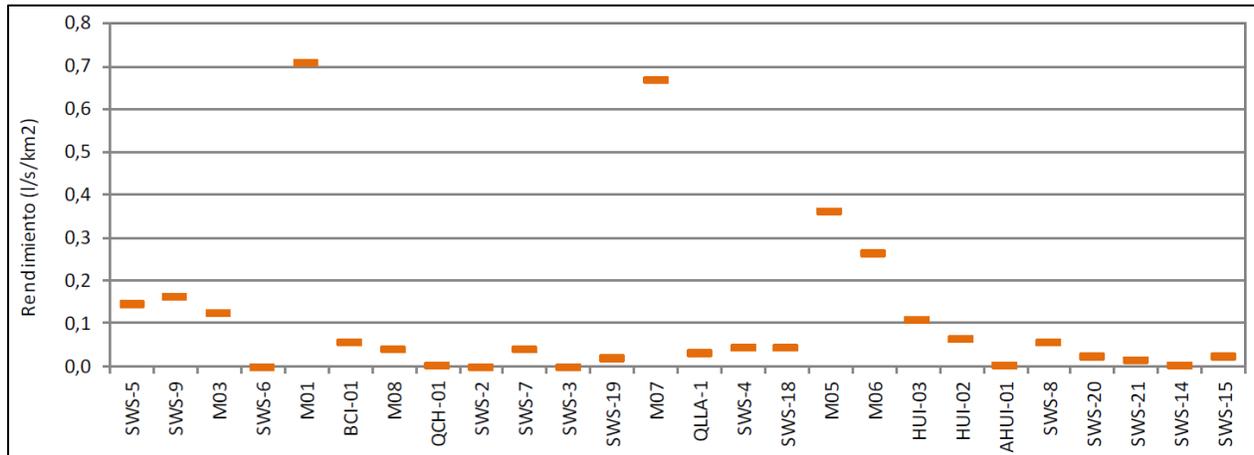
Figura 3.2.7-39. Rango de variación y promedios de Caudal en puntos de monitoreo



Fuente: Figura 37 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

En la Figura 3.2.7-40 se grafican los rendimientos unitarios obtenidos para cada punto. Los caudales promedio de afloramiento monitoreados varían entre 0,0 l/s y 10,3 l/s, mientras que los rendimientos (en los puntos en que es posible calcularlos) varían entre 0,0 l/s/km² y 0,7 l/s/km². Respecto a estos últimos, dado que el origen de estos flujos superficiales es subterráneo, se debe tener en cuenta que es probable que las cuencas sub-superficiales que aportan recursos a estos puntos de afloramiento no coincidan con las hoyas superficiales y que su comparación no sea del todo directa.

Figura 3.2.7-40. Rendimiento unitario medio en puntos de monitoreo



Fuente: Figura 38 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

A continuación, se analizan los caudales promedio y su variación estacional sobre la base de los monitoreos efectuados durante el período 2013-2015, con la finalidad de tener una misma base de comparación y a la vez maximizar la espacialidad del análisis.

e.1) Caudales promedio (período 2013-2015)

- Quebradas Blanca Llaretta y Ramucho

En términos de caudales promedio observados a lo largo de la quebrada Blanca (aguas abajo del proyecto) no se observa una clara tendencia referente a los afloramientos registrados. Los caudales son muy bajos inmediatamente aguas abajo de la zona donde actualmente se emplaza el Proyecto (aguas abajo de la Cortina Hidráulica N°1), en el punto QCH-01, desde donde se reducen hasta anularse en SWS-2, justo aguas arriba de la confluencia con la quebrada Llaretta. Luego de dicha confluencia los flujos aumentan hacia SWS-7, donde se observa vegetación. El aporte proveniente de la quebrada Llaretta, según se observa en el QLLA1, es de 0,31 l/s, en promedio, aunque dicho punto se observó seco desde noviembre de 2013 hasta diciembre del 2015, cuando se registraron flujos de 0,15 l/s en promedio.

Más abajo por la quebrada Blanca, en el punto SWS-3 (unos 200 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Ramucho), no se observa flujo superficial, mientras que en el punto SWS-19 (inmediatamente aguas arriba de la confluencia con la quebrada Ramucho) se observa un flujo prácticamente permanente, menor que el observado en SWS-7. Esto es indicativo de zonas intermitentes de descarga y recarga de aguas sub-superficiales. En cualquier caso, el caudal superficial promedio observado en quebrada Blanca es pequeño, variando entre 0 y 2,6 l/s. Inmediatamente aguas arriba de su confluencia con la quebrada Ramucho, su caudal es de 1,3 l/s en promedio.

En contraste con la quebrada Blanca, la quebrada Ramucho, en el punto SWS-4 (inmediatamente aguas arriba de su confluencia con la quebrada Blanca), presenta un caudal promedio de 7,2 l/s.

Es esperable un caudal mayor en Ramucho, dado que abarca una superficie de drenaje bastante mayor que quebrada Blanca, no obstante, es posible que la notoria diferencia en flujo se deba, además, a la presencia en Ramucho de un aluvial más somero que en quebrada Blanca, el cual forzaría el afloramiento de un caudal mayor, mientras que en la quebrada Blanca podría existir un mayor flujo subterráneo, aguas arriba de esta confluencia. Esto se ha verificado de forma aproximada mediante una estimación de la capacidad de porteo de caudal subterráneo en las quebradas Blanca y Ramucho en el entorno de su confluencia, en base a información geofísica y de perforaciones en la zona.

El punto SWS-18, en la quebrada Choja bajo la confluencia de Blanca y Ramucho, muestra un caudal medio de 10,3 l/s, mayor a la suma que los flujos superficiales medios en Blanca y Ramucho, sugiriendo que aguas abajo de su confluencia podrían estar aflorando parte de los recursos subterráneos de estas quebradas.

Se destaca, en relación a los puntos SWS-18 (en quebrada Choja) y SWS-4 (en quebrada Ramucho, inmediatamente aguas arriba de quebrada Choja) que, en seis de las 37 campañas realizadas, se observa un caudal mayor en SWS-4, en comparación con aquél medido en SWS-18, al contrario de lo que se presenta en el resto de las mediciones. Esto puede deberse a diferentes razones, como a un aumento en las infiltraciones en la zona de confluencia, a pérdidas por evaporación, al aumento o descenso de los caudales dependiendo de la hora del día a la que se afora (ya que los aforos no son simultáneos en los distintos puntos), o a un error de medición, dadas las bajas diferencias entre los caudales registrados y a que poseen un mismo orden de magnitud.

Karzulovic (1979) presenta información referencial de aforos en las quebradas Blanca, Ramucho y Choja, equivalentes a 3 l/s (18-Nov-1978), 16 l/s (29-Abr-1979) y 18 l/s (29-Abr-1979), respectivamente. Esta información, es concordante con lo presentado anteriormente para Choja y Ramucho, con valores dentro de los rangos de variación registrados en la actualidad, aunque en promedio se evidencia una disminución del caudal en la quebrada Blanca.

En términos de rendimientos, en la cuenca de Choja (que incluye las sub cuencas de las quebradas Blanca y Ramucho) es posible indicar de manera global, en base a los caudales observados, que las quebradas en régimen natural y aquellas no afectadas sub-superficialmente, tienen rendimientos del orden de 0,05 l/s/km² en promedio, mientras que las cuencas intervenidas (con efecto CMTQB) presentan rendimientos de entre 0 y 0,2 l/s/km², lo que podría explicarse por el manejo de aguas de contacto del Proyecto.

- Quebradas Huinquentipa, Copaquiri y Guatacondo

En la cabecera de la quebrada Huinquentipa, aguas abajo de la operación de CMDIC (4.330 m s.n.m.), se observa un caudal promedio en el punto de monitoreo HUI-03 de 3 l/s, aproximadamente 1,5 km aguas arriba de la estación QDH-2, la cual, si bien presenta un caudal medio en su período de registro (2004-2014) de 13 l/s, en el período concurrente con este monitoreo (2013-2015), presenta un caudal medio de 7,6 l/s. Se reitera que se considera que

HUI-3 no mide la totalidad del flujo de la quebrada Huinquentipa en la sección donde se ubica, ya que la quebrada se encuentra dividida en varios brazos, y el punto de aforo abarca uno de ellos; al comparar los aforos en dicho punto con las mediciones en QDH-2, se obtiene que, en promedio, HUI-3 podría estar midiendo aproximadamente la mitad del flujo de la quebrada. Bajando aproximadamente 1,3 km por la quebrada Huinquentipa desde QDH-2, se encuentra el punto de monitoreo HUI-02, el cual presenta un flujo promedio de 3,5 l/s. Aguas abajo de dicho punto, la quebrada Huinquentipa recibe los recursos de uno de sus tributarios, y bajo esta confluencia, el punto SWS-8 de la quebrada Huinquentipa (4.230 m s.n.m.) registra un flujo promedio de 3,2 l/s. En todo este tramo alto de la quebrada, el flujo subterráneo parece no variar mucho; si bien, a medida que se desciende desde la cabecera hacia aguas abajo hay una mayor superficie aportante, también existe una demanda evapotranspirativa producto de la vegetación azonal presente a lo largo del cauce en esta zona, que podría estar compensando el aumento en flujo que podría esperarse hacia aguas abajo.

Casi 3 km aguas abajo de SWS-8, el punto SWS-20 entrega un flujo promedio de 1,5 l/s inmediatamente aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Ancho con Huinquentipa. Aguas abajo de dicho aporte, el punto SWS-21 registra 1,2 l/s en promedio. Desde este punto en adelante ya se observan flujos de menor magnitud. Casi 7 km aguas abajo del SWS-21, en la que a esta altura se denomina quebrada Copaquiri (más arriba Huinquentipa), aguas abajo del aporte de la gran cuenca de Sallihuinca, y aguas arriba de la confluencia de las quebradas de Ornajuno y Apacheta, el flujo en SWS-14 (3.580 m s.n.m.) es de 0,4 l/s. Esta disminución hacia aguas abajo podría ser producto de una profundización del aluvial, por la cual no estaría aflorando todo el caudal subterráneo en estos puntos, produciéndose una mayor infiltración, y/o porque las demandas vegetacionales son de gran importancia en este sector, particularmente en Sallihuinca.

Por último, 1,6 km aguas abajo del SWS-14, tras la confluencia de las quebradas de Ornajuno y Apacheta con Copaquiri, para formar la quebrada Guatacondo, se observa, en el punto SWS-15, un flujo de monitoreo promedio de 4,4 l/s. Aproximadamente, en esta misma ubicación se encuentra la estación Río Huatacondo en Copaquire, en donde se observa un caudal medio de 6,0 l/s en el período concurrente con este monitoreo (siendo su caudal medio histórico entre 1977 y 2015 de 18 l/s).

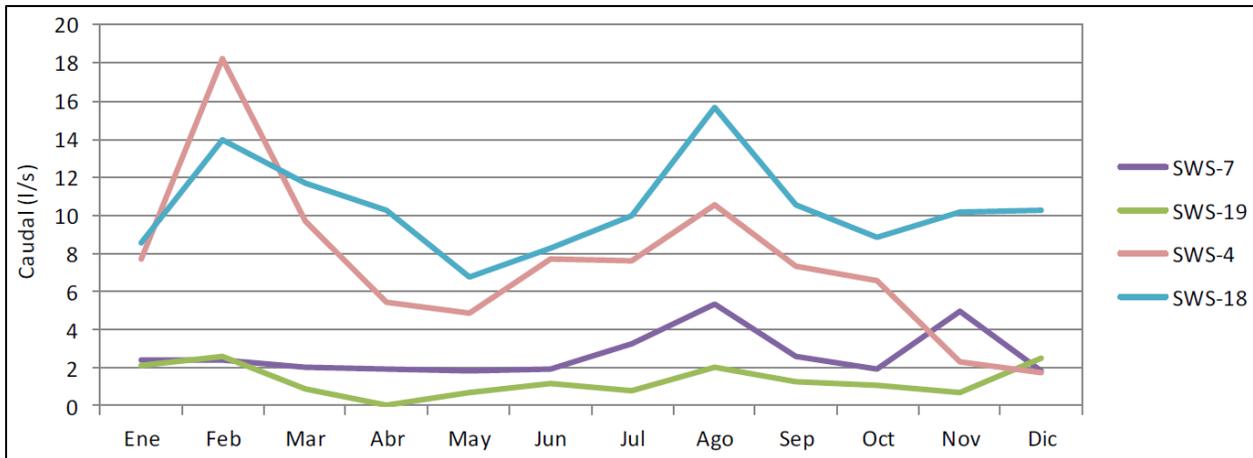
En cuanto a rendimientos, éstos también muestran un descenso hacia aguas abajo, desde 0,11 l/s/km² en HUI-03, hasta 0,02 l/s/km² en SWS-15.

e.2) Variación estacional (período 2013-2015)

La estacionalidad se ha estudiado en aquellos puntos en donde se han observado flujos en la mayoría de los monitoreos. Se han descartado, por lo tanto, puntos como SWS-6 (El Carmen), BCI-01 (Ciénaga Grande), QCH-01 (Blanca), QLLA-1 (Llaretá), AHUI-01 (tributario de Huinquentipa), SWS-20, SWS-21 y SWS-14 (Huinquentipa), en donde los cauces se han observado secos prácticamente en todas las campañas desde diciembre de 2013 (y en algunos casos desde antes), en circunstancias en que antes se habían observado allí flujos.

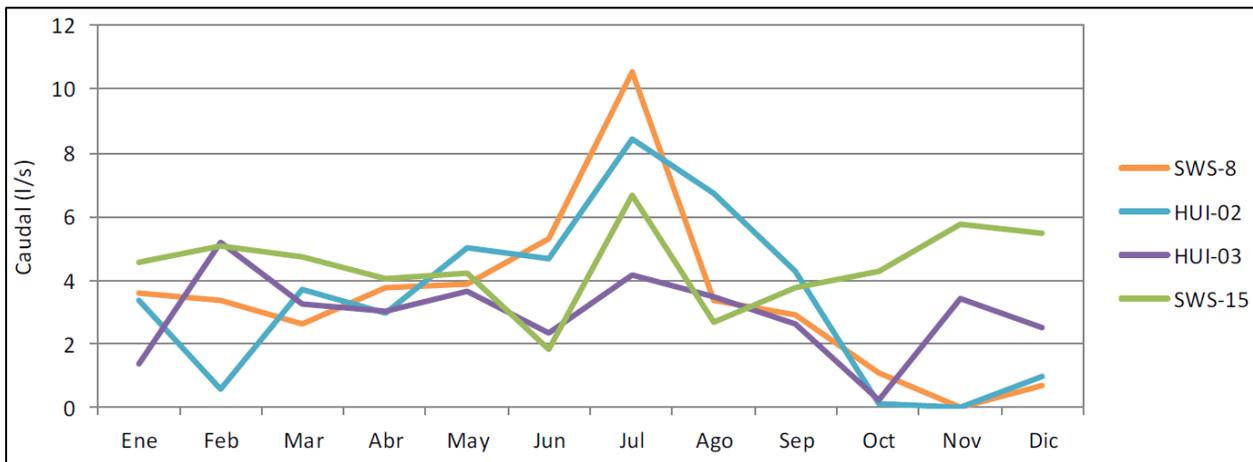
A partir de los puntos seleccionados, se han estimado caudales promedio asociados a cada mes del año, existiendo dos o tres valores puntuales para cada mes, dependiendo del punto. En la Figura 3.2.7-41 se presentan los promedios mensuales observados en los puntos seleccionados de las quebradas Blanca y Ramucho, mientras que en la Figura 3.2.7-42 se muestra el análogo para las quebradas Huinquentipa y Guatacondo.

Figura 3.2.7-41. Variación estacional de Caudales monitoreados en las quebradas Blanca y Ramucho



Fuente: Figura 39 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Figura 3.2.7-42. Variación estacional de Caudales monitoreados en las quebradas Huinquentipa y Guatacondo



Fuente: Figura 40 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Se observa en ambas figuras una temporada de mayor flujo, centrada aproximadamente entre los meses de mayo a octubre (para la mejor visualización de esta temporada, las Figura 3.2.7-41 y Figura 3.2.7-42, se presentan para un año calendario, y no hidrológico, de julio a junio). Se observa además un aumento de los caudales en el mes de febrero, en algunos puntos de monitoreo. Lo anterior, se interpreta como un indicativo de que en estos puntos, al momento de efectuarse la medición de caudal, posiblemente existía escorrentía superficial asociada a eventos

de tormenta recientes. Si bien las precipitaciones más notorias en el Área de Influencia son las grandes tormentas estivales asociadas al invierno boliviano, también existen eventos invernales, aunque de magnitud considerablemente menor, tal como se mostró en la Figura 3.2.7-17.

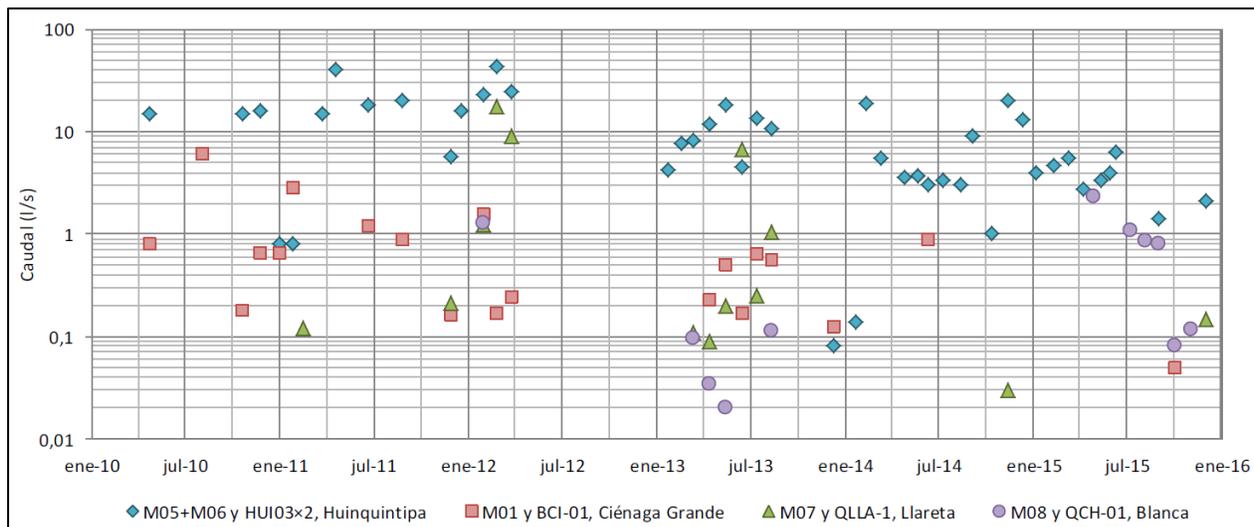
Los puntos de monitoreo se han ubicado en secciones de las distintas quebradas en donde normalmente se observa agua en superficie y vegetación, en circunstancias en que la mayor parte de las quebradas se observan secas. Luego, se sabe que son puntos de afloramiento del basamento rocoso y que, en ausencia de escorrentía directa revelan flujos que son netamente subterráneos.

e.3) Variación interanual

El análisis de la variación interanual y la potencial relación precipitación-caudal se realiza sobre la base de aquellos monitoreos que abarcan desde abril del año 2010 hasta diciembre de 2015. La Figura 3.2.7-43 muestra cuatro puntos de monitoreo en los cuales es posible apreciar la variación interanual de estos flujos.

La Figura 3.2.7-43 muestra que los caudales en un mismo año se mantienen aproximadamente dentro de un mismo rango, observándose una aparente tendencia al descenso de los flujos a través de los años. No obstante, se aclara que las escalas de tiempo en que se rigen los flujos sub-superficiales y los afloramientos monitoreados, hacen que esta muestra de poco más de cuatro años pueda no ser lo suficientemente extensa como para admitir un análisis interanual que permita atribuir variaciones leves en los flujos a causas puntuales. Sin perjuicio de lo anterior, el registro regional de caudales en la estación Huatacondo en Copaquire ha mostrado una tendencia al descenso de sus flujos aproximadamente desde el año 2012, lo cual coincide con lo observado en las campañas de aforo.

Figura 3.2.7-43. Flujos mensuales y su variación interanual – Caudales locales período 2010/2011 a 2013/2014



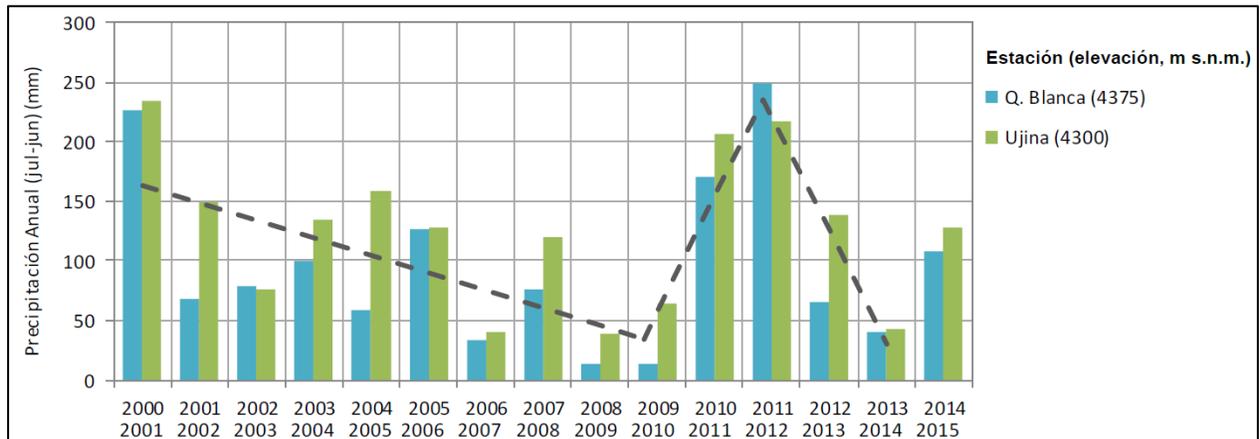
Fuente: Figura 42 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

e.4) Relación Precipitación y Caudal

En la Figura 3.2.7-44, se muestra que la precipitación anual en el Área de Influencia entre los años 2000/2001 y 2009/2010 presenta una clara tendencia descendente, para luego aumentar hasta el 2011/2012, y finalmente descender hasta el año 2013/2014. En forma paralela, se observa una aparente disminución de los flujos a lo largo de su período de monitoreo, desde 2010 (Figura 3.2.7-43).

En general, no es posible concluir sobre una correlación evidente entre la disminución de flujos y la de precipitación, ya que, el descenso en caudal entre 2010 y 2015 podría ser explicado por retardo (de años) en la respuesta de los afloramientos subterráneos a la disminución de precipitación en el periodo entre 2003 y 2009, así como también podría deberse a la disminución de precipitación en el periodo 2010 y 2014 si el sistema tuviera respuesta más rápida.

Figura 3.2.7-44. Precipitación anual en los últimos años hidrológicos en las cercanías del Área de Influencia



Fuente: Figura 43 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

f) Campaña de exploración de quebradas

Además de las actividades de monitoreo antes descritas en este documento, se realizaron tres campañas de exploración de detalle por las quebradas más importantes dentro del Área de Influencia.

- Primera Campaña: desarrollada por SWS en agosto 2015, abarcó las quebradas Jovita (y su tributaria Chana), Ramucho y Choja.
- Segunda Campaña: desarrollada por SWS en octubre 2015, abarcó la quebrada Paguana y sus quebradas aportantes, Colpagno, Chilpanita y Camaruno.
- Tercera Campaña: desarrollada por Golder en diciembre de 2015, abarcó las quebradas Choja, Blanca, Jovita y Ramucho, además de la quebrada Papajoy, tributaria de Ramucho.

Durante estas campañas, se buscó identificar puntos de interés en cuanto a la geología, geomorfología e hidrogeología de las quebradas en estudio, poniendo atención a la ocurrencia

de vegetación y agua superficial, así como a las zonas con notoria ausencia de vegetación y humedad.

f.1) Quebrada Blanca

En la tercera campaña de diciembre 2015 en la quebrada Blanca se observaron tramos secos y de afloramiento, de manera alternada, con caudales variando entre 0,1 y 7,1 l/s, este último valor, inmediatamente aguas arriba de su confluencia con la quebrada Ramucho. Se reportó una descarga de aproximadamente 7 l/s desde la planta de aguas servidas del Proyecto, la cual restituye, en promedio, 5 l/s hacia la quebrada Blanca.

f.2) Quebrada Jovita

En la primera campaña de agosto de 2015 se observó que en el tramo superior de la quebrada se tiene una alternancia de tramos secos y húmedos los cuales se encuentran asociados a zonas de bofedal y a una turbera. En esta zona se encuentran estructuras en dirección este a oeste ejerciendo control sobre la presencia de agua, donde se observó un afloramiento en forma difusa, lo cual, junto a las bajas pendientes, favorecen el desarrollo vegetal en el aluvial. En la zona superior de la quebrada el agua circula de forma sub-superficial en los tramos de mayor pendiente, y aflora o se acerca a la superficie en los tramos de menor pendiente. Por otro lado, en el tramo inferior de la quebrada, el agua superficial desaparece y hay ausencia de vegetación. Con respecto a la quebrada Chana (aportante a la quebrada Jovita) se detectó poca agua superficial, encontrándose seca en la mayor parte de su trazado, con poca vegetación asociada, siendo ésta principalmente pajonal y localizada en afloramientos puntuales.

En la tercera campaña de diciembre 2015 los hallazgos fueron muy similares: en el tramo superior de la quebrada se observó humedad y vegetación, evidenciando la presencia de agua subterránea somera; y se observaron algunos afloramientos, pero sin un flujo medible.

f.3) Quebrada Ramucho

En la primera campaña de agosto 2015 se observó que en la zona superior de la quebrada Ramucho se tienen escurrimientos superficiales difusos, zonas de bofedal y agua apozada, la cual se encontró congelada. En la confluencia con la quebrada Chiclla se midieron los mayores afloramientos, del orden de 14 l/s, donde además se avistó, tanto en el eje de la quebrada Ramucho como de Chiclla, presencia de vegetación, lo que indica disponibilidad de agua, ya sea en forma superficial o sub-superficial. En el tramo medio superior se observó que la quebrada presenta baja pendiente, lo que permite la formación de bofedales y de agua encharcada, en donde se midieron caudales de 7 a 8 l/s.

En el tramo medio inferior el cauce se hace más angosto y las laderas de la quebrada presentan una mayor pendiente, lo que favorece la generación de escorrentía superficial y, en consecuencia, un bajo desarrollo vegetacional asociado al apozamiento de agua. Se documentó alternancia de

zonas de bofedal, afloramientos y aportes laterales con zonas de pajonal, midiéndose caudales entre los 5 y 6,5 l/s.

Luego, en el tramo inferior, unos 900 m aguas arriba de la confluencia de Ramucho con la quebrada Papajoy, se observó cómo el agua va desapareciendo del cauce, partiendo este tramo con caudal de 9,8 l/s hasta llegar a un caudal estimado de 0,2 a 0,3 l/s para luego secarse por completo, situación que es revertida aguas abajo de la confluencia con Papajoy, a medida que se sigue descendiendo por el cauce hacia la confluencia con la quebrada Blanca, donde se detectaron aportes desde los afloramientos de roca de las laderas. El caudal observado durante esta exploración, justo antes de dicha confluencia (punto SWS-4 del monitoreo regular), fue de 3,8 l/s, lo cual se encuentra dentro del rango de caudales observados en este punto durante las campañas de monitoreo regular de SWS, según se ha descrito en el acápite 3.2.7.5.3e de este informe.

En la tercera campaña de diciembre 2015 se observó que en un tramo de aproximadamente 4 km antes de su confluencia con quebrada Blanca, se registraron afloramientos puntuales, con caudales de entre 0,3 y 0,8 l/s, lo que difiere de lo medido en la primera campaña de agosto 2015. Se observó también la presencia de vegetación, tanto en Ramucho como en su tributario Papajoy.

f.4) Quebrada Choja

En la primera campaña de agosto 2015 se observó que aguas abajo de la confluencia de las quebradas Blanca y Ramucho se tiene un caudal pasante de 8,2 l/s en la quebrada Choja, lo cual es cercano al flujo observado en promedio en este punto durante las campañas de monitoreo regular de SWS, según se ha descrito en la acápite 3.2.7.5.3e. Descendiendo por la quebrada, se observa un gradual aumento en el flujo superficial. A unos 300 m, se observaron los restos de una antigua explotación minera informal de pequeña escala; aguas abajo de dicha zona se midió un caudal de 11,1 l/s. El flujo máximo medido fue de 11,9 l/s a unos 3 km aguas abajo de esta confluencia. Posteriormente, el flujo empieza a disminuir a medida que se desciende en elevación, y en la cuenca comienzan a predominar las áreas de infiltración. Desde aproximadamente unos 10 km aguas abajo de la confluencia de las quebradas Ramucho y Blanca, ya se observa ausencia de agua superficial; desapareciendo así la escorrentía superficial intermitente.

En la tercera campaña de diciembre de 2015 se observó que aguas abajo de la confluencia de las quebradas Blanca y Ramucho, por la quebrada Choja, se tienen caudales en zonas de afloramientos puntuales, con flujos crecientes hacia aguas abajo, variando entre 4,6 y 11,9 l/s, alcanzándose este máximo a unos 700 m de la confluencia, en donde la geología de la zona sugiere que debe estar aflorando prácticamente todo el flujo subterráneo.

f.5) Quebrada Paguana

Durante la primera campaña de agosto 2015 se recorrió la quebrada Paguana, así como sus tres principales tributarios: Colpagno, Camaruno y Chilpanita.

En la quebrada Camaruno se evidenció flujo superficial intermitente en donde los caudales inventariados fueron inferiores a 1 l/s; en la parte alta de la quebrada se presentó un cauce estacional con morfología moderada inclinada y abierta sin afloramientos de agua ni humedad, y con escasa vegetación; en la parte media de la quebrada se observaron afloramientos con flujos pequeños que no permitieron medición; y finalmente el tramo inferior de Camaruno se encontró seco, con sectores acotados con presencia de vegetación y humedad. En la quebrada Colpagno, se vio escasa agua superficial (en la mayor parte de su trazado se encuentra seca), con poca vegetación asociada; el agua superficial se encontró en afloramientos puntuales ubicados en el tramo medio inferior de la quebrada. No se encontró agua superficial en la quebrada Chilpanita. Por último, la quebrada Paguana se observó seca en su tramo inicial, sin embargo, se identificaron algunos puntos de afloramiento en su tramo inferior, con flujos inferiores a 0,2 l/s.

g) Situación basal para QB2 (fin QB1)

g.1) Descripción general

Para efectos de definir una situación de base para el comienzo del proyecto Quebrada Blanca en su Fase 2, para la componente superficial de los recursos hídricos, se necesita tener una estimación de las magnitudes de los elementos del Balance Hídrico Superficial al fin del Proyecto en su Fase 1. En función de lo anterior, se desarrolló un modelo de balance hídrico con el fin de caracterizar la distribución del recurso hídrico en el Área de Influencia, que comprende las cuencas de Guatacondo, Paguana y Choja la cual, a su vez, incluye las sub cuencas de las quebradas Ramucho, Jovita y Blanca, en la cual se emplaza el Proyecto (Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo).

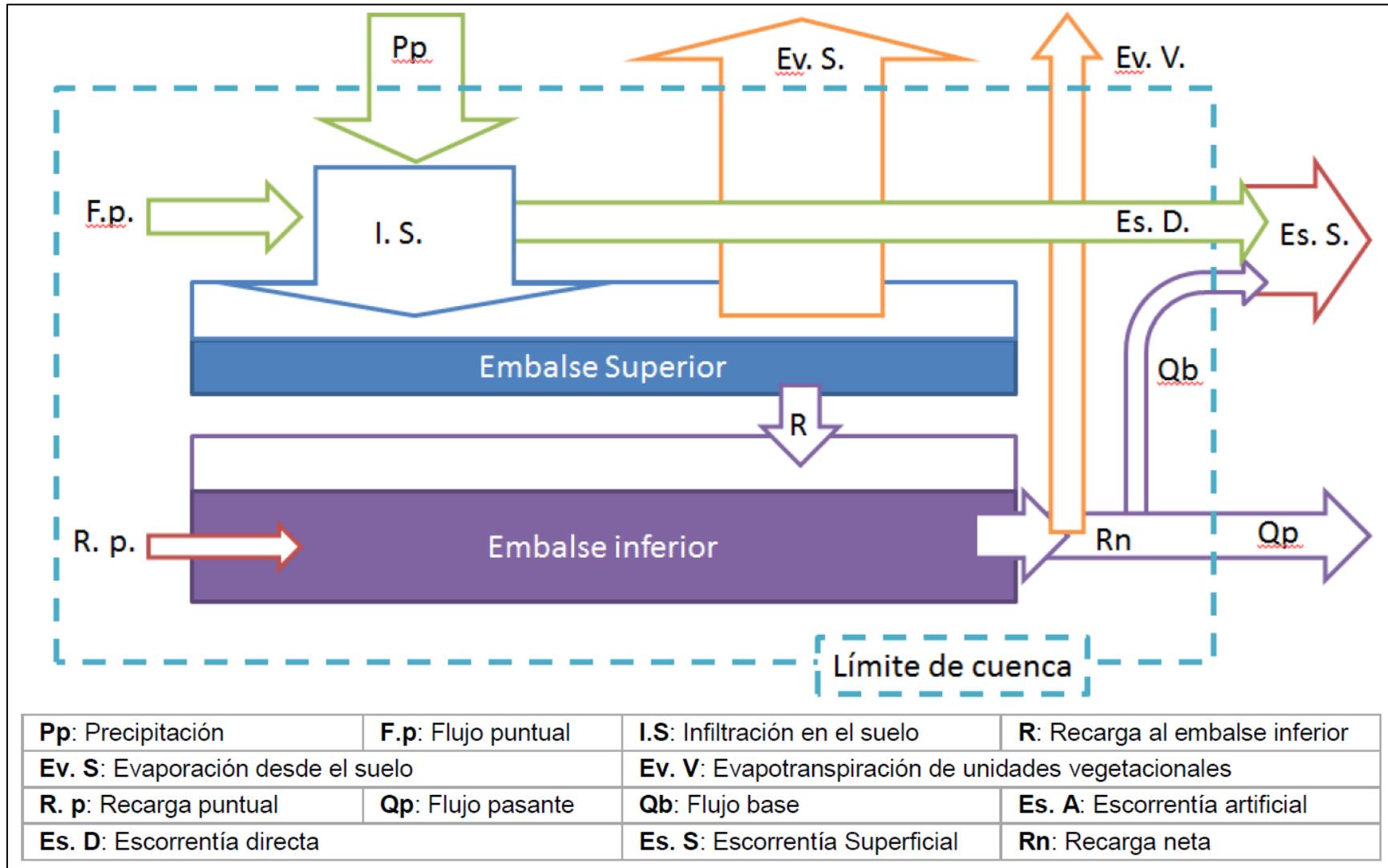
En la Figura 3.2.7-45 se muestra un diagrama del esquema conceptual adoptado. En la superficie del embalse superior se genera la escorrentía directa y, dentro de éste, se llevan a cabo los procesos de infiltración, evapotranspiración desde el suelo y recarga; por su parte, en el embalse inferior se desarrollan los procesos de almacenamiento subterráneo, y liberación gradual del agua almacenada. Este flujo de agua liberada gradualmente alimenta las demandas evapotranspirativas y permite la generación del caudal base superficial y el flujo pasante subterráneo, éstos dos últimos conforman la llamada recarga neta. Más detalles sobre el modelo numérico se presentan en el Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

El balance hídrico considera dos escenarios:

- Condición de Pre-mina, que representa al sistema hídrico existente antes de la operación del Proyecto Quebrada Blanca.
- Escenario al Fin de QB1, que representa a las condiciones hídricas futuras de la fase final de QB1, incluyéndose lo siguiente:
 - En la cabecera de Huinquentipa según la RCA de CMDIC (COREMA, 2001), se indica que en el punto QDH-2 se restituye un caudal tal que mantiene el caudal normal de la quebrada, por lo que la cuenca se considera en régimen natural.

- Se inyecta un flujo de 2 l/s hacia el sistema subterráneo de la quebrada Blanca, y se descarga un caudal superficial de 3 l/s hacia la misma, en el Sistema de Inyección N°1 (SI N°1). Dicho sistema se ubica aguas abajo del Sistema Cortafugas N°1 (SC N°1), unos 3 km aguas arriba de la confluencia de la quebrada Blanca con Llareta.

Figura 3.2.7-45. Modelo conceptual de Balance Hídrico



Fuente: Figura 48 del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

- En la cuenca de la quebrada Blanca, se independiza la cabecera de la cuenca aguas arriba de la Cortina Hidráulica N°2 (CH N°2), ubicada en la quebrada Blanca aguas arriba de su confluencia con la quebrada Jovita. Esta cortina capturaría los flujos subterráneos provenientes del Área Mina (incluyendo el flujo descargado en el SI N°1). Bajo ese punto, para que sea reflejado aguas abajo, se considera que se efectúa una inyección hacia la quebrada Blanca de 8 l/s continuos, en el Sistema de Inyección N°2 (SI N°2), ubicado inmediatamente aguas abajo de la CH N°2.
- Se considera la existencia del canal de contorno existente Botadero Sur de Ripios de Lixiviación (Canal Ripios Sur), que desvía la escorrentía directa desde la zona alta de la cuenca de Ciénaga Grande hacia la quebrada Llaretá.

Para efectos de la caracterización de línea base hidrológica, los resultados del modelo de balance que se consideran relevantes son los de aquellos puntos que representan la salida de las cuencas, sub cuencas y sub-sub cuencas analizadas y que conforman el Área de Influencia Hidrológica. Las características de estos puntos se resumen en la Tabla 3.2.7-41 y su ubicación se muestra en la Figura 3.2.7-46.

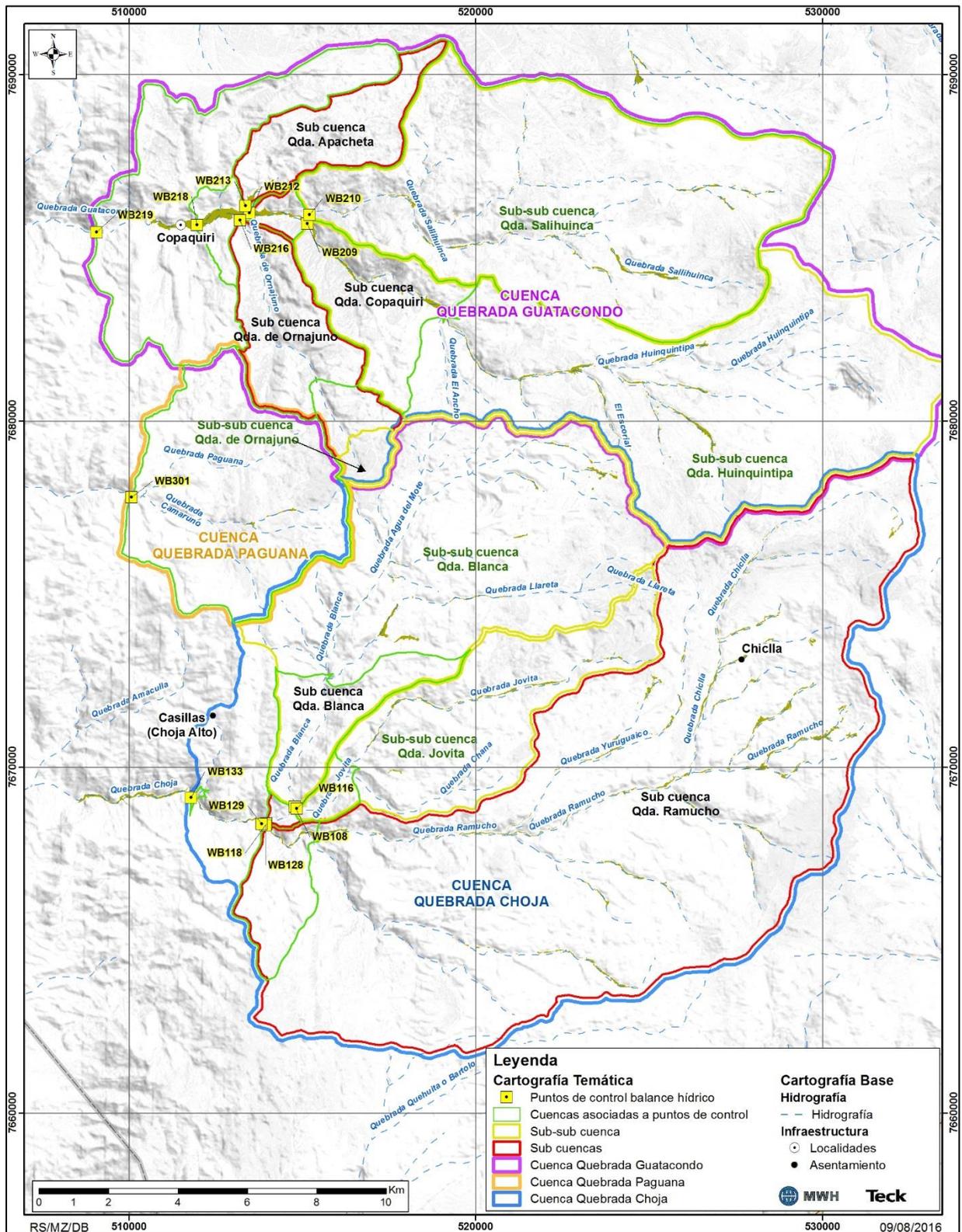
Tabla 3.2.7-41. Puntos del modelo de Balance Hídrico relevantes para la Línea Base Hidrológica

Cauce	ID	Descripción	UTM Norte*	UTM Este*	Área (km ²)
Q. Blanca	WB108	A. arriba de conf. con Q. Jovita	7.668.848	514.790	67,1
Q. Jovita	WB116	A. arriba de conf. con Q. Blanca	7.668.785	514.838	29,7
Q. Blanca	WB118	A. arriba de conf. con Q. Ramucho	7.668.359	513.962	97,5
Q. Ramucho	WB128	A. arriba de conf. con Q. Blanca	7.668.314	513.938	160,5
Q. Choja	WB129	A. abajo de conf. entre Q. Blanca y Ramucho	7.668.350	513.838	258,0
Q. Choja	WB133	A la salida del Área de Influencia	7.669.112	511.798	269,4
Q. El Chilcar	WB209	A. arriba de conf. con Q. Sallihuinca	7.685.695	515.149	82,6
Q. Sallihuinca	WB210	A. arriba de conf. con Q. Huinquentipa	7.685.948	515.207	73,0
Q. Copaquiri	WB212	A. arriba de conf. con Q. Apacheta y de Ornajuno	7.685.998	513.473	157,2
Q. Apacheta	WB213	A. arriba de conf. con Q. Copaquiri	7.686.209	513.370	11,5
Q. de Ornajuno	WB216	A. arriba de conf. con Q. Copaquiri	7.685.790	513.211	18,2
Q. Guatacondo	WB218	A. abajo de conf. con Q. La Zanja de Castro	7.685.656	511.964	189,7
Q. Guatacondo	WB219	A la salida del Área de Influencia	7.685.438	509.076	219,6
Q. Paguana	WB301	Quebrada Paguana	7.677.783	510.072	33,2

* Coordenadas en Datum WGS84

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Figura 3.2.7-46. Ubicación puntos del modelo de Balance Hídrico relevantes para Línea Base Hidrológica



Fuente: Elaboración propia.

En los acápite siguientes se presentan los resultados para los puntos indicados en el párrafo anterior, que son obtenidos del modelo de balance hídrico para los escenarios de Pre-mina y Fin de QB1. Al respecto, es importante mencionar que los resultados que se presentan son valores promedio de las series obtenidas por el modelo que consideran tanto años secos como húmedos, por lo tanto, en algunos casos se pueden tener valores de Escorrentía Directa en algunas cuencas en que los valores observados no muestran caudales medidos.

Por último, se debe indicar que los resultados obtenidos con el modelo fueron verificados en el Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo, respecto a los caudales aforados en los distintos puntos con información, obteniéndose como resultado que los valores son de órdenes de magnitud similares, por lo que el modelo se consideró adecuado para entregar estimaciones de los caudales simulados en las distintas cuencas de interés, que permitan analizar variaciones de dicha variable, tanto para los escenarios base (Pre-mina y Fin QB1) como para escenarios futuros de QB2.

g.2) Resultados Balance Hídrico

- Resultados cuenca quebrada Choja

En la Tabla 3.2.7-42 se presentan los resultados entregados por el modelo de balance en la Situación Pre-Mina para los puntos asociados a las sub cuencas y sub-sub cuencas relevantes dentro del Área de Influencia, situados en la cuenca de la quebrada Choja. Tal como se observa en la mencionada tabla, el modelo de balance entrega resultados de flujo total pasante (superficial + subterráneo) por una determinada sección, lo que queda definido por la Escorrentía Directa (Es.D) más la Recarga Neta (Rn), siendo esta última igual a la suma del Flujo Base (Qb) y del Flujo Subterráneo Pasante (Qp). De esta forma, a partir de dicho modelo no es posible obtener de forma directa la Escorrentía Superficial (Es.S) para los puntos detallados en la Tabla 3.2.7-42, por lo cual se requiere hacer algunas estimaciones del caudal subterráneo pasante, que permitan determinar un valor aproximado del flujo base y consecuentemente de la Escorrentía Superficial (Escorrentía Directa + Flujo Base).

Tal como fue indicado anteriormente, es importante recordar que los resultados que se presentan son valores promedio de las series obtenidas por el modelo que consideran tanto años secos como húmedos, por lo tanto, en algunos casos se pueden tener valores de Escorrentía Directa en algunas cuencas en que los valores observados no muestran caudales medidos.

Tabla 3.2.7-42. Flujos de salida en los puntos de interés en la cuenca de quebrada Choja situación pre-mina

Punto	Unidad	Pp	Es.D	I.S	Ev.S	R	Ev.V dem	Ev.V	Rn
Sub-sub cuenca quebrada Blanca (WB108)	l/s	203,3	6,1	197,2	188,6	8,5	4,5	4,5	4,1
	mm	95,5	2,9	92,6	88,6	4,0	2,1	2,1	1,9
	%	100%	3%	97%	93%	4%	2%	2%	2%
Sub-sub cuenca quebrada Jovita (WB116)	l/s	88,5	2,7	85,8	80,9	4,9	3,1	3,1	1,8
	mm	94,0	2,8	91,1	85,9	5,2	3,3	3,3	1,9
	%	100%	3%	97%	92%	5%	3%	3%	2%
Sub cuenca quebrada Blanca (WB118)	l/s	293,2	8,8	284,4	271,0	13,4	7,6	7,6	5,8
	mm	94,8	2,8	92,0	87,7	4,3	2,5	2,5	1,9
	%	100%	3%	97%	92%	5%	3%	3%	2%
Sub cuenca quebrada Ramucho (WB128)	l/s	501,2	15,0	486,1	447,5	38,6	27,2	27,1	11,5
	mm	98,5	3,0	95,5	87,9	7,6	5,3	5,3	2,3
	%	100%	3%	97%	89%	8%	5%	5%	2%
(*) Quebrada Choja aguas abajo confluencia quebrada Blanca y quebrada Ramucho (WB129)	l/s	794,4	23,8	770,6	718,5	52,0	34,8	34,7	17,3
	mm	97,1	2,9	94,2	87,8	6,4	4,3	4,2	2,1
	%	100%	3%	97%	90%	7%	4%	4%	2%
Cuenca quebrada Choja (WB133)	l/s	822,9	24,7	798,2	746,0	52,2	35,0	34,9	17,3
	mm	96,3	2,9	93,4	87,3	6,1	4,1	4,1	2,0
	%	100%	3%	97%	91%	6%	4%	4%	2%

Pp: Precipitación; Es.D: escorrentía directa; I.S: Infiltración en el Suelo; Ev. S: Evaporación desde el suelo; R: Recarga al embalse inferior; R.p: Recarga puntual embalse inferior; Ev. V dem: Demanda de evapotranspiración de unidades vegetacionales; Ev. V: Evapotranspiración de unidades vegetacionales, Rn: Recarga neta.

(*): No corresponde a una cuenca, sub cuenca o sub-sub cuenca definida en el Área de Influencia, pero es un punto relevante ya que en éste se tiene información del sistema acuífero que permite estimar flujos subterráneos pasantes y consecuentemente la Escorrentía Superficial.

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo, se tienen las estimaciones para los mencionados Flujos Base (Qb), que permiten determinar de forma aproximada la Escorrentía Superficial (Es.S) para la situación Pre-Mina. Estos valores se muestran en la Tabla 3.2.7-43.

Tabla 3.2.7-43. Escorrentía superficial en los puntos de interés en la cuenca de quebrada Choja, situación pre-mina

Punto	Es.D (l/s)	Qb (l/s)	Es.S (l/s)
Sub-sub cuenca quebrada Blanca (WB108)	6,1	0,0	6,1
Sub-sub cuenca quebrada Jovita (WB116)	2,7	0,0	2,7
Sub cuenca quebrada Blanca (WB118)	8,8	3,0	11,8
Sub cuenca quebrada Ramucho (WB128)	15,0	10,4	25,4
Quebrada Choja aguas abajo confluencia quebrada Blanca y quebrada Ramucho (WB129)	23,8	13,5	37,3
Cuenca quebrada Choja (WB133)	24,7	13,5 (*)	38,2

(*): De SWS (2016) se estima un flujo subterráneo pasante similar en la salida del Área de Influencia a la del sistema Choja aguas abajo de la confluencia de quebrada Blanca y quebrada Ramucho.

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

De igual forma en las Tabla 3.2.7-44 y Tabla 3.2.7-45 se muestran los resultados para los puntos de interés al Fin QB1 (situación inicial para el comienzo de QB2). La interacción de la operación minera del Proyecto en su Fase 1 con las cuencas ubicadas aguas abajo, se incluyen en la Tabla 3.2.7-44 al considerar lo siguiente:

- Una descarga de 5,0 l/s hacia la sub-sub cuenca quebrada Blanca, asociada al compromiso de restitución de flujo hacia la quebrada Blanca, en el Sistema de Inyección N°1 (2 l/s subterráneos y 3 l/s superficiales que, para efectos del modelo de balance).
- La captación de la totalidad del flujo pasante disponible en la sección de la quebrada Blanca donde se emplaza la Cortina Hidráulica N°2, aguas arriba de la sección de salida de la sub-sub cuenca quebrada Blanca.
- La inyección de 8 l/s hacia la sub-sub cuenca quebrada Blanca, asociada al compromiso de restitución de flujo hacia la quebrada Blanca, en el Sistema de Inyección N°2 (aguas abajo de la Cortina Hidráulica N°2).

Se ha determinado que en la quebrada Blanca, aguas arriba de su confluencia con la quebrada Jovita, la totalidad de la recarga neta escurre de forma subterránea. Luego, el modelo asume que la Cortina Hidráulica N°2, al captar la totalidad del flujo pasante, está efectivamente captando la totalidad de la recarga neta modelada hasta aguas arriba de la Cortina Hidráulica N°2.

Tabla 3.2.7-44. Flujos de salida en los puntos de interés en la cuenca de quebrada Choja, situación Fin QB1

Punto	Unidad	Pp	Es.D	I.S	Ev.S	R	Rp	Ev.V dem	Ev.V	Rn
Sub-sub cuenca quebrada Blanca (WB108)	l/s	96,6	3,1	93,7	90,5	3,3	13,0	1,0	1,0	8,0
	mm	92,2	3,0	89,4	86,3	3,1	12,4	0,9	0,9	7,6
	%	100%	3,2%	97,0%	93,6%	3,4%	13,5%	1,0%	1,0%	8,3%
Sub-sub cuenca quebrada Jovita (WB116)	l/s	88,5	2,7	85,8	80,9	4,9	0,0	3,1	3,1	1,8
	mm	94,0	2,8	91,1	85,9	5,2	0,0	3,3	3,3	1,9
	%	100%	3,0%	97,0%	91,5%	5,5%	0,0%	3,5%	3,5%	2,0%
Sub cuenca quebrada Blanca (WB118)	l/s	90,0	5,8	87,3	82,4	4,9	8,0	3,2	3,2	9,7
	mm	93,5	6,0	90,7	85,6	5,1	8,3	3,3	3,3	10,1
	%	100%	6,5%	97,0%	91,5%	5,5%	8,9%	3,5%	3,5%	10,8%
Sub cuenca quebrada Ramucho (WB128)	l/s	501,2	15,0	486,1	447,5	38,6	0,0	27,2	27,1	11,5
	mm	98,4	3,0	95,5	87,9	7,6	0,0	5,3	5,3	2,3
	%	100%	3,0%	97,0%	89,3%	7,7%	0,0%	5,4%	5,4%	2,3%
Quebrada Choja aguas abajo confluencia quebrada Blanca y quebrada Ramucho (WB129)	l/s	591,1	20,9	573,4	529,9	43,5	8,0	30,4	30,3	21,2
	mm	97,7	3,4	94,7	87,5	7,2	1,3	5,0	5,0	3,5
	%	100%	3,5%	97,0%	89,6%	7,4%	1,4%	5,1%	5,1%	3,6%
Cuenca quebrada Choja (WB133)	l/s	619,6	21,7	601,0	557,4	43,6	8,0	30,5	30,4	21,2
	mm	96,6	3,4	63,7	86,9	6,8	1,2	4,8	4,7	3,3
	%	100%	3,5%	97,0%	90,0%	7,0%	1,3%	4,9%	4,9%	3,4%

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Tabla 3.2.7-45. Escorrentía superficial en los puntos de interés en la cuenca de quebrada Choja, situación Fin QB1

Punto	Es.D (l/s)	Qb (l/s)	Es.S (l/s)
Sub-sub cuenca quebrada Blanca (WB108)	3,1	0,0	3,1
Sub-sub cuenca quebrada Jovita (WB116)	2,7	0,0	2,7
Sub cuenca quebrada Blanca (WB118)	5,8	6,9	12,7
Sub cuenca quebrada Ramucho (WB128)	15,0	10,4	25,4
Quebrada Choja aguas abajo confluencia quebrada Blanca y quebrada Ramucho (WB129)	20,9	17,4	38,3
Cuenca quebrada Choja (WB133)	21,7	17,5 (*)	39,1

(*):De SWS (2016) se estima un flujo subterráneo pasante similar en la salida del Área de Influencia a la del sistema Choja aguas abajo de la confluencia de quebrada Blanca y quebrada Ramucho.

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

De los resultados obtenidos para ambas situaciones se observa que el único caso en que se registra un cambio evidente en los flujos superficiales es en la sub-sub cuenca quebrada Blanca aguas arriba confluencia con quebrada Jovita, en la que existe una disminución de aproximadamente el 50% de la Escorrentía Superficial hacia el fin de QB1, lo anterior por la

existencia de las obras históricas y las de la Fase 1. Sin embargo, por efecto de los sistemas de inyección, hacia aguas abajo en términos prácticos no existen cambios en la Escorrentía Superficial, aunque sí hay una redistribución de los aportes de la Escorrentía Directa y del Flujo Base, aumentando este último hacia el fin de QB1, debido a que la restitución de caudal se realiza en parte por infiltración de aguas.

- Resultados cuenca quebrada Guatacondo

En la Tabla 3.2.7-46 se presentan los resultados entregados por el modelo de balance en la Situación Pre-Mina para los puntos asociados a las sub cuencas y sub-sub cuencas relevantes dentro del Área de Influencia, situados en la cuenca de la quebrada Guatacondo.

Tabla 3.2.7-46. Flujos de salida en los puntos situados en la cuenca de quebrada Guatacondo, situación pre-mina

Punto	Unidad	Pp	Es.D	I.S	Ev.S	R	Ev.V dem	Ev.V	Rn
Sub-sub cuenca quebrada Huinquentipa (WB209)	l/s	269,3	8,1	261,2	222,2	39,0	34,8	33,4	5,6
	mm	102,8	3,1	99,7	84,8	14,9	13,3	12,8	2,1
	%	100%	3,0%	97,0%	82,5%	14,5%	12,9%	12,4%	2,1%
Sub-sub cuenca quebrada Sallihuinca (WB210)	l/s	230,3	6,9	223,4	195,5	27,9	19,7	19,7	8,2
	mm	99,6	3,0	96,6	84,5	12,0	8,5	8,5	3,5
	%	100%	3%	97%	85%	12%	9%	9%	4%
Sub cuenca quebrada Copaquiri (WB212)	l/s	503,6	15,1	488,4	421,5	66,9	55,4	54,1	12,9
	mm	101,0	3,0	98,0	84,6	13,4	11,1	10,8	2,6
	%	100%	3,0%	97,0%	83,7%	13,3%	11,0%	10,7%	2,6%
Sub cuenca quebrada Apacheta (WB213)	l/s	33,0	1,0	32,0	29,5	2,4	0,4	0,4	2,0
	mm	90,5	2,7	87,8	81,1	6,7	1,2	1,2	5,6
	%	100	3	97	90	7	1	1	6
Sub cuenca quebrada de Ornajuno (WB216)	l/s	51,8	1,6	50,2	46,6	3,7	0,0	0,0	3,6
	mm	89,6	2,7	86,9	80,6	6,4	0,1	0,1	6,3
	%	100%	3,0%	97,0%	89,9%	7,1%	0,1%	0,1%	7,0%
(*) Quebrada Guatacondo aguas abajo de la confluencia con quebrada La Zanja de Castro (WB218)	l/s	594,8	17,9	577,0	503,8	73,2	63,7	62,3	10,9
	mm	98,9	3,0	95,9	83,8	12,2	10,6	10,4	1,8
	%	100%	3,0%	97,0%	84,7%	12,3%	10,7%	10,5%	1,8%
Cuenca quebrada Guatacondo (WB219)	l/s	674,1	20,2	653,9	576,9	77,0	70,4	69,1	7,9
	mm	96,8	2,9	93,9	82,8	11,1	10,1	9,9	1,1
	%	100%	3,0%	97,0%	85,6%	11,4%	10,4%	10,2%	1,2%

Nota: Pp: Precipitación; Es.D: escorrentía directa; I.S: Infiltración en el Suelo; Ev. S: Evaporación desde el suelo; R: Recarga al embalse inferior; R.p: Recarga puntual embalse inferior; Ev. V dem: Demanda de evapotranspiración de unidades vegetacionales; Ev. V: Evapotranspiración de unidades vegetacionales, Rn: Recarga neta.

(*): No corresponde a una cuenca, sub cuenca o sub-sub cuenca definida en el Área de Influencia, pero es un punto relevante ya que en éste se ubica la estación fluviométrica DGA Río Huatacondo en Copaquire.

Fuente: Elaboración Propia a partir de del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

Al igual que en el caso de la cuenca de la quebrada Choja, a partir del modelo de balance no es posible obtener de forma directa la Escorrentía Superficial (Es.S) para los puntos detallados en la Tabla 3.2.7-46, por lo cual se requiere hacer algunas estimaciones del caudal subterráneo pasante, que permitan determinar un valor aproximado del flujo base y consecuentemente de la Escorrentía Superficial (Escorrentía Directa + Flujo Base).

En este caso desde el estudio de SWS (2016) (Anexo 3.2.8-1 del Capítulo 3.2.8 “Línea Base de Hidrogeología” del presente Estudio de Impacto Ambiental) se tiene una estimación para el flujo subterráneo saliente de Guatacondo para la Situación Pre-Mina, que corresponde a 3,9 l/s, de esta forma el Flujo Base de la cuenca quebrada Guatacondo sería de 4 l/s (7,9 l/s de Recarga Neta – 3,9 l/s de Flujo Subterráneo Pasante), por lo que la **Escorrentía Superficial sería de 24,2 l/s** (20,2 l/s de Escorrentía Directa + 4 l/s de Flujo Base).

Para esta cuenca, los resultados asociados al escenario Fin de QB1 son iguales a los presentados para la condición de pre-mina, lo que indicaría una nula influencia del Proyecto en su Fase 1 en esta cuenca, de acuerdo a los supuestos resumidos en el cuerpo del informe.

- Resultados cuenca quebrada Paguana

En la Tabla 3.2.7-47 se presentan los resultados entregados por el modelo de balance en la Situación Pre-Mina para la cuenca Paguana.

Tabla 3.2.7-47. Flujos de salida en los puntos situados en la cuenca de quebrada Paguana, situación pre-mina

Punto	Unidad	Pp	Es.D	I.S	Ev.S	R	Ev.V dem	Ev.V	Rn
Cuenca quebrada Paguana (WB301)	l/s	95,2	2,9	92,4	90,4	2,0	0,1	0,1	1,9
	mm	90,4	2,7	87,7	85,9	1,9	0,1	0,1	1,8
	%	100%	3%	97%	95%	2%	0%	0%	2%

Nota: Pp: Precipitación; Es.D: escorrentía directa; I.S: Infiltración en el Suelo; Ev. S: Evaporación desde el suelo; R: Recarga al embalse inferior; R.p: Recarga puntual embalse inferior; Ev. V dem: Demanda de evapotranspiración de unidades vegetacionales; Ev. V: Evapotranspiración de unidades vegetacionales, Rn: Recarga neta.

Fuente: Elaboración Propia a partir del Anexo 3.2.7-1 del presente Capítulo.

En este caso del estudio de SWS (2016) (Anexo 3.2.8-1 del Capítulo 3.2.8 “Línea Base de Hidrogeología” del presente Estudio de Impacto Ambiental) se estima que no hay flujo subterráneo saliente de Paguana para la Situación Pre-Mina, de esta forma el Flujo Base de la cuenca quebrada Paguana sería de 1,9 l/s (1,9 l/s de Recarga Neta – 0,0 l/s de Flujo Subterráneo Pasante), por lo que la **Escorrentía Superficial sería de 4,8 l/s** (2,9 l/s de Escorrentía Directa + 1,9 l/s de Flujo Base).

En este caso particular es muy importante recordar que los resultados que se presentan son valores promedio de las series obtenidas por el modelo, que consideran tanto años secos como

húmedos, por lo tanto, como promedio se tiene una Escorrentía Directa mayor que cero, aun cuando las observaciones de terreno no muestran caudales medidos.

Para esta cuenca, al igual que para Guatacondo, los resultados asociados al escenario Fin de QB1 son iguales a los presentados para la condición de pre-mina, lo que indicaría una nula influencia del Proyecto en su Fase 1 en esta cuenca, de acuerdo a los supuestos resumidos en el cuerpo del informe.

3.2.7.6 Síntesis

El Proyecto Quebrada Blanca está ubicado en la Región de Tarapacá de Chile, en el borde occidental del altiplano chileno, a una altura aproximada de 4.200 m s.n.m. a 21° de latitud sur y 68° 48' de longitud oeste. El lugar se encuentra a unos 170 km al sureste de la ciudad costera de Iquique. Las condiciones climáticas del Área de Influencia Hidrológica varían según la altura, pero todas están marcadas por la aridez, bajas precipitaciones, baja humedad relativa y alta radiación solar.

Para la caracterización climática de la zona del Proyecto, se consideró información pública proporcionada por la Dirección General de Aguas, 8 estaciones, y de la Dirección Meteorológica de Chile, 1 estación. Asimismo, se contó con la información de 10 estaciones meteorológicas operadas por la Compañía Minera Teck Quebrada Blanca (Chiclla, Quebrada Blanca, Choja, Copaquiri, Huatacondo, Choja Sur Oriente, Choja Sur, Tamentica, Colonia Pintados y Victoria).

Las precipitaciones en el Área de Influencia se encuentran dominadas por el Invierno Altiplánico, presentándose registros de precipitaciones anuales cercanos a los 92 mm (4.200 m s.n.m.) para la sub área Mina y de 86 mm (4.050 m s.n.m) para la sub área de Depósito de Relaves. En las cuencas que componen el Área de Influencia las precipitaciones anuales medias son de 96 mm en las cuencas de las quebradas Choja y Guatacondo, mientras que en la cuenca de la quebrada Paguana, se tiene un valor de precipitación de 90 mm.

Las temperaturas medias anuales también presentan un gradiente con la elevación, con valores cercanos a los 14°C en el entorno de los 2.400 m s.n.m. y de entre 3 y 5°C en la zona altiplánica, sobre los 4.000 m s.n.m. Los valores máximos se presentan durante el verano (enero-febrero), y los mínimos durante el invierno (junio-julio), en toda el Área de Influencia. En la sub área Mina, la temperatura media anual es de 3,6 °C mientras que en la sub área de Depósito de Relaves es de 5,2 °C. En las cuencas de las quebradas Choja y Guatacondo se tiene un valor anual de aproximadamente 3,5 °C, mientras que en la cuenca de la quebrada Paguana la temperatura anual media es de 4,6 °C.

La evaporación, a diferencia de las precipitaciones, actúa de manera sostenida sobre las superficies de suelo y vegetación azonal, convirtiéndose en el principal proceso hidrológico en el Área de Influencia. Se estima que entre un 80% y 100% de la precipitación anual es evaporada por el suelo, siendo levemente mayor en la cuenca de la quebrada Choja (91%) que en la de Guatacondo (86%), en promedio, dependiendo de la intensidad y persistencia de las precipitaciones. Para años en que las precipitaciones son poco frecuentes y no superan una intensidad umbral, podría obtenerse que el 100% de la precipitación fuese evaporada, no generándose recarga en dicho año. En la sub área Mina, la evaporación de lago es del orden de 1.100 mm/año y en la sub área de Depósito de Relaves es del orden de 1.200 mm/año.

Dentro del Área de Influencia se cuenta con información fluviométrica de la estación DGA Huatacondo en Copaquire, ubicada cerca de la salida definida para la cuenca de la quebrada Guatacondo, la cual ha operado en forma continua por 39 años. Para condiciones hídricas

normales (50% de probabilidad de excedencia) se esperan allí caudales de entre 8 y 12 l/s. También con un registro fluviométrico continuo, se cuenta con información en la estación QDH-2 de CMDIC, en la cabecera de la cuenca de la quebrada Huinquintipa, con mediciones a lo largo de los últimos 11 años. Allí se observan, para condiciones hídricas normales (50% de probabilidad de excedencia), caudales de entre 5 y 20 l/s, dependiendo del mes del año.

Existen campañas de mediciones de flujos de afloramientos en las diferentes quebradas que forman el Área de Influencia, realizados principalmente como parte de los Estudios de Impacto Ambiental para la Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca, y para el Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2. La información disponible permite entregar un orden de magnitud de los flujos existentes. Debido a la inexistencia de cursos de agua permanentes, no se realiza un análisis estadístico de estos afloramientos de aguas subterráneas que, por su origen, poseen caudales bases más estables, independientemente de la estacionalidad. Entre 2013 y 2015, el punto de monitoreo SWS-18 en quebrada Choja, aguas abajo de la confluencia entre las quebradas Blanca y Ramucho, registra en promedio un caudal de 10 l/s, mientras que los caudales medios registrados en quebrada Ramucho y en quebrada Blanca, aguas arriba de la confluencia, son de 7 y 1,3 l/s. En la quebrada Huinquintipa, el punto de aforo HUI-02 registra un caudal promedio de 3,5 l/s, comparable en orden de magnitud con el flujo base superficial de 5,0 l/s obtenido para el punto de control fluviométrico continuo QDH-2. Más abajo, donde nace la quebrada Guatacondo, el punto de monitoreo SWS-15 entrega un caudal medio de 4,4 l/s, comparable con el caudal base de 7,0 l/s obtenido para Río Huatacondo en Copaquire, en la misma ubicación aproximada, sobre todo considerando que dicho caudal base se asocia al período 1977-2015, mientras que los aforos son representativos del período 2013-2015, comparativamente más seco.

Se estima que la escorrentía directa presenta una gran variabilidad temporal, siendo esporádica y concentrada en la época estival, produciéndose una reducida cantidad de eventos de escorrentía por año, asociados a intensas precipitaciones. Estas características de la escorrentía directa serían resultado de la influencia del llamado invierno altiplánico y de la aridez del Área de Influencia.

Los resultados del modelo de balance hídrico han entregado valores que son consistentes con las mediciones de caudal que se tienen en el Área de Influencia, tanto en situación de pre-mina como al fin de QB1 (este último escenario es comparable con la situación existente para el monitoreo actual de flujos). En el caso de pre-mina, los caudales observados son del mismo orden de magnitud que aquéllos simulados; por otra parte, al fin de QB1 se obtienen flujos modelados mayores que aquéllos actualmente aforados, lo cual es esperable y se atribuye a que las campañas de monitoreo han estado inmersas en un período hidrológicamente seco, mientras que el modelo está sujeto a condiciones climáticas medias de largo plazo. Se considera que la correspondencia entre los flujos observados y simulados valida al modelo de balance como herramienta predictiva de las condiciones hídricas medias de largo plazo ante distintos escenarios.

3.2.7.7 Bibliografía

- Aquaconsult (1998). Evaluación Hidrogeológica Mina Quebrada Blanca. Fase 1: Estudio diagnóstico. Informe Final – Revisión B.
- Carrasco, J., Casassa, G., Quintana, J. (2005). Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. Hydrological Sciences Journal. Vol. 50 (6). 933-948.
- Carrasco, J., Osorio, R., Casassa, G. (2008). Secular trend of the equilibrium-line altitude on the western side of the southern Andes, derived from radiosonde and surface observations. Journal of Glaciology, Vol. 54 (186). 538-550
- Cedrem (2013a). Reporte Veg Quebradas (pdf). Enviado en correo electrónico del 18 de diciembre de 2013 de MWH a Golder.
- Cedrem (2013b), Coberturas y superficies Qdas (xlsx). Enviado en correo electrónico del 24 de diciembre de 2013 de MWH a Golder.
- Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM, 2007. Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto Explotación Depósito Huinquentipa Este Fase IV.
- COREMA (2001). RCA Otorgada a CMDIC, EIA Proyecto Expansión 2001, Resolución exenta N° 000167. Iquique, Región de Tarapacá.
- DGA (2000). Declara el agotamiento del Río Loa y sus afluentes, II Región -Resolución DGA N°197 de enero de 2000.
- DGA (2009). Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II y III. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.
- DGA (2012). Declara área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Salar de Llamara, comuna de Iquique, provincia de Iquique, comunas de Pozo Almonte y Pica, provincia de El Tamarugal, Región de Tarapacá; comuna de Calama, provincia de El Loa y comuna de María Elena, provincia de Tocopilla, Región de Antofagasta. Resolución DGA N°5 de enero de 2012.
- DGA-MOP (2010). Manual de Carreteras. Volumen N°2, Procedimientos de Estudios Viales.
- Escobar, F., Vidal, F. (1992). Experiencia sobre la determinación de la línea de nieve en cuencas de Chile central. Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Vol. 7:5-20.

- Espíldora, Brown, Cabrera e Isensee (1975). "Elementos De Hidrología". Centro de Recursos Hidráulicos – U. de Chile. Espíldora, B., Brown E., Cabrera G. y P. Isensee M
- Garreaud (1992). Estimación de la altura de la línea de nieve en cuencas de Chile central. Revista Chilena de Ingeniería Hidráulica. 7:21-32.
- Herschfield (1961). Estimating the probable maximum precipitation. Proceedings American Society of Civil Engineers, Journal Hydraulics Division.
- Karzulovic y García (1979). Evaluación de los recursos hídricos de la Provincia de Iquique, I Región de Tarapacá.
- Ministerio de Obras Públicas (2015). Reglamento de Obras Mayores.
- Robles S., Santander A. (2011). Impacto del cambio climático en el cálculo de crecidas de diseño para una cuenca nivo-pluvial de montaña - Zona Central de Chile. XX Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.
- SRK (2009). Hidrogeología Preliminar. Consideraciones para el Drenaje Mina Fase V – Mina Quebrada Blanca, Rev. B.
- SWS (2016). Modelo hidrogeológico regional del área mina y evaluación de efectos sobre el sistema de agua subterránea. 56082-6/Rev 0.
- Stöwhas (1983). Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica VI Congreso Nacional. Precipitaciones Máximas Diarias en Chile.
- Teck (2014). Monitoreo de caudales, Caudales QDH-02 (xlsx). Enviado en correo electrónico del 4 de diciembre de 2014 de Teck a Golder.
- Vuille, M., Bradley, R., Keimig, F. (2003). Climate Variability in the Andes of Ecuador and Its relation to Tropical Pacific and Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies. Journal of Climate. Vol. 13 (14). 2520–2535
- WMO (2009). Organización Meteorológica Mundial. 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No. 1045.