

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ (PRESIDENTE DR. NÉSTOR C. KIRCHNER Y GOBERNADOR JORGE CEPERNIC), PROVINCIA DE SANTA CRUZ

ACTUALIZACIÓN

CAPÍTULO 3 – LÍNEA DE BASE AMBIENTAL Y ESTUDIOS ESPECIALES

PUNTO 3 - ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

3	HIDROGEOLOGÍA	3
3.1	INTRODUCCIÓN	3
3.2	ÁREA DE ESTUDIO	3
3.3	METODOLOGIA	5
3.4	CLIMA	7
3.4.1	Características generales de las principales variables	7
3.4.2	Evaporación real	9
3.4.3	Evapotranspiración real	10
3.4.4	Cálculo de Evaporación de referencia “ET _o ” (Penman-Monteith)	11
3.5	GEOLOGÍA	12
3.5.1	Geología del sector presa Néstor Kirchner	15
3.5.2	Geología del sector represa Jorge Cepernic	19
3.6	GEOMORFOLOGIA	22
3.6.1	Geomorfología del sector represa Néstor Kirchner	22
3.6.2	Geomorfología del sector presa Jorge Cepernic	25

3.7	HIDROLOGÍA GENERAL	29
3.7.1	Lago Viedma y Afluentes	31
3.7.2	Lago Argentino y afluentes	32
3.8	HIDROGEOLOGÍA	37
3.8.1	Acuíferos existentes generalidades	37
3.8.2	Unidades hidrolitológicas	39
3.8.3	Parámetros hidrogeológicos	42
3.8.4	Hidrodinámica subterránea	47
3.8.5	Hidroquímica	48
3.9	USO DEL AGUA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	55
3.9.1	Usos actuales del agua	55
3.10	BALANCE HIDROLÓGICO	55
3.10.1	Procesos de recarga de acuíferos en regiones áridas	56
3.10.2	Balance hídrico en el Proyecto	57
3.11	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL PRELIMINAR (MHCP)	59
3.12	PREDICCIONES DE AFECTACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE PRESAS	59
3.12.1	Niveles de agua subterránea	59
3.12.2	Régimen hídrico de los manantiales	61
3.12.3	Calidad química de las aguas subterráneas	61
3.13	CONCLUSIONES GENERALES	62
3.13.1	Síntesis de los principales contenidos y resultados del estudio	62
3.13.2	Recomendaciones	66
3.14	BIBLIOGRAFÍA	68

3 HIDROGEOLOGÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

Como parte del EIA de los Aprovechamientos Hidroeléctricos del río Santa Cruz (Serman & asociados s.a., 2015 para Represas Patagonia) se llevó adelante la caracterización de la geología del área de influencia del proyecto, la cual se presentó como parte del Punto 4 del Capítulo 4: Línea de Base Ambiental del citado informe (ver Punto 1 - Anexo I del presente Capítulo).

Esta caracterización abarcó la Estratigrafía, Litología, Estructura, Geomorfología, Peligro Geológico e Hidrogeología de la zona relevada, con la finalidad de contar con un insumo de importancia crítica en la identificación y evaluación de impactos ambientales que el proyecto hidroeléctrico tendrá sobre el medio geológico.

Al respecto, en el Dictamen Técnico emitido por la comisión evaluadora del proyecto se observó que no se evidenciaba en el EIA un estudio Hidrogeológico a lo largo del área del proyecto. Dicho requerimiento fue a su vez ratificado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación e incorporado en la Adenda IV.

De este modo, la UTE ha considerado la realización de un Estudio Hidrogeológico que complementase la LBA de Geología con el objetivo principal de elaborar el modelo hidrogeológico conceptual de las áreas donde se realizarán las presas NK y JC a fin de poder predecir posibles modificaciones en el régimen hídrico de los manantiales, acuíferos y su calidad química una vez ejecutadas las mismas.

Los interrogantes a responder para cada una de las áreas, es si a partir de la instalación de los Proyectos Represa NK y JC se producirá;

- a) un eventual ascenso de los niveles de agua de los acuíferos;
- b) modificación del régimen (caudal) de los manantiales;
- c) modificación de la calidad del agua subterránea;

Este trabajo tuvo asimismo como objetivo secundario, plantear una serie de recomendaciones para mejorar el conocimiento del sistema hidrológico subterráneo.

El estudio de referencia se realizó durante los meses de octubre - diciembre del año 2016, a partir de campañas en la zona de las presas NK y JC, que incluyeron: recopilación de información antecedente, reconocimiento de afloramientos geológicos y unidades geomorfológicas, relevamientos y determinación de parámetros físico-químicos in-situ (conductividad eléctrica, temperatura y pH) de mallines y vertientes, pozos de abastecimiento de agua de estancias, perforaciones de estudio geotécnico, arroyos y el río Santa Cruz.

Para realizar este trabajo la UTE ha contratado a la Empresa Hidroar S.A. (Lic. en Geología Carlos Scatizza y equipo). Los trabajos de relevamiento se realizaron durante los meses de octubre y noviembre del año 2016, a través de la ejecución de dos campañas.

3.2 ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se ubica en la Cuenca del río Santa Cruz, la cual atraviesa la Provincia homónima en sentido Oeste-Este hasta desembocar en el océano Atlántico a la altura de la localidad de Puerto Santa Cruz. Esta cuenca constituye un sistema glaciolacustre-fluvial con nacientes en el hielo cordillerano, que abastece de agua a los lagos principales: Viedma y Argentino, (ver Figura 3-1).

El área particular de estudio comprendió las inmediaciones de los dos cierres donde se construirán las represas NK y JC, cubriendo un área de 25 Km² por cada zona (ver Figuras 3-1 y 3-2 – áreas marcadas en cuadrados color rojo), sin embargo, con la finalidad de obtener una mayor comprensión del entorno geológico e hidrogeológico se relevaron las áreas que comprenderán las zonas de inundación de ambas presas (perilago), ampliándose la superficie de relevamiento.

De la gran extensión del valle fluvial del río Santa Cruz, dos sitios presentan características topográficas aptas para el emplazamiento de las obras de aprovechamiento hidroeléctrico. En estos dos lugares se delinearon las obras de las presas NK y JC. Ambos sitios fueron seleccionados para constituir estrechamientos naturales de los tramos del valle, que ofrecen la posibilidad de materializar presas, resultando éstas de dimensiones reducidas (del orden de 3 km) frente a la magnitud que presenta el amplio valle del río Santa Cruz en la zona (hasta 10 km), ver Figura 3-1.

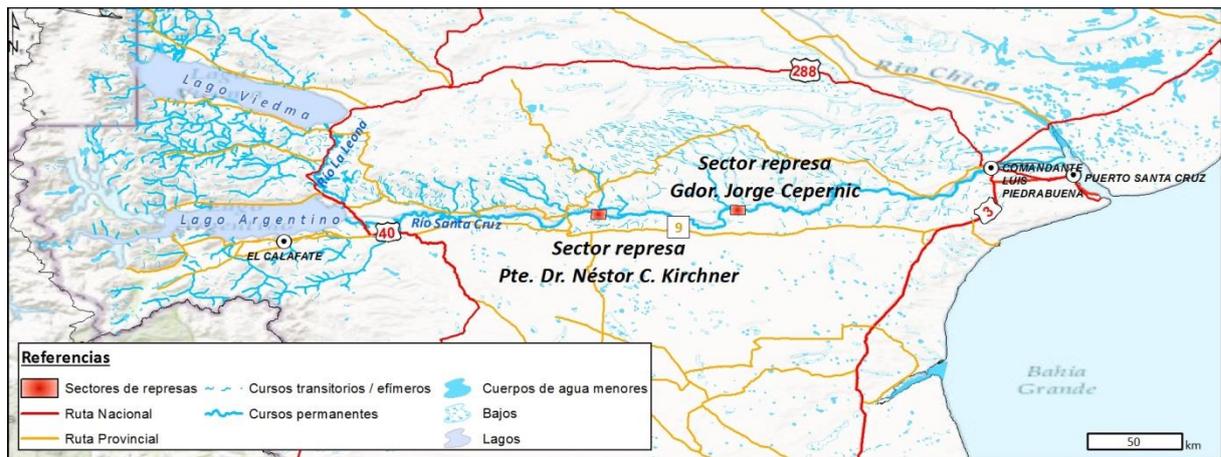


Figura 3-1. Ubicación general del área de estudio

El acceso a la zona de proyecto se puede realizar desde la ciudad de Calafate por medio de la Ruta Provincial N° 9 (de ripio), que se extiende al sur del río Santa Cruz y vincula la Ruta Nacional N° 3 con la Ruta Nacional N° 40.

Al sur del proyecto, la RP N° 9 se conecta con la Ruta Provincial N° 2 (también de ripio), que se extiende hacia el sur hasta la localidad de Esperanza. Al norte del río Santa Cruz, se identifica la Ruta Provincial N° 17, la cual conecta la Ruta Nacional N° 288 con la Ruta Nacional N° 40 (ver Figura 3-2 y Mapa 1 – Ubicación general del área de estudio -Anexo III-).

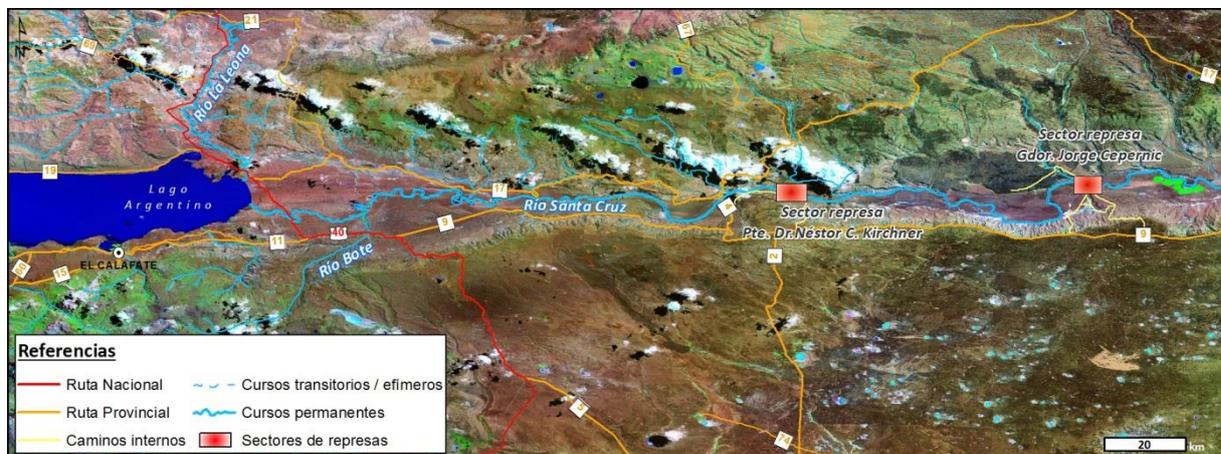


Figura 3-2. Accesos al área de estudio.

3.3 METODOLOGIA

El informe se confeccionó mediante tareas de gabinete y relevamientos de campo. Durante la etapa de gabinete se recopiló información antecedente (Estudio de Impacto Ambiental, informes geológicos/geotécnicos, ambientales, cartografía geológica, geomorfológica, topográfica), y trabajos propios aportados por la UTE para su análisis, más aquella referente a los diferentes temas obrante en la base de datos de Hidroar S.A. (instituciones provinciales/nacionales, bibliografía general y temática), procediéndose a su análisis crítico preliminar, y sistematización para su posterior elaboración. Durante el avance del informe se citarán los informes consultados.

Respecto a las tareas de campo, se realizaron dos relevamientos, efectuados en los meses de octubre y noviembre del 2016, donde se consumaron las siguientes tareas:

- Relevamiento Geológico y Geomorfológico

Sobre la base de interpretación de imágenes en gabinete y la antecedente, se verificaron en campo las características geológicas/geomorfológicas superficiales tanto para el sector NK como JC, a ambos lados de la margen del río Santa Cruz. El objetivo de este relevamiento fue verificar las litologías con el objeto de advertir su comportamiento respecto a las aguas subterráneas (acuíferos, acuitardos, acuícludos, acuífugos) que permitan la transformación de las unidades geológicas en hidrogeológicas.

Asimismo, durante la campaña se inspeccionaron testigos de perforaciones geotécnicas, y propiedades texturales y mineralógicas de las muestras.

- Caracterización Hidrogeológica e Hidrológica

Con el propósito de comprender el funcionamiento hidrogeológico de manantiales y niveles de agua someros, en las zonas donde se emplazarán las futuras presas y llenado de lagos, se realizó el reconocimiento de mallines, cursos de agua (cañadones), pozos geotécnicos antecedentes, molinos de estancias y todo cuerpo de agua relevante a ambos márgenes del río Santa Cruz, para el cual fue necesario.

En los mismos se registró “in situ” el pH, temperatura y conductividad eléctrica del agua y para el caso de los pozos se llevó a cabo la medición de profundidad del nivel de agua, volcándose los datos en una planilla, con sus respectivas coordenadas geográficas y reconocimiento fotográfico.

La conductividad eléctrica se midió con un equipo marca Lutron, modelo CD-4301, mientras que el pH y temperatura se midieron con un equipo marca Hanna (ver imágenes a continuación).



Figura 3-2. Medición de parámetros “in situ” en campo.



Figura 3-3. Conductímetro para medición de campo.



Figura 3-4. Medidor de pH y T° para utilizar en campo.

Cada punto muestreado y censado, fue georreferenciado con un GPS marca Garmin para su posterior localización en un SIG, volcándose en la figura de ubicación general (ver Figura 3-5).



Figura 3-5. Georreferenciación de puntos relevados.

- Caracterización Hidráulica

A partir de resultados de ensayos antecedentes, se analizaron las permeabilidades (K) de diferentes litologías de interés, que permitirán alcanzar un mayor conocimiento hidráulico de los sectores de estudio (zonas de cierre). Los valores K obtenidos a partir de ensayos Lugeon, resultan importantes en la estimación de los fenómenos hidrodinámicos como así también para la fundación de las presas. La unidad de medida del ensayo es la Unidad Lugeon (UL), que corresponde a la absorción de 1litro de agua por metro de sondeo y por minuto. Una UL equivale a un Coeficiente de Permeabilidad de 10^{-5} cm/s para un sondeo de diámetro medio (U.L.=1 L/m*min = 10^{-5} cm/s).

- Razonamiento científico

Como cabe a toda investigación sobre recursos naturales, se recurre en este informe al razonamiento científico deductivo, que parte de los enfoques o hipótesis generales para llegar paulatinamente a las particulares.

Se utiliza en este camino epistemológico la convergencia de evidencias, procedentes de los distintos conocimientos, para obtener la hipótesis más plausible que resulta entonces validada, diferenciándose así de las conjeturas o asunciones soportadas en elementos puntuales o focales.

Resulta pertinente esta modalidad de análisis en el presente caso, porque en la investigación confluyen dos ámbitos de muy diferente dinámica y por lo tanto, de dispar variabilidad temporal. Uno es el perteneciente al medio físico propiamente dicho (geomorfología, geología), con cambios normalmente extra-generacionales y el otro, a las componentes de carácter hidrológico (hidrología superficial, hidrología subterránea incluyendo tanto hidrodinámica como hidroquímica).

Es muy importante para definir marco natural, tener en claro metodológicamente estas particularidades, por lo cual el enfoque deductivista resulta evidentemente el más adecuado, al permitir la coalescencia de evidencias de distinto rango analítico, especialmente en lo referido a la variable tiempo.

Existen, para poder desarrollar un estudio en este marco epistemológico, ciertas pautas que en este caso se han seguido estrictamente, a saber:

- Optar por un espacio geográfico que exceda el área de estudio específica, de tal forma de poder percibir los fenómenos en las unidades naturales de alcance regional en las cuales se inscriben.
- Contar en la programación con la suficiente flexibilidad para adecuarse a los cambios aconsejados por la incorporación de nuevos conocimientos.
- Trabajar con diferentes escalas de acuerdo a la dimensión de los escenarios o fenómenos analizados, aun cuando para la expresión se utilice la más práctica.
- Respetar el criterio de convergencia de evidencias, recurriendo a varios indicadores de diferente procedencia temática para indicar las hipótesis más plausibles.
- Utilizar un equipo técnico capacitado, para garantizar el cumplimiento de lo anterior con la suficiente idoneidad.
- Verificar que las técnicas y métodos a manejar sean compatibles con los criterios emergentes de la metodología adoptada.
- Documentar toda la información generada de tal forma de permitir, además de la autocorrección, la posibilidad de que el usuario verifique la procedencia del relevamiento o la exactitud de los datos.

Las conclusiones de las actividades mencionadas se exponen seguidamente.

3.4 CLIMA

3.4.1 Características generales de las principales variables

A partir del análisis de la información antecedente “*Estudio de impacto ambiental aprovechamientos hidroeléctricos del río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz*” (Serman & asociados s.a., 2015 para Represas Patagonia), el clima de la zona de estudio se puede definir como templado frío, árido y semiárido de meseta. Los veranos son frescos y los inviernos fríos a muy fríos. Predomina el viento del oeste con intensidades importantes.

La cordillera de los Andes actúa como una barrera natural para los vientos húmedos provenientes del Océano Pacífico, por lo que la humedad es mayor en el sector oeste, variando las precipitaciones entre 3.000 mm en la cordillera y 100 a 200 mm hacia la costa.

Los datos meteorológicos utilizados en el trabajo antecedente citado, se muestran en el Cuadro 5.1.

Tabla 3-1. Estaciones meteorológicas utilizadas en la línea de base ambiental (Serman & asociados s.a., 2015 para Represas Patagonia).

Estación meteorológica	Coordenadas geográficas	Período	Ubicación	Observaciones
SANTA CRUZ PUERTO	50° 01' S; 68° 32' O	1941 a 1960	Al Este del sitio de implantación de las presas	Sin observaciones.
SANTA CRUZ AERO	50° 01' S; 68° 34' O	1981 a 1990	Al Este del sitio de implantación de las presas	Sin observaciones.
LAGO ARGENTINO AERO	50° 20' S; 72° 18' O	1941 a 2000	Al Oeste del área de estudio	Sin observaciones.
EL CALAFATE AERO	50° 16' S; 72° 03' O	2001 a 2014	Al Oeste del área de estudio	Sin observaciones.
CHARLES FUHR	50° 15' 07,60"S, 71° 54' 28,10"O	Temperatura (1955 a 1981) Precipitación (1955 a 2014)	Al Oeste del área de estudio	Datos meteorológicos provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación (SSRH).

En la Figura 3-6 se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas mencionadas y la que se utilizará en el presente informe.

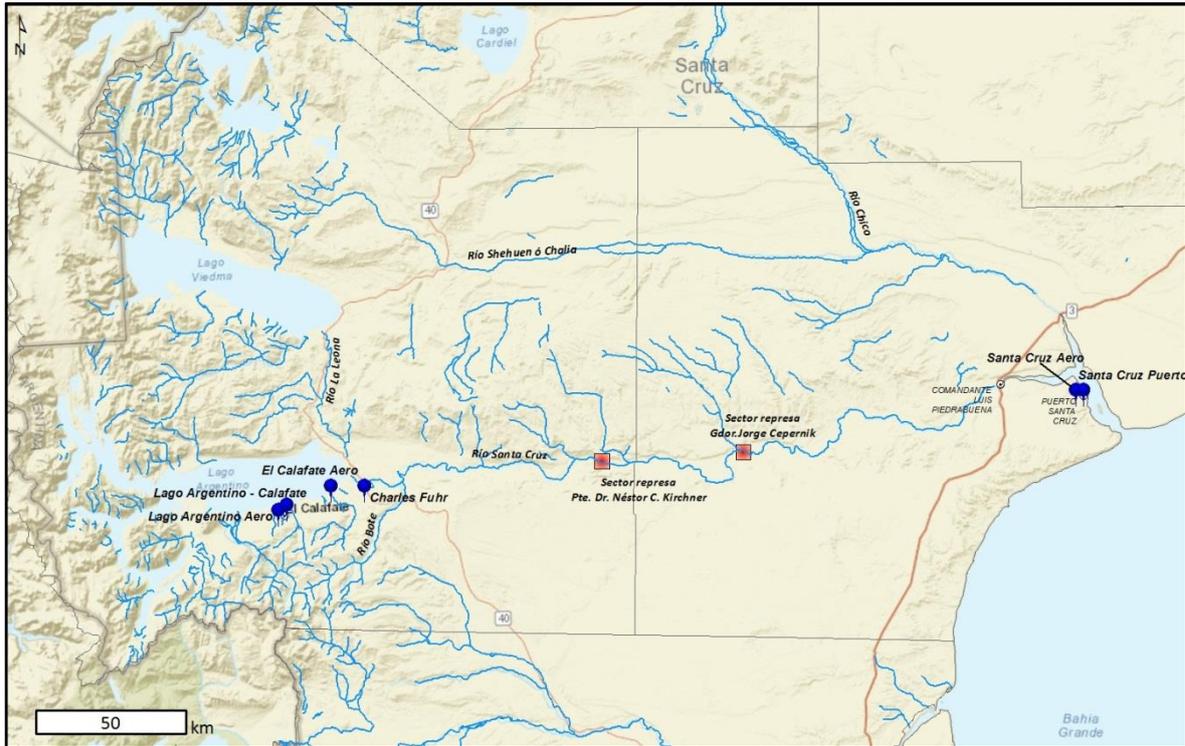


Figura 3-6. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el Estudio de impacto ambiental antecedente y presente estudio.

Para el presente estudio se utilizaron los datos de la Estación Lago Argentino-Calafate (50° 19' 12,00"S, 72° 15' 39,60"O), perteneciente a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SRHN), la cual se encuentra operativa desde 1993 hasta el 2016, ver fotografía 5.1. Se optó por la elección de esta nueva estación debido a la cercanía al área de trabajo y a que la misma cuenta con datos de evaporación real desde Tanque Evaporímetro, parámetro de importancia para el presente estudio.



Figura 3-7. Estación Lago Argentino-Calafate.

En la Tabla 3-2 se muestran los valores medios mensuales de las principales variables analizadas.

Tabla 3-2. Resumen de variables medidas en la Estación Lago Argentino-Calafate.

Variable climática	Promedio mensual para el período 1993 - 2016											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación (mm)	8,0	11,8	19,7	18,2	18,6	13,1	11,6	14,2	12,6	12,6	6,2	8,3
Evaporación (mm)	232,2	167,7	125,7	62,1	15,7	8,5	57,6	39,3	61,6	126,3	190,5	222,5
Velocidad del viento (km/h)	13,03	11,13	9,91	8,80	7,01	5,85	6,41	5,79	8,64	10,60	12,27	11,99
Temperatura máxima (°C)	19,16	18,95	16,20	12,60	8,51	5,19	5,31	6,85	10,20	13,47	15,65	18,09
Temperatura mínima (°C)	8,62	8,41	6,93	3,75	0,66	-1,90	-2,28	-1,22	0,75	2,86	4,74	6,92

Para el período considerado, la precipitación anual media es de 154,8 mm, los valores medios mensuales varían a lo largo del año entre 6 mm (Noviembre) y los 19 mm (Marzo), siendo la época otoñal la más lluviosa, y la de verano la más seca (ver Tabla 3-2). La precipitación media anual varía entre mínimos de 83 mm (año 1994) y máximos de 377 mm (año 2002), observándose que los años 1998, 2002 y 2003 presentan una precipitación elevada respecto a los restantes años (ver Anexo I - Clima). Respecto al análisis realizado en el estudio de impacto ambiental antecedente, se observan valores de precipitación medios anuales similares a los de la estación Charles Fuhr (142 mm/año) para el período 1955 - 2014.

La temperatura máxima media mensual varía entre los 5,1 °C (invierno) y 19,1 °C (verano). En cuanto a la temperatura mínima media mensual, se han registrados valores medios inferiores a los -2 °C para el mes de julio y cercanas a los 9°C en el mes de enero. Estos datos son coincidentes con el rango de valores presentados en el estudio de impacto ambiental anteriormente citado.

Los promedios mensuales de la velocidad del viento medidos en la estación Lago Argentino-Calafate para el período 1993-2016 se encuentran entre los 6 km/h en el mes de Agosto y los 13 km/h en enero (ver Tabla 3-2). La velocidad anual media del viento es de 9,3 km/h. Estos valores resultan levemente menores que los citados en el estudio antecedente donde se evaluó el período 1941 – 2000 (para la estación Lago Argentino), con datos máximos y mínimos medios mensuales de 26,8 km/h en el mes de Noviembre y 16,3 km/h en el mes de mayo.

Respecto a la inexistencia de valores de evaporación y evapotranspiración real antecedentes en el ítem Clima correspondiente a la línea de base ambiental para el área de estudio, Hidroar S.A. seguidamente llevará a cabo un análisis de dichas variables, para la estimación del balance hídrico preliminar.

3.4.2 Evaporación real

La Figura 3-8 muestra los valores medios mensuales de evaporación (Tanque Evaporímetro) de la estación Lago Argentino-Calafate (SRHN), la suma de los cuales asciende a 1.309 mm/año, el cual multiplicado por el coeficiente de corrección del tanque (comprendido entre 0,7 y 0,8), es igual a un promedio de 982 mm/año (0,982 m/año).

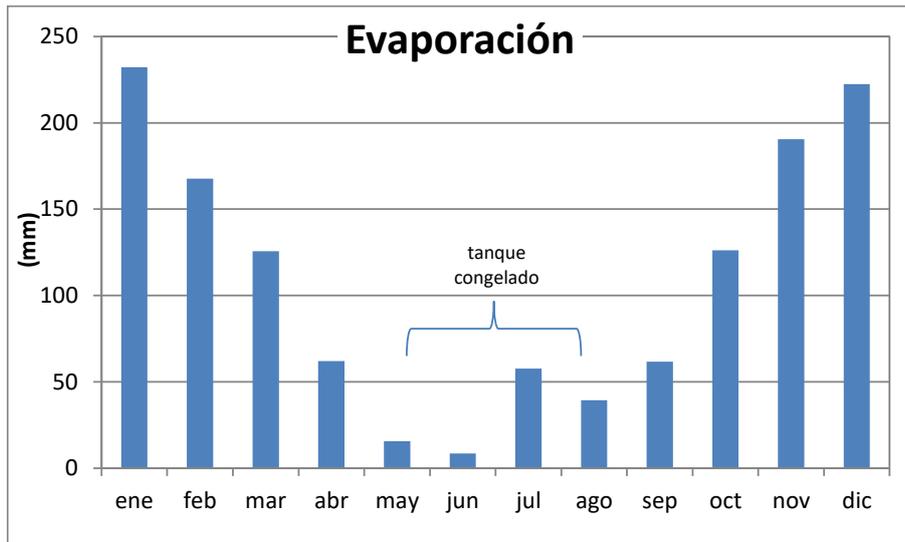


Figura 3-8. Evaporación media mensual estación Lago Argentino-Calafate (período 1993-2016).

Los valores medios mensuales varían desde un máximo en verano de 232 mm en el mes de enero, hasta un mínimo en junio de 8,5 mm, con la salvedad de que muchos de los meses de invierno carecen de información debido a que generalmente, según los registros, el agua en el tanque se encuentra congelada.

3.4.3 Evapotranspiración real

Se entiende por Evapotranspiración real (ETR) a la que ocurre en condiciones reales, teniendo en cuenta que no siempre la cobertura vegetal es completa, ni el suelo se encuentra en estado de saturación.

Al no existir instrumental específico para la medición de esta variable, se calculó la ETR mediante dos métodos: 1) a partir de la metodología desarrollada por Turc y 2) mediante la formulación de Coutagne.

Además se estimó la Evapotranspiración de referencia (ET_0) utilizando el software Cropwat (FAO-Penman-Monteith), el cual será detallado en el punto 3.4.4.

Es necesario aclarar que el valor calculado de *evapotranspiración de referencia* (ET_0), se analizará aparte, debido a que corresponde a la tasa de evapotranspiración de una superficie y de un cultivo de referencia que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición (*Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Método Penman-Monteith*).

El método de Turc (1954) se basa en la precipitación (P) y la temperatura (T^0). Al igual que otros métodos basados en la correlación entre la P como única recarga y la evaporación, puede ser útil para ciertas cuencas, pero su aplicación a regiones donde las condiciones (profundidad de la zona no saturada, uso del suelo, topografía, y sobre todo el tipo de precipitación) son diferentes al lugar para donde se han realizado estas correlaciones, es muy discutible.

La fórmula de Turc calcula la evapotranspiración anual en mm y se expresa como:

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

P es la precipitación media anual y L es una función de T⁰ y la P.

Respecto a la metodología de Coutagne, la ETR anual se expresa como:

$$ETR = P - XP^2$$

Dónde,

ETR: evapotranspiración real en metros/año.

P: Precipitación (metros/año).

X: $1/0,8 + 0,14 \cdot T$

T: Temperatura media anual (°C)

La Tabla 3-3 muestra los resultados de la Evapotranspiración anual, realizado mediante las dos formulaciones.

Tabla 3-3. Cálculo de la Evapotranspiración por diferentes metodologías.

Metodología de cálculo	Valor de ETR (mm/año)	Observaciones
Turc (1954)	154,7	La ETR es similar a la P (154,8)
Coutagne	141,7	La ETR es menos de 10 mm/año que la P (154,8)

Las diferencias entre ambas metodologías obedecen a las consideraciones que emplea cada método.

3.4.4 Cálculo de Evaporación de referencia “ETo” (Penman-Monteith)

Como dato de apoyo a la evaporación calculada a partir del Tanque Evaporímetro (TE), se estimó la ETo mediante el programa Cropwat, desarrollado por la FAO (1990), el cual calcula la evapotranspiración para una especie vegetal de referencia, bajo condiciones climáticas similares a las de la región, sin restricciones de agua.

Los datos requeridos son los promedios mensuales de Temperatura (°C), Humedad (%), Intensidad del Viento (km/h), Heliofanía (horas/día) y Radiación (MJ/m²/día). Todos los datos mencionados fueron extraídos de la estación Lago Argentino-Calafate para el periodo 1993-2016, ver Tabla 3-4.

Tabla 3-4. Cálculo de ETo de referencia promedio expresada en mm/año, mediante el programa CROPWAT.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día	mm/mes
Enero	8,6	19,2	46	312	9,7	23,7	5,06	156,9
Febrero	8,4	18,9	50	267	9	20,2	4,28	132,7
Marzo	0,9	16,2	54	237	11	18,1	3,04	94,2
Abril	3,8	12,6	61	211	5,8	8,7	1,67	50,1
Mayo	0,7	8,5	70	168	4,3	4,8	0,77	23,9
Junio	-1,9	5,2	74	140	3,3	3,2	0,45	13,5
Julio	-2,3	5,3	75	154	3,4	3,8	0,48	14,9
Agosto	-1,2	6,8	69	139	4,2	6,3	0,76	23,6
Septiembre	0,8	10,2	61	207	5,9	11,2	1,72	51,6
Octubre	2,9	13,5	52	254	7,7	17,2	3,02	93,6
Noviembre	4,7	15,7	47	294	9,1	22,2	4,15	124,5
Diciembre	6,9	18,1	47	288	10,1	25	4,85	150,4
Suma								929,8
Promedio	2.7	12.5	59	223	7.0	13.7	2.52	

Los resultados de la Evapotranspiración de referencia (ET_o), expresados en mm/día, arrojaron un valor anual de 929 mm/año, sin que exista restricción de agua. Este valor es similar a la evaporación calculada a partir del TE de la Estación Lago Argentino – Calafate (982 mm/año).

3.5 GEOLOGÍA

La información mencionada en el presente capítulo fue tomada de los informes proporcionados por la UTE denominados “Presa Pdte. Néstor Kirchner. Obras Civiles. Obras Generales. Informe Geológico – Geotécnico. Memoria Técnica. Geotecnia”(UTE 2016c), “Presa Jorge Cepernic. Obras Civiles. Obras Generales. Informe Geológico – Geotécnico. Memoria Técnica. Geotecnia” (UTE 2016b), “Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Tercer Informe – Agosto 2015” (CICTERRA 2015a) e “Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015” (CICTERRA 2015b).

El área regional de estudio se encuentra en la Patagonia Austral Extra-andina, más precisamente dentro de la plataforma estable de la Cuenca Austral (*Ghiglione et al, 2009*). Esta región corresponde a un antepaís flexural donde se produce alternativamente subsidencia y alzamiento epirogénico debido a la estructuración en bloques rígidos, asociada al domamiento periférico de la placa Sudamericana. Esta zona se caracteriza por el desarrollo de un fuerte vulcanismo basáltico, asociado a la subducción de la dorsal de Chile, generando productos y geformas volcánicas muy comunes en la región (coladas, depósitos de caída, plateaus, etc.).

A partir del Mioceno, se produjo un importante alzamiento en la región cordillerana, lo que habría causado un deterioro climático (debido a la interrupción de los vientos húmedos provenientes del oeste), ingresiones marinas generalizadas y el anclado de las glaciaciones patagónicas (*Mercer, 1976; Mörrner, 1991; Singer et al., 2004; Rabassa, 2008*), llegando estas últimas a afectar en gran medida al área de estudio (*Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996; Strelin et al., 1999*).

Con respecto a la estratigrafía regional, la unidad basal corresponde a la Fm. Estancia 25 de Mayo (*Cuitiño y Scasso, 2010*), del Mioceno Inferior y equivalente a la Fm. Monte León. La misma se caracteriza por ser un depósito heterogéneo, estratificado y compuesto por limolitas, areniscas, areniscas tobáceas, pelitas, tobas y tufitas, con presencia de coquinas calcáreas con cementación carbonática y la presencia de fauna de invertebrados marinos, principalmente ostras de gran tamaño. Presenta colores pardos, verdosos y blanquecinos y espesores que llegan a superar los 400 m. Existen pocos afloramientos para esta Fm. en el valle del río Santa Cruz, siendo el afloramiento más importante cercano al área de estudio el que se observa en el Cañadón El Mosquito, ver Figura 3-9.



Figura 3-9. Fm. Estancia 25 de Mayo en las cercanías del cañadón El Mosquito, con restos de valvas.

La Fm. Estancia 25 de Mayo pasa transicionalmente a la Fm. Santa Cruz (*Zambrano y Urien, 1970*) del Mioceno, colocándose el límite entre ambas en el último nivel con ostras (*Cuitiño et al, 2012*). Esta formación presenta espesores variables, llegando a superar los 600 m. Las litologías que presenta son pelitas, areniscas y niveles de cenizas volcánicas principalmente, encontrándose en menor medida conglomerados. Las dos formaciones anteriormente mencionadas reflejarían una regresión, pasando de las sedimentitas marinas regresivas de la Fm. Estancia 25 de Mayo a las continentales de la Fm. Santa Cruz, (ver Figura 3-10).



Figura 3-10. Vista general de la Fm. Santa Cruz sobre la margen derecha del río homónimo.

Por encima de estas dos formaciones, se disponen niveles de sedimentos glaciarios, glacifluviales y glacialacustres depositados por una serie de glaciaciones que habrían comenzado en el Mioceno (Mercer, 1976). Estos eventos, fundamentalmente agradacionales, alternan con otros principalmente erosivos, atribuidos a períodos interglaciarios y al alzamiento de la región extracordillerana (tectónico y glacioisostático). Junto con los derrames de coladas basálticas (Mioceno tardío–Plioceno y Plioceno-reciente), ver Fotografía 6.3, estos procesos dominaron desde dicho momento el modelado del paisaje (Strelin 1995; Strelin y Malagnino 1995; Strelin et al., 1999; Strelin y Malagnino, 2009).



Figura 3-11. Coladas basálticas formando mesetas en la zona de estudio.

En la Tabla 3-5 puede observarse la estratigrafía regional.

Tabla 3-5. Estratigrafía regional para el área de estudio.

CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos coluviales
		Depósitos de llanura aluvial
		Depósitos de terraza aluvial
		Depósitos de remoción en masa
		Depósitos eólicos
	Depósitos lacustres	
	PLEISTOCENO	Morenas El Tranquilo (ET) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciafluviales y glacialacustres
		Morenas Arroyo Verde (AV) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciafluviales y glacialacustres
		Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glaciafluviales
		Morenas Estancia La Frutuosa (ELF) y sus depósitos de gravas y arenas glaciafluviales
		Coladas de Basaltos pleistocenas
	PLIOCENO - MIOCENO sup	Coladas de Basaltos pliocenas
		Terraza San Fernando y sus gravas y arenas glaciafluviales
		Terraza La Australasia y sus gravas y arenas glaciafluviales
		Morenas Pampa Alta y sus depósitos de gravas y arenas glaciafluviales
TERCIARIO	MIOCENO	Fm Santa Cruz
	MIOCENO-EOCENO	Fm 25 de Mayo

3.5.1 Geología del sector presa Néstor Kirchner

La unidad basal del área de estudio corresponde a la Fm. Estancia 25 de Mayo (Eoceno-Mioceno), la cual no aflora en esta zona, pero se conoce debido a las perforaciones realizadas. A partir de las mismas se estimó un espesor de 70 m, siendo la característica distintiva de la unidad su color verde oliva a verde amarillento. A partir de los testigos recuperados se reconocieron distintos niveles de características litológicas variadas, las cuales se detallan a continuación:

- Fangolitas arenosas y areniscas limosas, dispuestas en bancos tabulares, con varios decímetros de espesor y bioturbación elevada. En estos niveles se encontraron abundantes fósiles de invertebrados, principalmente bivalvos (las ostras son típicas de la formación), corales y gasterópodos. Indicarían un ambiente de moderada a baja energía.
- Mantos biogénicos, con acumulaciones esqueletales (principalmente valvas de ostras, y en menor medida valvas de pectínidos y gasterópodos) asociadas a fangolitas arenosas. Su geometría es tabular con espesores de entre 15 y 25 cm. Representan un ambiente marino con alta colonización del sustrato por acumulaciones arrecifales.
- Niveles de coquinas, corresponden a acumulaciones fragmentarias de restos fósiles variados (valvas subredondeadas, rotas y trituradas) con mala selección de tamaños y formas, asociadas a niveles de areniscas gruesas a sabulíticas. Se disponen en lentes de pocos cm de espesor. Internamente se observó estratificación cruzada. El ambiente habría sido dominado por corrientes mareales o litorales de alta energía.
- Areniscas gruesas a sabulíticas, se presentan como bancos tabulares de centímetros a metros de espesor, pudiendo estar cementados por carbonatos. La base presenta areniscas gruesas conglomerádicas gradando hacia el techo a arenas medias a finas. Hacia el tope de los conjuntos aparecen ondulas y bioturbación de manera aislada, junto con delgados mantos de materiales finos. Si bien se dispone de manera tabular, en detalle se encontró estratificación cruzada, terminaciones cuneiformes y lenticularidad. Representa un ambiente marino submareal con corrientes de mareas de alta energía, con momentos de quietud donde se habrían depositado los mantos pelíticos.
- Niveles heterolíticos, caracterizados por una alternancia milimétrica a centimétrica de láminas de arena fina con mantos pelíticos, donde las primeras indican un momento tractivo y los segundos un momento de decantación por baja energía. Se encontraron trazas fósiles y estructuras tractivas. Internamente pueden presentar lenticularidad o una estratofábrica en cintas ondulantes que reflejarían períodos de baja y alta energía que se habrían sucedido periódicamente. Esta unidad correspondería a un ambiente de planicie mareal con eventos de exposición subaérea, indicados por la presencia de grietas de desecación.
- Fangolitas laminadas y fangolitas macizas con niveles delgados (milimétricos) de arenas finas con ondulitas. Se disponen en estratos de menos de 1 cm con laminación paralela horizontal interna, apareciendo a veces bandas de fangolita maciza de entre 1 y 5 cm de espesor. Estos niveles presentan poca bioturbación, y reflejarían un ambiente intermareal a submareal protegido, con decantación de material fino y corrientes tractivas de baja energía.

A partir de estas litologías se definió un ambiente marino sublitoral para la formación.

La siguiente unidad de la columna estratigráfica corresponde a la Fm. Santa Cruz (Mioceno), cuyos afloramientos más cercanos se dan en la Estancia Cordón Alto (margen sur) y en la Estancia Cerro Fortaleza (margen norte). A partir de estos afloramientos y de las perforaciones realizadas en la zona, se reconocieron distintas litologías, descriptas a continuación:

- Areniscas gruesas laminares, dispuestas lenticularmente en bancos entre 0,5 y 6 m de espesor. Caracterizada por arenas gruesas y conglomerados finos en la base que gradan a arenas gruesas y medias hacia el tope. Internamente se encontró estratificación cruzada planar y en artesa, y estratificación planar horizontal. En algunas zonas presenta concreciones redondeadas con diámetros centimétricos a decimétricos que se encuentran aisladas o agrupadas en racimos, también se observaron estructuras tubulares fuertemente cementadas por carbonatos. Hacia el tope de los niveles arenosos se encontraron restos óseos fosilizados de vertebrados y algunos fragmentos de troncos silicificados. Estos niveles se habrían depositado como relleno de cauces fluviales de poca profundidad.
- Arenas finas limosas, que se presentan en forma de cuerpos tabulares de 30 a 50 cm. Presentan moteados de óxidos de hierro y concreciones carbonáticas que a veces generan capas continuas de carbonato (comúnmente denominadas tosca). Se observaron algunas estructuras verticales generadas por bioturbación y por la acción de las raíces. Estos depósitos habrían sido acumulados por derrames de los canales principales en épocas de crecida.
- Limolitas tobáceas moteadas, con porcentajes variables de arena y arcilla. Se disponen en bancos tabulares de 20 a 30 cm o 70 a 80 cm. A grandes rasgos son homogéneas y macizas, si bien en detalle se observan moteados, bioturbación, nódulos de carbonato y en superficie slickensides. Se habrían depositado en un ambiente de llanura de inundación.
- Arcillitas tobáceas laminadas a bandeadas, dispuestas de forma tabular con espesores entre 20 cm y 1 m. Presentan poca bioturbación, y en algunos casos se observó la preservación de restos carbonosos. La sedimentación, por decantación, habría sido en un ambiente subácueo (en etapas lacustres, palustres, de encharcamientos someros o en cauces inactivos), con eventos de exposición subaérea evidenciados por grietas de desecación y formación de paleosuelos.
- Tobas blanquecinas amarillentas, aparecen como bancos de 5 a 70 cm de espesor, con geometría tabular y gran continuidad lateral. Presentan un alto porcentaje de arcillas, y se pueden encontrar granulometrías choníticas hasta lapillíticas. Se encuentran laminadas o masivas, muy bioturbadas y con desarrollo de suelos.
- Limo-arcillitas con láminas de areniscas finas brechadas. Corresponden a fragmentos angulosos a subangulosos rodeados por arenas o limos arcillosos. Se encontraron inflexiones, grietas irregulares y morfologías en cuña rellenas con material arenoso o limo-arcilloso.
- Areniscas gruesas gradadas y mal seleccionadas, con algunos fragmentos líticos. Las arenas gradan desde granulometrías gruesas a medianas y finas, pasando transicionalmente a pelitas con una matriz de grano muy fino. Se encuentran bioturbaciones aisladas y material muy fino como matriz.
- Alternancia de areniscas muy finas laminadas (laminación ondulítica) y pelitas dispuestas en paquetes de entre 0,3 y 1,2 m. El nivel se encuentra escasamente bioturbado. La sedimentación se habría dado por decantación en cuerpos de agua tranquila afectados periódicamente por corrientes tractivas de baja energía.

La descripción de estas litologías permitió definir que la formación se depositó en un ambiente continental fluvial, con un aporte detrítico desde el oeste (cordillerano) y afectado por caída de cenizas volcánicas. A modo de resumen, se definieron tres secciones generales, una basal, una media y una superior. La media se encuentra a cotas aproximadas entre 72,5 y 121 msnm y presenta una mayor proporción de limolitas tobáceas edafizadas y areniscas finas, mientras que las dos secciones restantes cuentan con una mayor proporción de tobas muy poco perturbadas, con cuerpos de areniscas lenticulares de mayor espesor y granulometría que los que aparecen en la sección media.

Durante el Mioceno tardío se habrían acumulado los primeros depósitos glacifluviales presentes en la zona de estudio, que corresponden a los de la Terraza La Australasia, representando el nivel III de terrazas. Esta unidad está compuesta por gravas y arenas glacifluviales, que en la margen norte del valle presenta seis escalones de inclinación hacia el sur que abarcan desde los 600 a los 475 msnm, donde los depósitos son principalmente erosivos, con la excepción del último escalón que es el más extenso y está relacionado a una capa de rodados de hasta 40 cm de diámetro. En la margen sur, cercana a la Estancia La Adela, se presenta una terraza de este nivel cubierta por depósitos de la glaciación Estancia La Fructuosa, descrita más adelante en este capítulo.

Los depósitos glacifluviales de Terraza San Fernando corresponden al nivel IV, siendo depositados durante el Plioceno. Estas acumulaciones se presentan entre los 300 y 450 msnm sobre las sedimentitas de la Fm. Santa Cruz y los niveles glacifluviales previos, en capas de 20 m de espesor de rodados y bloques polimícticos de hasta 0,30 m de diámetro observando en algunos casos bancos arenosos laminados, niveles tobáceos y niveles diamictíticos con bloques de hasta 40 cm de diámetro.

Esta unidad se encuentra parcialmente cubierta por los Basaltos Cóndor Cliff (Plioceno), que habrían fluido encauzados por valles que cortan los niveles de Terrazas La Australasia, cubriendo las Terrazas San Fernando y en otras zonas a la Fm. Santa Cruz. Los espesores encontrados llegan a 100 m, reflejando hasta 12 flujos lávicos con disyunción columnar. En algunos sectores presentan en la base brechas volcánicas y lavas almohadilladas.

Durante el Pleistoceno se generó una nueva glaciación, que acumuló el nivel denominado Morenas Estancia La Fructuosa y depósitos glacifluviales, correspondientes al nivel V. Esta unidad está caracterizada por lomadas y crestas morénicas semiparalelas al valle principal, presentes sobre las dos márgenes. En margen sur, en la zona cercana a la Estancia Las Torcazas, se encontraron estos depósitos en los niveles más elevados del valle, con cotas de 800 msnm, llegando en la Estancia El Refugio a cubrir los niveles de basaltos con espesores de 20 m y con bloques de estas mismas vulcanitas de más de 2 m de diámetro. Hacia el oeste, cercano a la Estancia La Enriqueta, los depósitos pasan a cubrir zonas más bajas, alcanzando cotas de 500 msnm. En la margen norte, a cotas entre 800 y 475 msnm, esta unidad refleja dos pulsos importantes o estadiales glaciarios con bloques erráticos que alcanzan 2 m de diámetro de vulcanitas ácidas, de pelitas con estrías y de basaltos autóctonos, mientras que en la margen sur, sobre la zona de los Riscos, Las Lascas y Cerro Fortaleza, estos depósitos cubren las coladas basálticas reflejando un tercer reavance glaciario.

Siguiendo el orden cronológico, una nueva glaciación habría depositado las Morenas Cerro Fortaleza y sus depósitos glacifluviales, comprendiendo el nivel VI. Estas acumulaciones se presentan en la zona al pie del risco Las Lascas, a una cota de 220 msnm que hacia el oeste pasa a mayores alturas. Al norte del río se observaron 5 crestas morénicas, mientras que en la margen sur se distinguieron 3 crestas morénicas subparalelas con espesores de 25 m y bloques basálticos de hasta 2 m de diámetro y matriz limosa. Hacia el valle aparecen terrazas de la misma glaciación a cotas de 200 msnm.

La siguiente unidad en depositarse corresponde a los depósitos glacifluviales de la Terraza Arroyo Verde, que representa el nivel VI. Para este caso se observaron 2 avances glaciarios que cerraron entre 25 y 35 km al este del área de estudio, generando potentes acumulaciones de gravas gruesas que en los sectores proximales llegan a más de 100 m de espesor. Las terrazas presentan cotas de 280 msnm al oeste y de 180 msnm al este, desapareciendo hacia el angostamiento Cóndor Cliff.

Los últimos depósitos glacifluviales pleistocénicos de la zona corresponden a los de las Terrazas El Tranquilo I y II (niveles VII y VIII, respectivamente), las cuales son difíciles de diferenciar en el área de estudio. El Tranquilo I representa un primer reavance glaciario, que generó morenas hasta 50 km al oeste del área de estudio, a partir de donde se depositaron los sedimentos glacifluviales. El Tranquilo II refleja un nuevo avance glaciario en el cual los depósitos se encauzaron en los anteriores con un resalto de 10 a 15 m.

Durante el Holoceno, se produjeron nuevas acumulaciones dentro de las cuales encontramos los depósitos de terraza aluviales, que se encuentran a ambos lados del río (con mayor desarrollo en margen derecha), en el piso del valle y a aproximadamente 2 m sobre el nivel máximo del curso, con litologías de gravas subesféricas, redondeadas y arenas y limos en menor proporción. En la margen izquierda estos depósitos se encuentran cubiertos por cenoglomerados con espesores entre 6 y 43 m. Los depósitos de llanura aluvial presentan un desarrollo menor en este sector, con un ancho total aproximado de 150 m y caracterizados por gravas polimícticas y redondeadas y participación menor de arenas y limos. Los conos aluviales existentes en el sector, y principalmente en la margen sur, presentan sedimentos arenosos, con limos y arcillas subordinadas y gravas en menor medida.

Sobre ambas márgenes, y en mayor medida en la margen norte, se observaron depósitos de remoción en masa, representados por acumulaciones de cenoglomerados asociados a flujos y grandes bloques desarticulados. También existen asentamientos rotacionales, bloques elongados (en la cara libre de los basaltos), expansión lateral, flujos parcialmente encauzados, avalanchas de roca, caídas de roca y movimientos de remoción en masa complejos.

En menor medida aparecen depósitos lacustres, que se ubican en ambientes confinados y depresiones de variados orígenes y tamaños, principalmente sobre los basaltos, pero también en cubetas locales emplazadas entre bloques asentados, presentes en la margen norte. Los sedimentos que los caracterizan son limos arcillosos, con algunas arenas subordinadas. Los depósitos eólicos de la zona corresponden a arenas medias a finas dispuestas en cuerpos elongados marginales al río Santa Cruz depositados por deflación de las arenas de la planicie aluvial.

La geología local del área de estudio se presenta en la Figura 3-12.

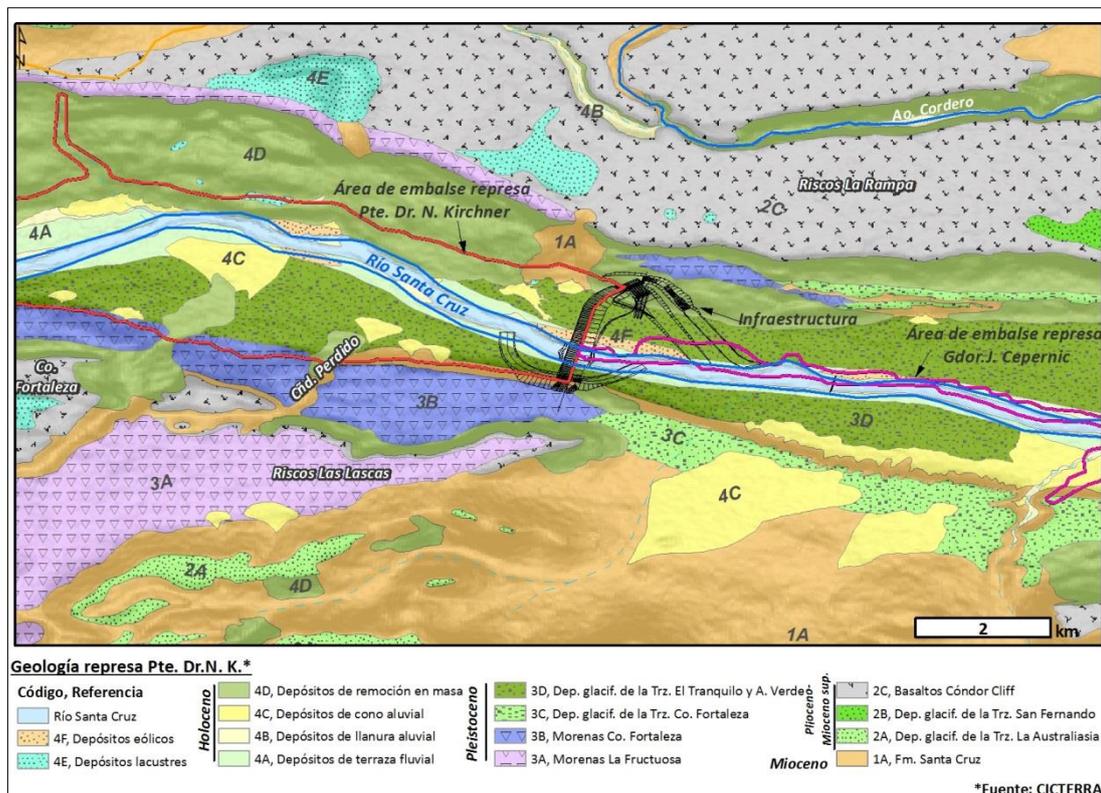


Figura 3-12. Mapa geológico de la zona de emplazamiento de la represa Pte. Dr. N. Kirchner (Fuente: CICTERRA 2015b).

3.5.2 Geología del sector represa Jorge Cepernic

La columna estratigráfica de esta área comienza con la Fm. Santa Cruz (Mioceno), ya que la Fm. Estancia 25 de Mayo no fue alcanzada en ninguna perforación (el pozo más profundo de la zona, denominado Bl 1, alcanza una cota de 15,86 msnm sin llegar a atravesar el piso de la Fm. Santa Cruz). Esta formación se encuentra presente a ambos lados del valle, pero no aflora, hallándose cubierta por un banco de gravas en la margen sur y por coladas basálticas en la margen norte, además del coluvio existente en ambas. Los principales afloramientos cercanos se encuentran en las estancias Cordón Alto y Rincón Grande, donde se observa una sucesión sedimentaria estratificada con disposición horizontal a subhorizontal (con ángulos de inclinación máximos de 8°) con intercalación de colores claros y oscuros. La litología observable en estos afloramientos se puede dividir en tres secciones, una superior, hasta los 353 msnm aproximadamente, donde predominan areniscas y limolitas intercaladas con bancos de tobas; una intermedia, entre los 323 y 305 msnm, caracterizada por areniscas gruesas a medianas de color gris claro con estratificación entrecruzada y concreciones esféricas; y por último una sección baja, a 175 msnm, en la que aparecen arcillitas y limolitas de colores claros.

A su vez, las perforaciones realizadas atravesaron las mismas litologías que se observaron en la zona de NK.

Es importante mencionar que los niveles tobáceos de esta formación se hallan alterados a arcillas esmectíticas de alta expansividad y plasticidad capaces de retener humedad. En estos niveles se encontraron sumideros y hoyos de colapso que favorecen procesos de piping, formando cavidades y conductos por donde el agua fluye hacia niveles permeables a partir de los cuales puede aflorar generando mallines a diferentes alturas.

A partir de las perforaciones realizadas, se llevó a cabo una correlación de las litologías atravesadas, definiendo tres secciones para la formación en la zona de estudio:

- Sección basal, presente al menos desde los 15,86 msnm, contiene escasas tobas y cuerpos predominantemente tabulares de arenisca de espesores de hasta 11 m.
- Sección media, ubicada entre los 56,5 y los 130 msnm, cuenta con numerosas intercalaciones de tobas con canales lenticulares de areniscas grises con espesores de hasta 11 m.
- Sección superior, caracterizada por una escasez de tobas y canales de arena. Llega hasta el tope de la formación, hasta aproximadamente 175 msnm.

Cabe destacar que en el sector central del valle no se encontraron niveles de tobas, debido probablemente a la poca capacidad de preservación de los mismos.

En las Figura 3-13 y Figura 3-14 pueden observarse distintos cortes transversales que reflejan las litologías atravesadas.

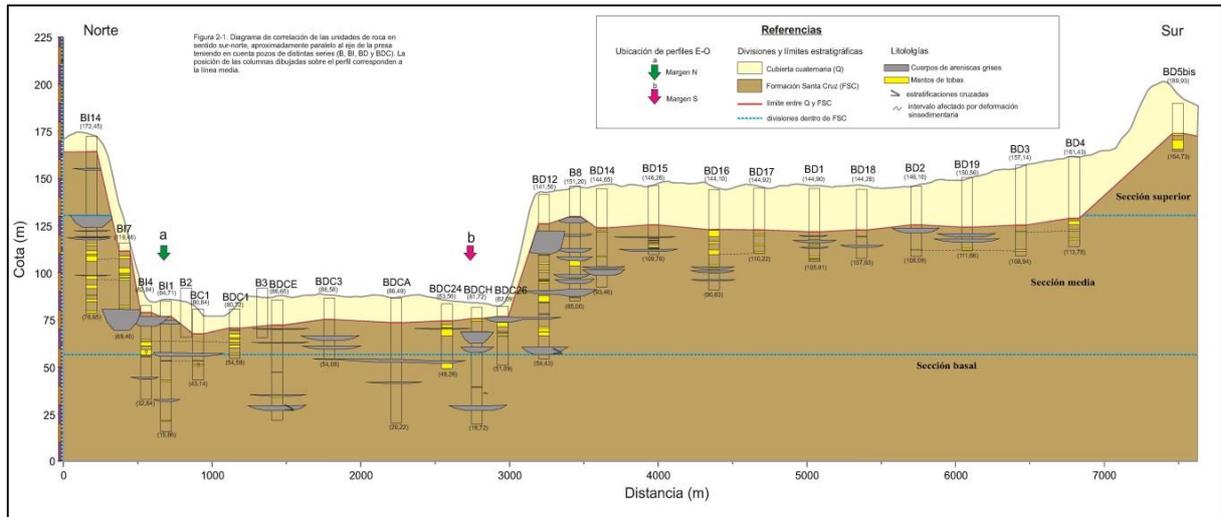


Figura 3-13. Perfil norte – sur del valle del Río Santa Cruz en la zona de emplazamiento de la presa Jorge Cepernic (Fuente: CICTERRA 2015b).

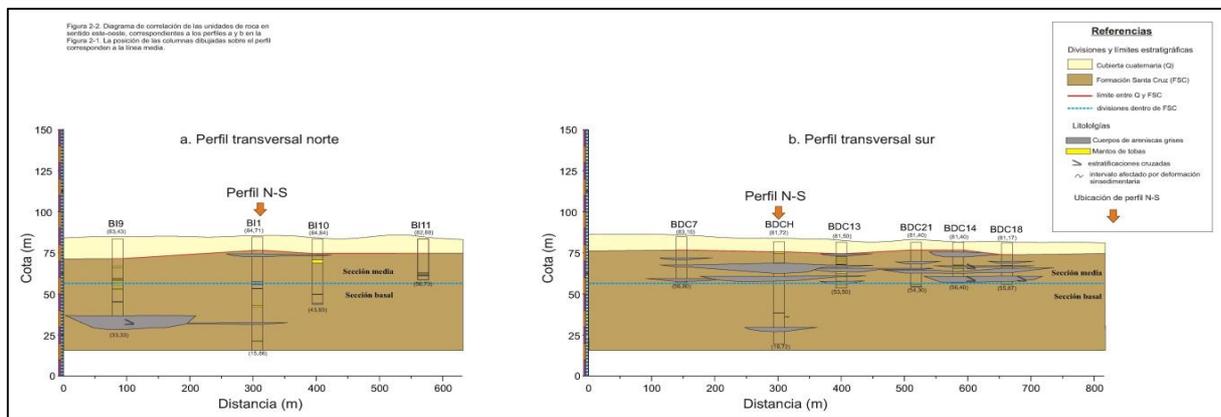


Figura 3-14. Perfiles este - oeste de la zona de emplazamiento de la presa Jorge Cepernic (Fuente: CICTERRA 2015b).

Siguiendo en orden cronológico, aparecen los depósitos glacioluviales de la Terraza San Fernando (Plioceno), esta terraza se generó mediante una profundización de niveles anteriores (Terraza La Australasia, que no aparece en la zona de interés) durante un período interglaciar. Al producirse una nueva glaciación, se generó esta nueva planicie glacioluvial, que se caracteriza por depósitos de rodados de hasta 30 cm de diámetro con arenas subordinadas. Este nivel corresponde al Nivel IV de los niveles de terrazas glaciarias encontradas en la región. En el área de estudio se apoya en discordancia erosiva sobre la Fm. Santa Cruz en la margen norte, entre los 203 y 220 msnm.

Posteriormente, pero también durante el Plioceno, se depositaron los denominados Basaltos Cóndor Cliff, procedentes de los emisores volcánicos La Meseta (al norte del valle) y Pampa Alta (al sur del valle). Estas coladas fueron encauzadas por cañadones, sepultando parcialmente las terrazas preexistentes. En la zona de estudio, se encuentran en la margen norte, cubriendo a los depósitos de la Terraza San Fernando y conformando una meseta volcánica. Estos basaltos presentan una composición alcalina con características de magma de intraplaca, sin estar asociados a subducción. Es importante mencionar que los emisores que generaron estas coladas no están relacionados directamente a los que aparecen en el cierre de la presa NK, pero al ser correlacionables, se los agrupó en la misma formación.

En el Pleistoceno se produjeron nuevas glaciaciones que generaron nuevas terrazas glaciarias. En la zona de estudio, se decidió agrupar los depósitos glacifluviales de algunas de estas terrazas para facilitar su entendimiento. En primer lugar encontramos los sedimentos pertenecientes a la Terraza La Fructuosa (que correspondió a la mayor expansión de los glaciares) y a la Terraza Cerro Fortaleza. Estos se caracterizan superficialmente por ser una acumulación de gravas polimícticas redondeadas de granulometría variable, con grandes bloques semienterrados que generalmente corresponden a vulcanitas de los Basaltos Cóndor Cliff y con matriz de arena y limos subordinados. Estos depósitos presentan espesores de hasta 22 m, encontrándose bloques hasta los 7 m de profundidad.

Luego se encuentran los depósitos glacifluviales de la Terraza Arroyo Verde y de la Terraza El Tranquilo I, también del Pleistoceno. Estas acumulaciones se encuentran en el piso del valle del Río Santa Cruz, principalmente aguas arriba del emplazamiento de la presa. Superficialmente corresponden a gravas de tamaño heterogéneo, con diámetro medio de 5 cm, polimícticas y redondeadas, con arenas subordinadas. Sus espesores rondan los 17 m.

Los últimos depósitos del Pleistoceno corresponden a aquellos pertenecientes a la Terraza El Tranquilo II, que, a diferencia de las acumulaciones del primer estadio, conservan sus rasgos superficiales, alcanzando hasta 5 m por encima del nivel más alto del río. Los sedimentos que conforman esta terraza corresponden a gravas y arenas de granulometría variable. Las gravas son polimícticas y bien redondeadas, con diámetro medio de 5 cm y que presentan bloques de hasta 15 cm. Estas acumulaciones conforman una faja de ancho regular y espesor de 5 m aproximadamente, que se encuentra segmentada en parte por depósitos holocenos.

Dentro de los sedimentos recientes se encuentran: los depósitos de terraza aluvial superior, que corresponden a paleocauces de habito sinuoso a algo entrelazado, con arenas y gravas bien redondeadas y polimícticas, con diámetros entre 5 y 15 cm; los depósitos de llanura aluvial y cono aluvial, que varían según su origen, ya que los depositados por el Río Santa Cruz son gravas gruesas, medianas y finas con arenas y limos subordinados, y se disponen a ambos lados del río con poca extensión lateral, mientras que aquellos vinculados a los tributarios corresponden a arenas finas, limos y arcillas con gravas finas subordinadas, presentándose en los cauces de estos cursos y generando abanicos aluviales en su desembocadura. Los procesos de remoción en masa generaron a su vez deslizamientos rotacionales, principalmente en la margen norte, ya que están condicionados por la presencia de las coladas de basalto. Además, asociadas a esta litología, se encuentra una gran cantidad de bloques que se depositaron por caída. En la zona se presentan cenoglomerados, generados por flujos de variada densidad, y caracterizados por granulometrías areno limosas. Por último, también existen depósitos eólicos superficiales, caracterizados por limos y arenas finas a medianas, y lacustres, evidenciados por limos y arcillas que se asocian a cubetas eólicas en la superficie de los basaltos y eventualmente en cauces parcial o totalmente inactivos.

La geología de la zona de la presa JC se puede observar en la Figura 3-15.

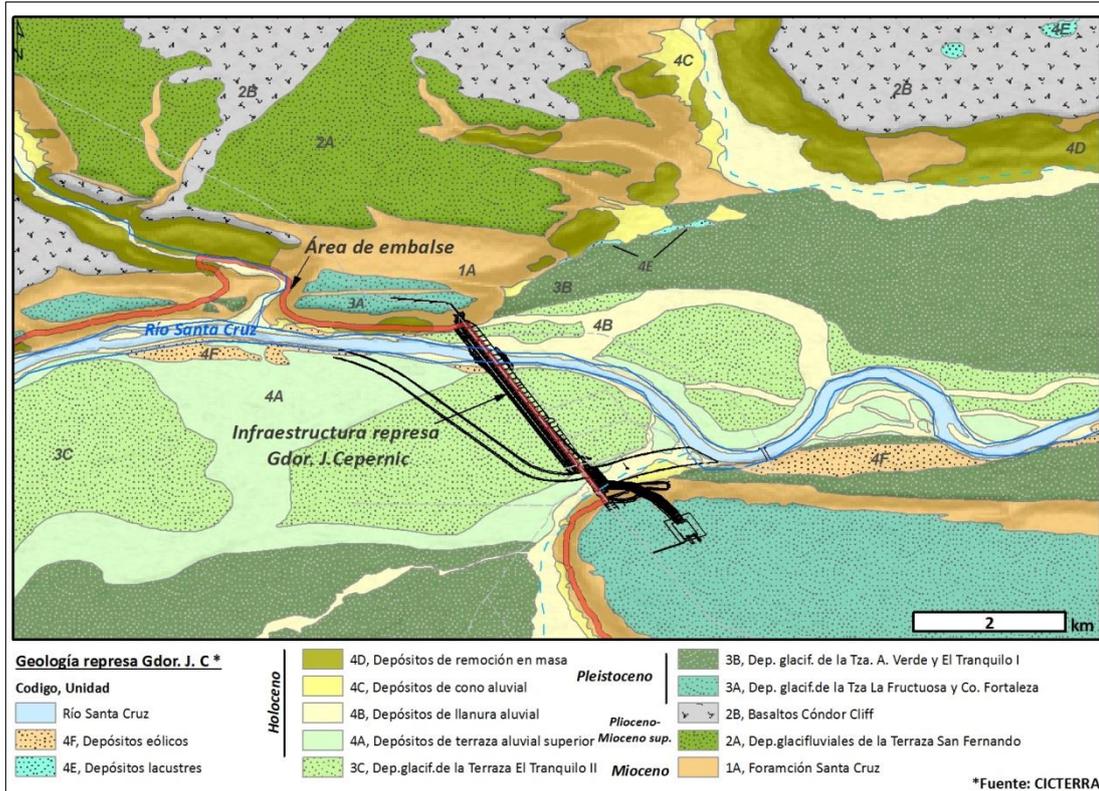


Figura 3-15. Mapa geológico de la zona de emplazamiento de la presa Gdor. Jorge Cepernic. (Fuente: CICTERRA 2015b)

3.6 GEOMORFOLOGIA

Para la zona de estudio se encontraron diversas unidades y subunidades geomórficas que se han clasificado basándose en el proceso que las generó y según si se encuentran activas, inactivas o si son relícticas.

3.6.1 Geomorfología del sector represa Néstor Kirchner

Morfología fluvial

La principal unidad corresponde al Río Santa Cruz, que se encuentra compuesto por su cauce, barras, llanura de inundación y terrazas aluviales adyacentes. El cauce presenta un hábito regular de baja sinuosidad, a diferencia de las zonas aledañas, donde suele ser de alta sinuosidad a meandriforme, es de tipo monocal con algunas barras centrales muy localizadas que pueden generar pequeños tramos multicanal.

En la zona de estudio el valle es estrecho, debido a la presencia de coladas basálticas en ambas márgenes, lo que provoca que la llanura de inundación sea regular y de poco desarrollo. Las terrazas aluviales existentes son bajas, con alturas menores a 2 m del nivel medio del río, lo que genera que en época de crecidas el agua las alcance, dejando cauces inactivos cuando baja el río.

Existen tributarios a ambos lados del valle, con mayor desarrollo en la margen sur. Estos cursos son de régimen estacional, alimentados por las precipitaciones pluviales o por la fusión de nieve y en algunos casos por manantiales. En margen sur presentan diseño dendrítico a subdendrítico, formando una red de densidad media a baja y llanuras de inundación pequeñas, mientras que en margen norte presentan un mínimo desarrollo ya que son cursos jóvenes, que en algunos casos no llegan a estar conectados con el Río Santa Cruz, generando un drenaje centrípeto. La excepción para este margen es el Arroyo Cordero que corresponde a un tributario del Arroyo Las Cuevas (fuera de la zona de estudio) y que presenta una llanura de inundación relativamente amplia.

Otra de las unidades principales es el pedimento de flanco, que abarca las superficies inclinadas que fueron labradas por acción fluvial principalmente sobre las sedimentitas terciarias y en menor medida sobre las vulcanitas y los depósitos glaciales. En margen sur presentan su máximo desarrollo, mientras que en la margen norte son vestigiales debido a que fueron destruidas por los movimientos de remoción en masa. El pedimento presenta generalmente en ambas márgenes una cubierta clástica.

Los abanicos aluviales están desarrollados principalmente al norte del río, ya que en la margen opuesta son casi inexistentes. En ambos casos se presentan generalmente al pie de las Terrazas Cerro Fortaleza, y suelen encontrarse segmentados y en forma de trompeta.

Morfología glaciar

Los depósitos morénicos de la zona están representados por las Morenas Estancia La Fructuosa, depositadas durante la segunda glaciación, que fue la mayor de las que existieron en la zona y que fue encauzada por el antiguo valle del Río Santa Cruz. Estas acumulaciones generaron morenas basales y marginales en ambos laterales, con poca cantidad en la margen sur, donde sólo se detectó un cordón angosto, y gran cantidad en la margen norte, con tres sistemas de varios cordones. Estas geofomas fueron retrabajadas por la glaciación Cerro Fortaleza.

Luego de la glaciación Estancia La Fructuosa se produjo un estadio interglaciar donde se dio una profundización de al menos 190 m. Luego de esta etapa comenzó la glaciación Cerro Fortaleza, que fue encauzada en este nuevo valle, dejando morenas marginales y basales que generalmente se encuentran a cotas más bajas que las de la glaciación previa. En este caso las morenas que más se conservan son las de la margen derecha, formando arcos morénicos en una faja de más de 1,3 km de ancho con 8 cordones, mientras que en la margen opuesta las morenas marginales se encuentran separadas por morenas basales.

Las terrazas glaciales presentes representarían cada una glaciación cada una, etapa en la cual predominaba la sedimentación vertical y la planación lateral. Los resaltos que separan las terrazas indicarían los estadios interglaciales con profundización vertical y cauces monocal. A grandes rasgos existen dos grupos de terrazas, las previas a las coladas basálticas y las posteriores. En el primer grupo encontramos a las Terrazas La Australasia, que se encuentran disectadas y con inclinación hacia el valle, y las Terrazas San Fernando, encauzadas en la parte alta del valle del río. Las terrazas presentes en el grupo restante se ubican en su totalidad dentro del valle actual.

Morfología de remoción en masa

La mayoría de estos procesos ocurren sobre la margen norte, con magnitudes notables. Los más comunes son los asentamientos rotacionales, muy vinculados a las secuencias volcánicas y epiclásticas que se encuentran cubiertas por las coladas basálticas y apreciándose principalmente por las caras libres que quedan sobre las vulcanitas. Estos deslizamientos generaron un mayor grado de fragmentación, nuevas superficies de fracturación, una tendencia a acumular agua sobre la pendiente y un mayor tiempo de residencia debido a la mayor rugosidad del terreno, lo que le confirió una inestabilidad mayor a los sedimentos. También aparecen avalanchas de rocas, ocasionadas en algunos casos por las razones anteriores. Otros de los procesos de remoción en masa que ocurren en esta margen son las expansiones laterales, que ocurren en las zonas donde las sedimentitas terciarias subyacen a las vulcanitas, y las caídas de rocas desde la cara libre de las coladas de basaltos, que son causadas debido al empinamiento de la pendiente y al alto grado de diaclasamiento, generando un talud empinado e inestable. También fueron detectados movimientos de remoción en masa complejos.

Morfología volcánica

Los basaltos de la zona se dividen en dos áreas volcánicas separadas por el río, con mayor desarrollo en la margen izquierda, si bien en la margen opuesta aparecen de manera limitada. Estas fueron emitidas por centros efusivos que no dejaron cuerpos volcánicos fácilmente reconocibles. Las coladas basálticas habrían fluido desde el norte sobre terrazas escalonadas glaciales, superficies pedimentadas o planicies de inundación hasta llegar a la zona de emplazamiento actual, cubriendo en parte la Terraza San Fernando y estando parcialmente sepultadas y erosionadas en la margen sur por la glaciación Estancia La Frutuosa.

Morfología eólica

Se distinguieron pequeñas dunas parabólicas, grandes hoyas de soplido, formadas por la deflación de las primeras, y bandas de arena, estas últimas en menor medida. Estas unidades se presentan formando fajas en forma paralela y adyacente a ambos lados del cauce del río.

Morfología lacustre

Se reconocieron dos unidades principales en el área de estudio, la primera abarca las geoformas relacionadas a los deslizamientos rotacionales entre bloques asentados que no llegan a conectarse con el cauce actual del Río Santa Cruz; y la segunda corresponde a las formas de mayor tamaño ubicadas en la superficie de los basaltos, existentes por la forma natural de la superficie o por el colapso debido a la presencia de cavernas o túneles de lava, que aloja una laguna estacional. Pueden presentar un drenaje radial centrípeto o en cordones lacustres concéntricos.

El relevamiento geomorfológico de la zona de la presa NK se puede observar en la Figura 3-16.

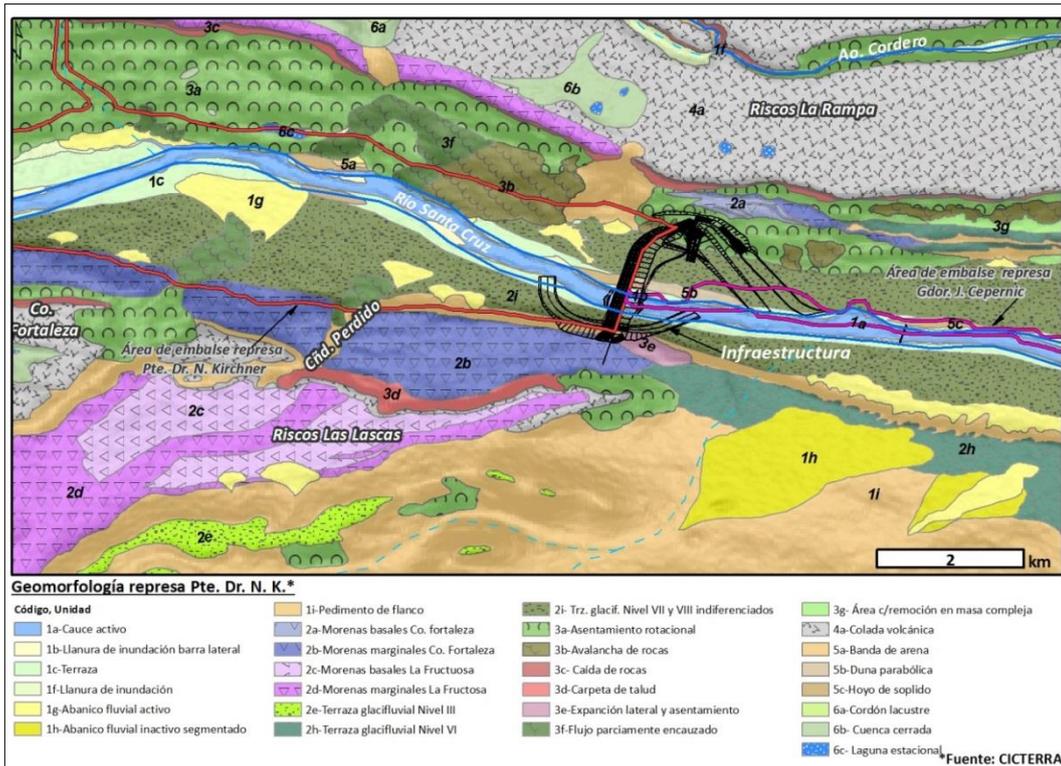


Figura 3-16. Mapa geomorfológico de la zona de emplazamiento de la presa Pte. Dr. N. Kirchner (Fuente: CICTERRA 2015b)

3.6.2 Geomorfología del sector presa Jorge Cepernic

Morfología fluvial

Se han dividido en 4 unidades principales, la primera y de mayor importancia corresponde al Río Santa Cruz. El cauce activo de este curso presenta un hábito meandriforme con radio de curvatura amplio en la primera sección que luego disminuye hacia la segunda sección. Sin embargo, en la zona de estudio corresponde a un tramo rectilíneo. La llanura de inundación presenta un bajo desarrollo y un ancho relativamente regular, con algunas extensiones locales. Los cauces inactivos indican una gran cantidad de cambios en el recorrido del río, ocasionados por avulsión, corte de cuellos de meandro o por rectificación de cauce por desborde en crecientes. Estos cauces inactivos podrían reactivarse en épocas de crecidas, sin embargo, la gran mayoría se encontrarían colmatados, lo que evitaría que esto suceda. También se observan barras laterales y centrales, y algunas acumulaciones semilunares en las caras internas de los meandros actuales. A ambos lados del río aparecen terrazas aluviales bajas, generalmente separadas de las terrazas glacifluviales, ya que no presentan más de 2 m sobre el nivel máximo del río.

La segunda unidad está conformada por los tributarios del río anteriormente mencionado, apareciendo principalmente en la margen izquierda del mismo, si bien son muy pocos. Estos cursos presentan régimen principalmente estacional o temporario, dependiendo directamente de las precipitaciones pluviales o de la fusión de las nieves estacionales. Como excepción existe un río permanente denominado Basalt Glen que presenta una cuenca extensa, lo que le confiere la capacidad de fluir durante todo el año. Los tributarios existentes en la margen norte presentan cuencas de diseño subdendrítico con baja densidad y textura gruesa, mientras que los de la margen Sur son casi inexistentes y presentan cursos lineales.

La tercera unidad abarca los abanicos aluviales, los cuales presentan un bajo desarrollo, conformando en la margen sur una angosta bajada continua que se genera a partir de la coalescencia de pequeños abanicos. En la margen norte estos abanicos presentan un desarrollo mucho mayor.

La cuarta y última unidad corresponde al pedimento de flanco, conformado por las pendientes generadas principalmente sobre la Fm. Santa Cruz, y sobre las vulcanitas y terrazas en menor medida. Presenta un escaso desarrollo y una cubierta clástica de gravas y arenas de pedimento.

Morfología glaciaría

Corresponde a los niveles de terrazas glacifluviales escalonadas, compuestas por gravas y arenas de espesores variables. Su origen estaría vinculado a la acción del agua proveniente de los glaciares que se encontraban hacia el oeste durante el Pleistoceno. Es importante mencionar que la zona no presenta una acción directa del hielo glaciar, ya que las glaciaciones no llegaron a cubrirla.

Cada terraza se encontraría vinculada a una glaciación, en la cual se producía un aumento de los caudales de los cursos de agua, generando sistemas multicanales de hábito megatrenzado o entrelazado, con régimen permanente y mucha carga de sedimento, lo que colmataba fácilmente los cauces, evitando la erosión vertical y fomentando la planación lateral. En las etapas interglaciarias, los glaciares retrocedían y por ende los caudales disminuían, produciendo que la carga de sedimento disminuyera, causando que los cauces pasen a tener una disposición monocanal y predominara la erosión vertical, generando un desnivel que convertía las planicies glacifluviales en terrazas. A grandes rasgos, se podría resumir en que las terrazas indican una glaciación, mientras que los desniveles entre ellas indican un estadio interglacial.

En la zona de la presa JC se hallaron 4 terrazas principales, de las cuales dos de ellas abarcan dos niveles cada una, indiferenciados uno de otro debido a la escala del trabajo. Estas terrazas corresponden a:

- Terraza San Fernando, correspondiente al nivel IV de las terrazas regionales, ubicado entre los 200 y 220 msnm del margen norte del valle y encontrándose cubierto por las coladas basálticas.
- Terraza La Fructuosa (nivel V) y Terraza Cerro Fortaleza (nivel VI), indiferenciadas, estimando una predominancia de la primera en la margen norte del valle y de la segunda en la margen sur.
- Terraza Arroyo Verde (nivel VII) y Terraza El Tranquilo I (nivel VIII), indiferenciadas, ubicadas entre los 85 y 95 msnm.
- Terraza El Tranquilo II (nivel IX) presente más que nada hacia el oeste de la zona de estudio.

Morfología de remoción en masa

En la margen sur del valle son muy aislados los procesos de remoción en masa, correspondiendo principalmente a movimientos de flujo.

En la margen norte estos procesos son más comunes y variados, siendo los más comunes los asentamientos rotacionales, muy vinculados a las secuencias volcánicas y epiclásticas que se encuentran cubiertas por las coladas basálticas y apreciándose principalmente por las caras libres que quedan sobre las vulcanitas. Estos deslizamientos generaron un mayor grado de fragmentación, nuevas superficies de fracturación, una tendencia a acumular agua sobre la pendiente y un mayor tiempo de residencia debido a la mayor rugosidad del terreno, lo que le confirió una inestabilidad mayor a los sedimentos. También aparecen avalanchas de rocas, ocasionadas en algunos casos por las razones anteriores. Otros de los procesos de remoción en masa que ocurren en esta margen son las expansiones laterales, que ocurren en las zonas donde las sedimentitas terciarias subyacen a las vulcanitas y las caídas de rocas desde la cara libre de las coladas de basaltos, que son causadas debido al empujamiento de la pendiente y al alto grado de diaclasamiento, generando un talud empujado e inestable. También fueron detectados movimientos de remoción en masa complejos.

Morfología volcánica

Las unidades generadas por estos procesos se encuentran en la margen norte del valle del río. En el sector de estudio se observan coladas basálticas con disposición tabular, lo que indicaría que al desplazarse habrían cubierto las terrazas glaciarias preexistentes, como sucede con la Terraza San Fernando. En otras zonas, estos basaltos habrían fluido por cañadones, que con el paso del tiempo fueron erosionados, generando una inversión de relieve.

Morfología eólica

Se observaron dunas de morfología variada, pero las que más abundan corresponden a las parabólicas en horquilla, que actualmente se encuentran afectadas por deflación, proceso que genera hoyas de soplido. En zonas más distales, estas dunas van perdiendo su forma hasta formar mantos de arena sin ningún tipo de morfología distintiva.

Morfología lacustre

Se reconocieron dos unidades principales en el área de estudio, la primera abarca las geoformas presentes en zonas de drenaje obstruido, que presentan una cuenca de morfología elongada y que ocurren cuando los cursos provenientes de las mesetas al norte no llegan al río Santa Cruz, porque se topan con una terraza glacifluvial que actúa como una barrera natural; y la segunda corresponde a las formas ubicadas en la superficie de los basaltos, donde se encuentran cuencas equidimensionales con una cubeta central, existente por la forma natural de la superficie o por el colapso debido a la presencia de cavernas o túneles de lava, que aloja una laguna estacional. En algunos casos, estas cuencas son de mayores tamaños y llegan a presentar una disposición con anillos concéntricos.

El relevamiento geomorfológico de la zona de la presa JC se puede observar en la Figura 3-17.

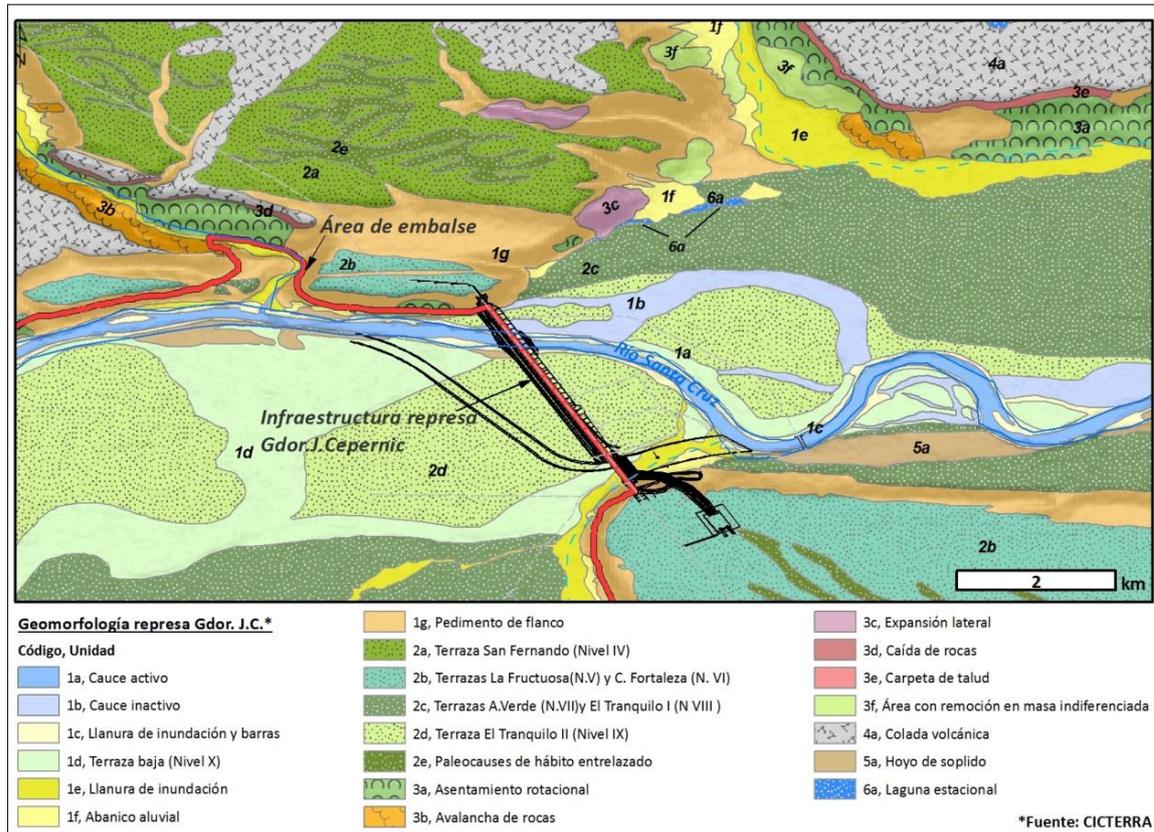


Figura 3-17. Mapa geomorfológico de la zona de emplazamiento de la presa Gdor. Jorge Cepernic.
(Fuente: CICTERRA 2015b)

3.7 HIDROLOGÍA GENERAL

El área regional de estudio se ubica dentro de la Cuenca del río Santa Cruz (CRSC), la cual es recorrida por el río homónimo en dirección Oeste - Este hasta desembocar en el océano Atlántico. La CRSC se halla conformada por un sistema glaciolacustre – fluvial, ocupando una superficie de 25.000 km² (Iturraspe y Sotfíní, 2005), ver Figura 3-18.

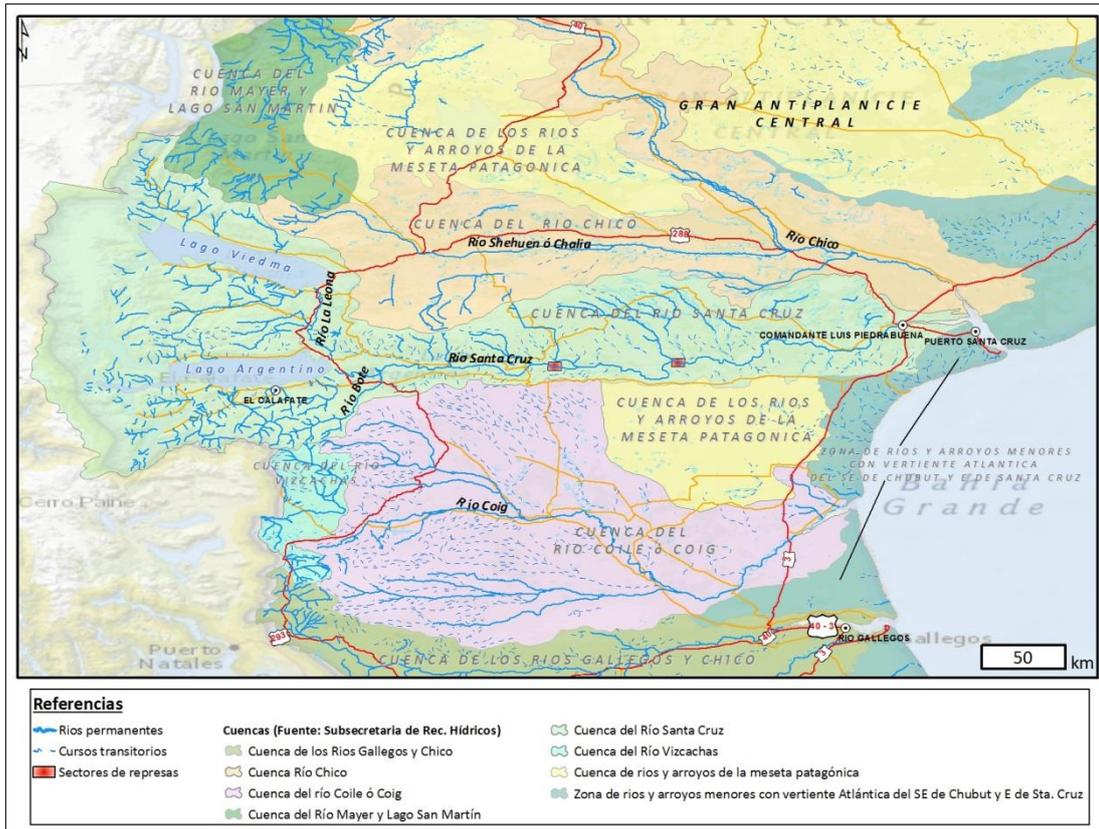


Figura 3-18. Cuenca del río Santa Cruz y aledaños.

El río Santa Cruz, es el tercer río del país con mayor caudal, y posee la ventaja que no se encuentra sometido a grandes crecidas, lo que permitiría utilizar al máximo su potencial sin necesidad de tener períodos con niveles de embalse bajos a la espera de absorber crecidas. Su caudal módulo es de 700 m³/s.

Esta cuenca posee sus nacientes en el oeste, más precisamente en el Campo de Hielo Patagónico Sur, desde donde descienden lenguas glaciares y aguas de fusión que forman ríos y arroyos que aportan el recurso hídrico a los lagos Viedma y Argentino. Este último, recibe las aguas del lago Viedma, ubicado 55 km al norte del mismo, a través del río Leona. A unos 5 km al sur de la descarga del río Leona nace el río Santa Cruz, el cual recorre hasta su desembocadura en el Atlántico 383 km, (ver Figura 3-18).

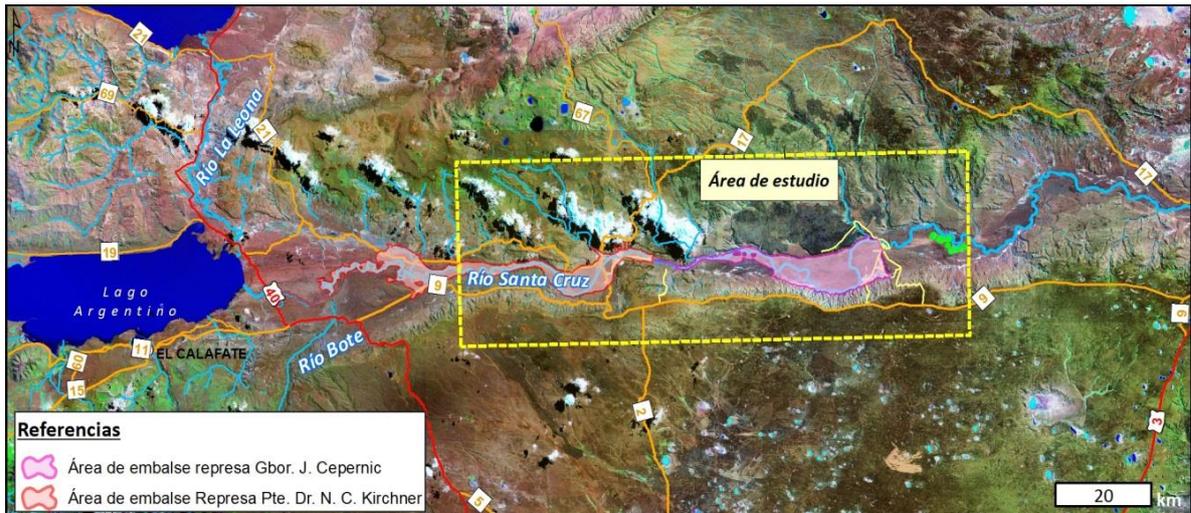


Figura 3-19. Imagen general del área general de estudio relevada, lagos y cursos hidrológicos principales.

3.7.1 Lago Viedma y Afluentes

El lago Viedma se ubica a una cota de 250 msnm y ocupa una superficie de 1.088 km² (SSRH, 2014). Recibe por su margen norte el aporte de los ríos Cangrejo, Blanco, Barrancas. Este último, presenta el aporte de caudal más importante (Íturraspe y Sotfíni, 2005), presentando un módulo de 54,6 m³/s registrado para el período 1991-2013 (SSRH 2014). Este curso nace en el lago del Desierto, emisario de la laguna Larga, y fluye alternativamente al sur y al sudeste, formando numerosos meandros, ver Figura 3-20.

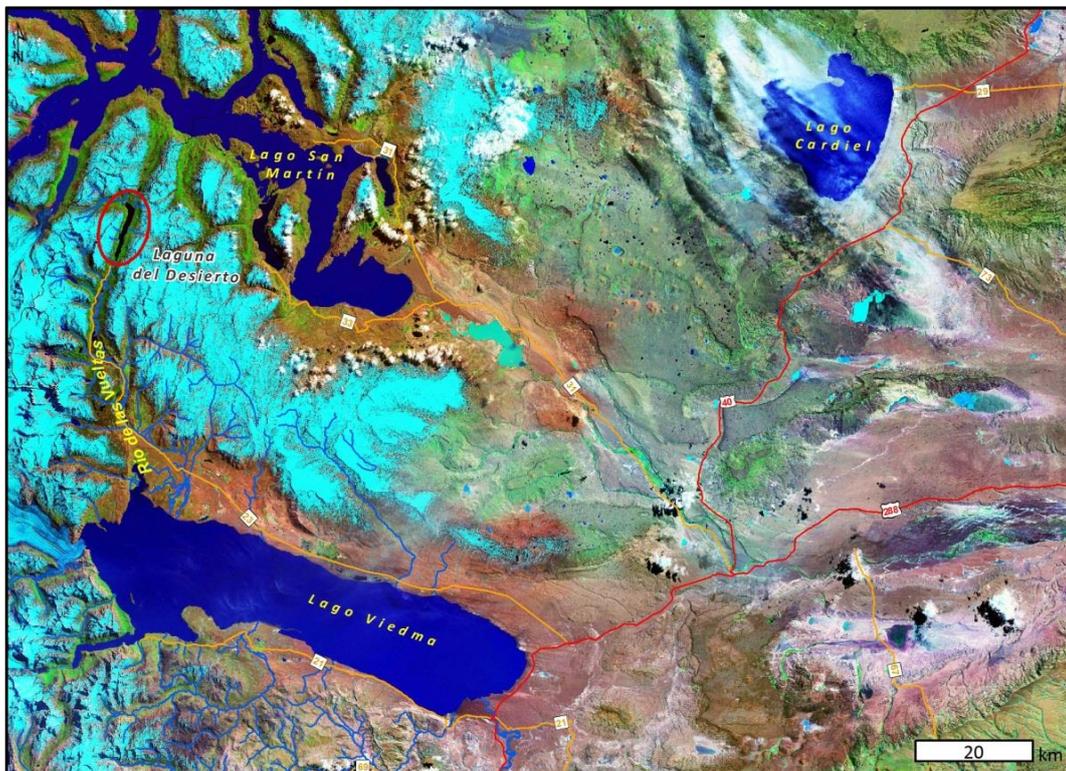


Figura 3-20. Imagen del lago del Desierto, Viedma y río de Las Vueltas.

Por la margen oeste del lago Viedma, descienden lenguas glaciares y aguas de fusión que forman ríos como el Túnel, emisario del lago homónimo. El glaciar Viedma es el de mayor desarrollo entre los que aportan a este lago (Valladares, 2004). Por la margen sur, vierten sus aguas los ríos Cóndor y Guanaco. En su extremo sudoriental nace su emisario, el río Leona (Valladares, 2004).

El río Leona tiene una longitud aproximada de 55 km y realiza su recorrido hacia el sur. Este curso es considerado geológicamente reciente, debido a que durante el Pleistoceno las aguas del lago Viedma se dirigían al Atlántico a través del río Shehuén o Chalia, de la cuenca del río Chico. El Leona recibe por margen derecha las aguas del río Matas Negras o Turbio (de régimen nival con crecidas en la primavera temprana) y desagua en el extremo oriental del lago Argentino, siendo su principal afluente con un caudal medio de 258 m³/s (Iturraspe y Sotfíní, 2005; Valladares, 2004).

3.7.2 Lago Argentino y afluentes

El lago Argentino, se sitúa en el Parque Nacional Los Glaciares. Según Quirós et al. (1988) el lago tiene un área de 1.466 Km² y un volumen aproximado de 220.000 hm³, siendo la profundidad máxima del orden de 500 metros, y la media de 150 metros, lo que lo ubica, junto al lago Buenos Aires entre los mayores de la Patagonia, sin embargo, el conocimiento de la morfometría del lago es insuficiente. Para tener un mayor detalle sería necesario un relevamiento batimétrico.

El lago posee dos áreas morfométricamente diferenciadas por la punta oriental de la Península Avellaneda. La occidental, que está rodeada por cerros de 2.500 metros y que tiene dos brazos subdivididos en canales y ensenadas. Hasta allí llegan las lenguas glaciares provenientes del Campo de Hielo Patagónico Sur. Estos brazos están flanqueados por laderas abruptas cubiertas por bosques andino patagónicos cuyos árboles disminuyen su altura en la medida que se asciende, hasta tener formas menores en el límite superior (timber line) que se encuentra entre 1600 y 1800 msnm.

La zona oriental del lago es la más amplia, con el aspecto característico de los lagos patagónicos, con perfil vertical en forma de una "V" extendida horizontalmente, típica de la zona terminal de un lago de origen glacial. La línea de costa en esta zona es regular, poco desarrollada, circundada por varias terrazas.

En la parte occidental, el lago se bifurca en dos brazos:

- 1) *El brazo sur*, también llamado canal de los témpanos, que une Punta Bandera (en el Este) y llega en el oeste al denominado Seno de Mayo, que alcanza hasta el pie de la montaña homónima, zona que recibe los aportes del Glaciar de Mayo. Hacia el sur, el canal de los témpanos tiene una depresión por la que circulan los aportes del Glaciar Ameghino, separado del lago por un trecho de valle fluvio-glacial. El canal de los témpanos es obturado por el avance de la masa de hielo proveniente del Glaciar Perito Moreno.
- 2) *El brazo norte*, separado del brazo sur por la península de Avellaneda, llega hasta los contrafuertes orientales de la cordillera de Los Andes, hasta el pie del Glaciar Upsala, con varias ensenadas. En la costa oeste, que es más elevada, tiene al final el Glaciar Spegazzini, en tanto que al norte se abre en la bahía Onelli, donde se encuentra el glaciar homónimo. Este glaciar y el Agassiz, bordean el lago Onelli.

El Glaciar Perito Moreno presenta una altura de 60 m sobre el nivel del lago y es famoso a nivel internacional por provocar el endicamiento de las aguas del brazo Rico. Cuando este glaciar alcanza la península de Magallanes, la salida de las aguas hacia el canal de los Témpanos queda obstruida hasta que la presión de éstas forma un túnel por debajo del glaciar, cuyo frente se desmorona tiempo después (Valladares, 2004).



Figura 3-21. Imagen del lago Argentino, Glaciar Perito Moreno y cursos principales.

Desde el año 1991 las rupturas del glaciar se registraron para los años 2004, 2006, 2008 y 2012. En el año 2013 ocurrió un endicamiento de duración breve que no llegó a fortalecerse. En la Figura 3-22 se puede observar los aumentos del nivel del brazo previo a la ruptura.

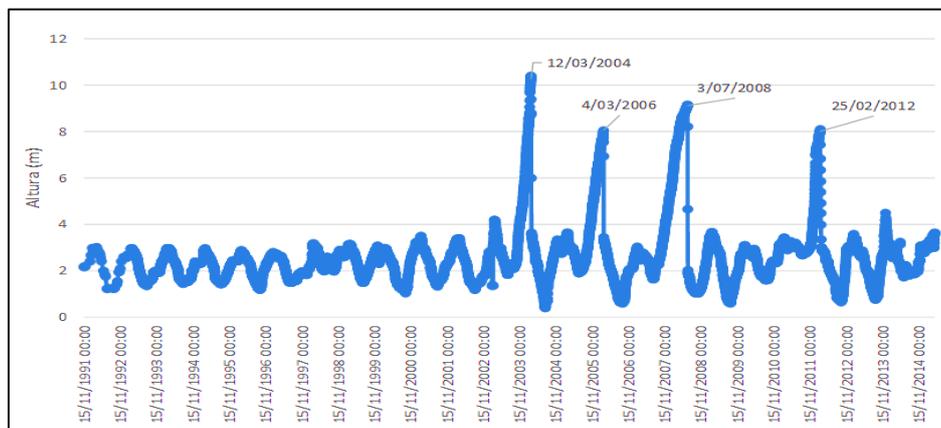


Figura 3-22. Altura del brazo Rico período 9/11/1991-29/04/2015. Estación Parque Nacional Los Glaciares (50° 25' 34,00" S -72° 44' 52,20" O). Los datos fueron tomados de la página de la Subsecretaría de Recursos Hídricos <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmFiltro.aspx>.

Los principales tributarios de brazo Rico son el río Mitre con un módulo medio igual a 4,61 m³/s (1991-2013). (SSRH, 2014), que drena las sierras Cattle y Buenos Aires, y el río Rico, cuyas nacientes se ubican en la sierra de los Baguales.

En la margen norte, el lago Argentino recibe las aguas del arroyo Las Horquetas. Por el sur, hacen su aporte el río Centinela con un módulo de 4,2 m³/s (1991-2013), (SSRH, 2014), emisario del río Cachorros y del arroyo de las Bandurrias, el arroyo Calafate (emisario del arroyo Moyano) y el arroyo de los Perros (Valladares, 2004).

Resulta importante mencionar que los aportes del río Centinela y Mitre responden a un régimen nival, y los caudales máximos anuales instantáneos importantes se desarrollan durante la época de deshielo (Octubre-Noviembre).

Según los datos antecedentes recabados desde enero de 1992 a la actualidad en la estación hidrométrica Lago Argentino – El Calafate la altura media del lago es de 178,2 msnm, siendo el máximo de 180,5 y el mínimo, para este período de 176,92 msnm.

Iturraspe y Sotfíni (2005) informan una mayor variabilidad de los niveles del lago Argentino, identificando una fluctuación entre cotas 184 y 189 msnm, según datos de IECI (1978). En la Figura 3-23 se muestra que la altura del lago varía con un régimen unimodal, presentando los valores más altos en verano, producto de los aportes de deshielo de los glaciares que se encuentran en el Campo de Hielo Patagónico. Los veranos posteriores a la desobstrucción del brazo Rico registran mayores niveles.

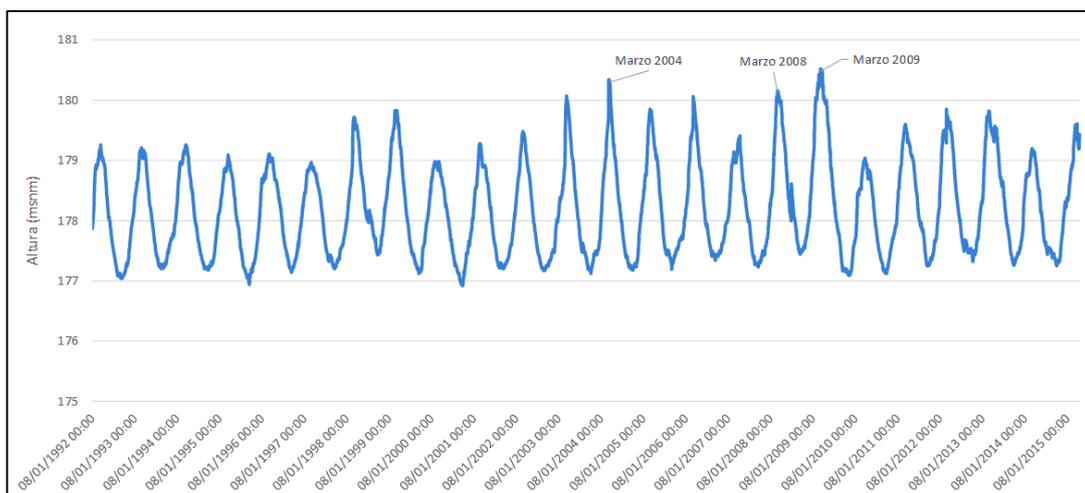


Figura 3-23. Altura del Lago Argentino período 8/01/1992-30/04/2015. Estación El Calafate (50° 19' 12,00"S -72° 15' 39,60"O). Los datos fueron tomados de la página de la Subsecretaría de Recursos Hídricos. <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmFiltro.aspx>. Se consideró la altura de la estación El Calafate informada por SSRH (2014), siendo la misma 175 msnm.

El río Santa Cruz nace del lago Argentino y desemboca en el océano Atlántico luego de recorrer 383 km en dirección hacia el este. Sin embargo, el tramo fluvial es más corto debido a que el régimen de mareas produce una rémora del escurrimiento, generándose un estuario a partir del Km 57,5.

La depresión hidrográfica del río ocupa 28.800 km², aunque la cuenca activa es de 15.200 km², que corresponden a las cuencas de los lagos Argentino y Viedma.

Al igual que el lago Argentino, el río Santa Cruz debe la mayoría de sus aportes al deshielo estacional de los glaciares que provienen del Hielo Patagónico, lo que explica su régimen unimodal, con un período de altas aguas (potamofase) de septiembre a fin de marzo y un período de aguas bajas (limnofase) el resto del año. Estos pulsos anuales (potamofase y limnofase) son relativamente regulares en la serie hidrométrica plurianual, debido a la homogeneidad de la cuenca de aporte y a que el caudal depende principalmente del derretimiento de nieves glaciares, o sea de la diferencia térmica interanual.

Las potamofases son generalmente simétricas, a pesar que en determinado nivel de la curva de creciente, se produce un empuntamiento muy rápido a partir que el río alcanza a 900-1000 m³/s. Estas características señalan que el lago Argentino funciona como un atenuador de los aportes glaciares y que el empuntamiento se produce luego que el nivel del agua supera la barra transversal al flujo, que se encuentra en las nacientes del curso.

Dependiendo de la cota que se tome como nivel de referencia, las potamofases duran generalmente 7-9 meses, variando también de año en año, pudiendo durar más de dos años (ver Figura 3-24, Figura 3-25 y Figura 3-26), dependiendo del clima regional, en el que existen secuencias de años más cálidos, que alternan con períodos de años más fríos.

Esto explica que los pulsos anuales queden comprendidos en ondas más largas (pulsos plurianuales) en los que las crecientes pueden ser más pronunciadas, o las bajantes tener mayor duración. En la Figura 3-24, Figura 3-25 y Figura 3-26, especialmente en el gráfico Figura 3-26 se aprecia una regularidad en el régimen, lo que configura un contexto históricamente predecible para la vida acuática.

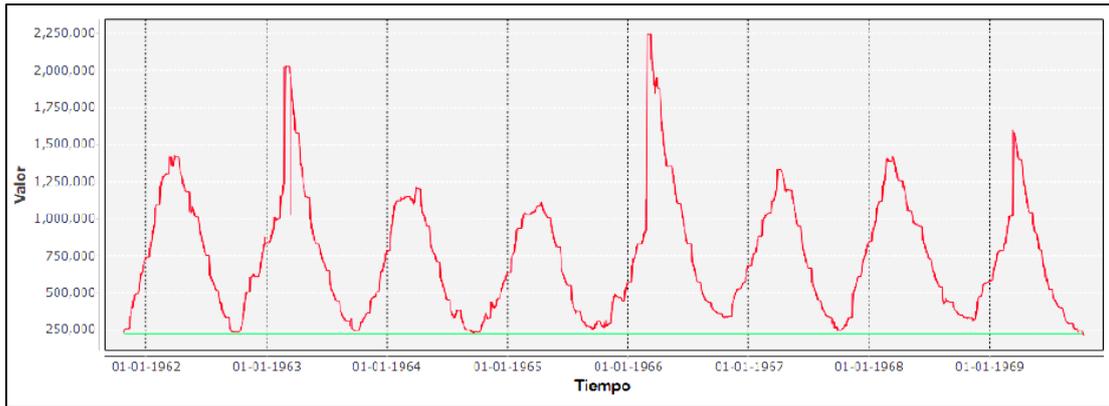


Figura 3-24. Curvas de caudales del río Santa Cruz (lts/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

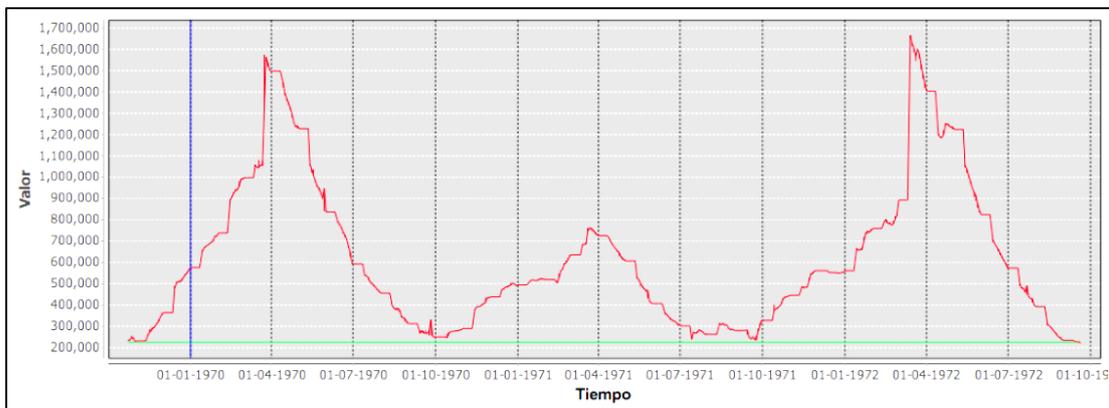


Figura 3-25. Curvas de caudales del río Santa Cruz (lts/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

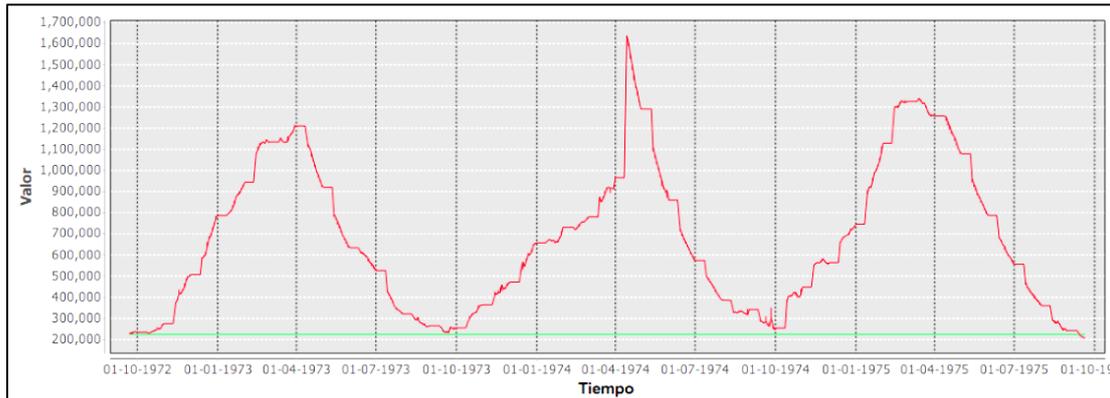


Figura 3-26. Curvas de caudales del río Santa Cruz (Its/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

A partir de los datos antecedentes, se adoptó como nivel de referencia al que corresponde a un caudal de 225 m³/s (línea verde en la Figura 3-24, Figura 3-25 y Figura 3-26).

En la Figura 8.9 se presentan el régimen hidrológico del río Santa Cruz en Charles Fuhr (50° 15' 07.60"S - 71° 54' 28.10"O).

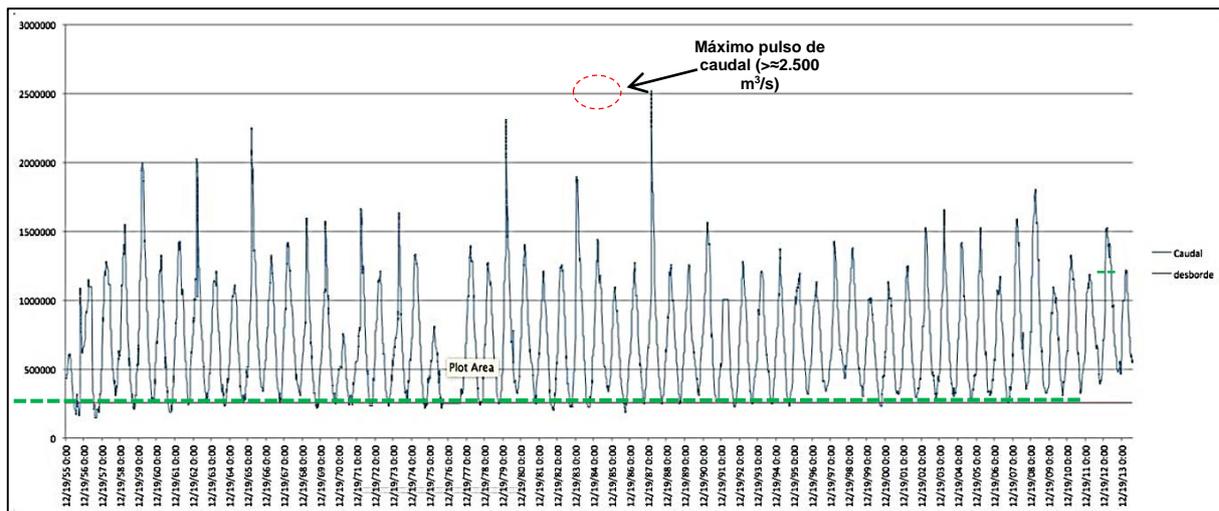


Figura 3-27. Régimen hidrológico del río Santa Cruz en Charles Fuhr (50° 15' 07.60"S - 71° 54' 28.10). Caudales expresados en Its/s. Período: 1955-2014. (Fuente: Serman & asociados s.a., 2015 para Represas Patagonia)

El patrón pulsátil observado en el gráfico se mantiene en todo el tramo superior del río, hasta el kilómetro 57,5, a partir de donde se produce la influencia del régimen de mareas del Atlántico en el estuario. Debido a que el río escurre encajonado en todo el curso, y con pendiente poco variable, el régimen del río Santa Cruz es semejante en todo su tramo fluvial.

Íturraspe y Sotfíní (2005) compararon los caudales diarios medidos por el Servicio Meteorológico Nacional entre 1946 y 1953 en Charles Fuhr y en la Barrancosa (presa JC), observando que en ambas secciones existía una alta concordancia. Los autores observaron una reducción en los picos de crecida en La Barrancosa, producto de la propagación de la onda. El caudal medio presentó una diferencia de 14 m³/s, siendo esto el 1,8% del módulo, magnitud que estaría indicando pérdidas en el tramo por percolación que no pueden ser compensadas por los aportes de los pequeños cursos del tramo intermedio.

3.8 HIDROGEOLOGÍA

El presente capítulo tiene por objeto describir el comportamiento hidrológico subterráneo en base a la información antecedente y a la propia generada durante el relevamiento de campo y del análisis e interpretaciones llevadas a cabo (ver Anexo II – Registro Fotográfico).

Para el análisis del comportamiento hidrogeológico, es necesario mencionar que la cota de 176,5 m IGN fue definida como Nivel de Agua Máximo de Operación Normal (NAON) para el embalse NK, el cual ocupará una superficie aproximada de 243 km². Para el embalse JC, la cota de llenado será de 114 m IGN, la misma fue fijada como NAON y comprenderá un área de aproximadamente 199 km² de extensión.

3.8.1 Acuíferos existentes generalidades

En base a la información extraída del informe denominado “*Estudio de Impacto Ambiental Aprovechamientos Hidroeléctricos del río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz*” (Serman & asociados s.a., 2015 para Represas Patagonia), se identificaron tanto para el área de Cierre NK como JC dos sistemas hidrogeológicos principales los cuales se detallarán a continuación:

- 1) *Acuífero de subálveo*
- 2) *Acuífero de Meseta*

3.8.1.1 **Acuífero de Subálveo**

Estos se desarrollan entre los niveles de terrazas (sector basal) y el lecho del valle activo. Para el caso del río Santa Cruz el acuífero es abastecido por el cauce, presentando un comportamiento influente (río perdedor), ver Figura 3-28– gráfico D.

La recarga del acuífero se realiza a través de las precipitaciones, pero el mayor aporte es cedido por el río Santa Cruz, que presenta un régimen permanente, el cual es sustentado mayoritariamente por la fusión de los glaciares que configuran el Campo de Hielo Patagónico Sur.

Vistos en planta, estos acuíferos poseen forma de faja, en general coincidente con el ancho del piso del valle, más específicamente con su planicie de inundación. Esta faja puede llegar a presentar a su vez un hábito suavemente sinuoso pero con un radio de curvatura mayor que el que está presente en el curso fluvial activo, tal como se observa para el río Santa Cruz.

Los parámetros hidráulicos generales antecedentes para este tipo de acuífero se hallan dentro de los siguientes valores:

- *Transmisividad (T):* 50 a 350 m²/día
- *Permeabilidad (K):* 5 a 30 m/día
- *Coeficiente de almacenamiento (S):* 4 a 1*10⁻²

Este tipo de acuífero también se dispone en el piso de los cañadones y cauces menores que descienden por ambos laterales del valle hasta el río Santa Cruz, aunque de magnitud más reducida.

El basamento hidrogeológico lo constituyen los estratos arcillosos de muy baja permeabilidad de la Formación Santa Cruz. Este contacto, en cortes transversales al rumbo del valle, presenta una sección con forma de catenaria, para el caso del río Santa Cruz, o en V para el caso de los tributarios.

Por su parte, los niveles del acuífero se sitúan en el cuerpo de los depósitos que rellenan el valle, conformado por granulometrías variables, que van desde arenas medianas y finas hasta limos y arcillas, para los cañadones, y gravas gruesas hasta bloques con arenas gruesas, limos y arcillas, para los que se sitúan en el piso del valle del río Santa Cruz.

Para estos acuíferos la cuenca hidrogeológica explotable tiene una directa concordancia con la hídrica (superficial), relación que da lugar a una dependencia morfológica que limita la extensión e importancia del recurso hidrogeológico, ya que el mismo queda condicionado por la morfometría del piso del cañadón o valle y por la potencia del depósito que lo rellena y sus parámetros hidrogeológicos (T, K, S). Para el río Santa Cruz, el relleno clástico en contacto con el Terciario subyacente varía desde los 6 m a aproximadamente los 40 m según el estudio antecedente citado al inicio de este apartado.

3.8.1.2 Acuífero de Meseta

Estos acuíferos se desarrollan en las zonas llanas y de suave pendiente que coronan las mesetas que se localizan en el ámbito del área de estudio. Conforman superficies escalonadas a diversas alturas y que están cubiertas por gravas glaciales y coladas lávicas.

En la zona del cierre proyectado para ambas presas, su existencia está directamente vinculada con la estratigrafía de la zona, que se compone mayormente de una secuencia volcano-clástica de disposición general subhorizontal, la que desde la base al techo exhibe a las sedimentitas de la Formación Santa Cruz, que subyacen a una acumulación de gravas/arenas de probable origen glacial, cubiertas por los Basaltos fracturados (ver Figura 3-28– gráfico A y B).

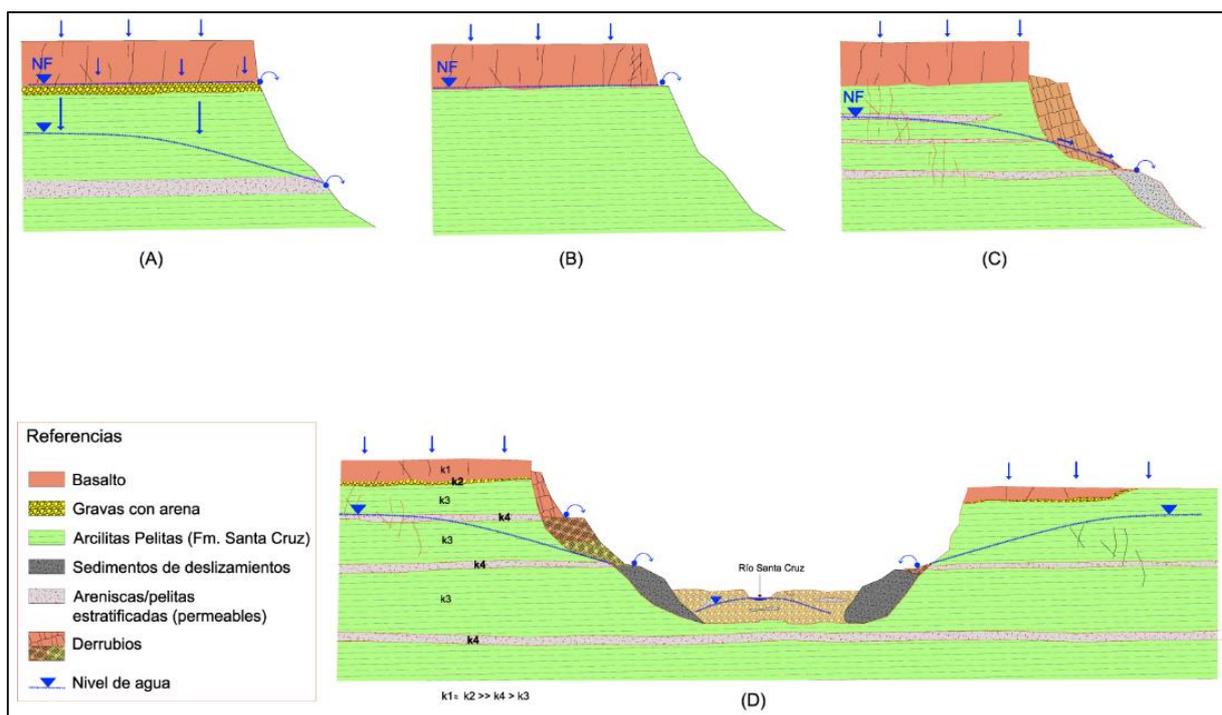


Figura 3-28. Esquema de sistema típico de acuíferos en el área de estudio.

Estos acuíferos se caracterizan por ser un recurso de carácter irregular de distribución anisótropa (areal y en profundidad) ante la variabilidad en sus propiedades hidrogeológicas consecuencia de su litología (alternancia de areniscas y pelitas), grado de consolidación, fracturación y/o lajosidad (ambas propiedades confiriéndole una permeabilidad secundaria). Sumado a ello su recarga se halla muchas veces limitada a la permeabilidad de los sedimentos sobrepuestos (basaltos y/u sedimentos cuaternarios).

La existencia en el área relevada de bloques de grandes dimensiones desplazados a favor de movimientos de remoción en masa del tipo deslizamiento rotacional, y en menor medida expansiones laterales, han dado lugar a una mayor complejidad de este tipo de acuífero, como se detallará a continuación.

La génesis del acuífero de Meseta, se produce a partir de la infiltración del agua proveniente de las precipitaciones que caen sobre la superficie de los basaltos fracturados; estos presentan sistemas de fracturas subverticales generalmente abiertas, que permite el ingreso del agua desde la superficie de las coladas hasta la base de las mismas, donde existe en algunos casos un horizonte de gravas y arenas gruesas. De esta forma el agua se desplaza verticalmente desde la superficie a través del basalto hasta llegar a estratos de granulometría muy permeable (gravas y arenas), generándose un acuífero subsuperficial o colgado local, ver Figura 3-28 A y Anexo II – Registro Fotográfico.

Estas gravas no siempre presentes (Figura 3-28 B y C), están apoyadas sobre las sedimentitas de la Formación Santa Cruz, mediando entre ambas unidades una discordancia erosiva. En función de ello la mayor parte del agua se desplaza lateralmente dentro de las gravas permeables hasta aflorar sobre la superficie de la pendiente en el pedimento de flanco labrado sobre la secuencia clástica de la Formación Santa Cruz o, directamente sobre una escarpa de falla generada por un deslizamiento rotacional, produciéndose manantiales limitados de escasa a relevada importancia y en general de carácter estacional (Figura 3-28 D, y ver Figura 3-29).



Figura 3-29. Manantial que aflorara sobre la superficie de la pendiente.

Si bien la presencia de manantiales se observa a lo largo del recorrido de ambas márgenes del río Santa Cruz, este escenario presenta modificaciones debido a que gran parte de las pendientes presentes en la zona está afectada por movimientos de remoción en masa, los que han dado lugar a alteraciones en el comportamiento esperable.

Por ejemplo, debajo del contacto entre la base de las gravas/arenas y el techo de la Formación Santa Cruz (mayormente de textura arcillosa), se verifica la presencia de varios manantiales que indican la presencia de otros tantos niveles colgados muy locales y más profundos que la posición de la base de las gravas, los que están relacionados a la existencia de bloques que se han desplazado a favor de movimientos del tipo deslizamiento rotacional, creándose una segunda generación de niveles de agua colgados, (ver Figura 3-28 C).

3.8.2 Unidades hidrolíticas

Sobre la base de la caracterización geológica presentada en el punto 3.5, se definieron y clasificaron las unidades hidrogeológicas presentes en cada una de las áreas de estudio (NK y JC). Para proceder al ordenamiento de las unidades mencionadas, fueron especialmente consideradas las propiedades litológicas de cada una de las formaciones geológicas presentes.

Una de las propiedades de mayor importancia al considerar el comportamiento hidráulico y por consiguiente las características hidrogeológicas, es la relacionada al parámetro de la Permeabilidad, expresada por el grado de facilidad que tiene el medio analizado para ser atravesado y transmitir el agua. Por hallarse constituido por rocas y sedimentos de diversas características, cabe aclarar que la permeabilidad aludida puede ser adquirida de dos formas, en primer término, durante la etapa de génesis y en los primeros estadios de formación litológica, el pasaje de fluido se produce a través de los canalículos originados entre las partículas o sedimentos, comportándose el medio como un sistema poroso en el que el fluido transcurre entre los clastos y por ende, a esta permeabilidad se la denomina primaria.

Ya en la etapa de consolidación, una vez formadas las rocas, debido a posteriores fenómenos epigénicos tales como diaclasas, fallas, grietas o canales de disolución, se genera la denominada permeabilidad secundaria, en virtud que se crea sobre un medio existente ya consolidado, de modo secundario.

Por lo expuesto, se resume que en el primer caso (Permeabilidad primaria) la circulación se realiza en un medio poroso y en el segundo (Permeabilidad secundaria) en un medio de fisuras.

Para establecer un único vocabulario sobre la terminología utilizada para describir el comportamiento hidrogeológico (hidráulico) de las unidades mencionadas, se agruparán a las rocas y materiales del área en: acuíferas, aquellas capaces de recibir, alojar y transmitir agua con facilidad; acuicludas, los medios que reciben, alojan pero no transmiten agua; acuitardas, en sedimentos que transmiten agua bajo determinadas condiciones y acuífugas, medios que no alojan ni transmiten agua.

Otro aspecto a considerar es la distribución espacial de las propiedades hidráulicas antes mencionadas, entendiéndose como medio isótropo aquel en el que las propiedades físicas no varían según la dirección y anisótropo los medios en los que presentan una dirección preferencial. Si la característica analizada se repite regionalmente se considera al medio homogéneo, en cambio si se presenta una alternancia en las condiciones se lo considera heterogéneo.

A partir de la metodología planteada se efectuó la clasificación de las unidades geológicas en hidrogeológicas (hidroestratigráfica) que fueron definidas para el área de estudio en general.

En la Tabla 3-6 se sintetiza el comportamiento de las unidades geológicas e hidrogeológicas.

Tabla 3-6. Litologías y comportamiento hidrogeológicos en el área de estudio.

PERÍODO	ÉPOCA	LITOLOGÍA	COMPRTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	TIPO DE ACUÍFERO		
CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos coluviales	Acuífero	Primario		
		Depósitos de llanura aluvial				
		Depósitos de terraza aluvial				
		Depósitos de remoción en masa				
		Depósitos eólicos				
	Depósitos lacustres	Acuitardo/Acuífero pobre	Primario			
	PLEISTOCENO			Morenas El Tranquilo (ET) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glacioluviales y glaciolacustres		
				Morenas Arroyo Verde (AV) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glacioluviales y glaciolacustres		
				Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glacioluviales		
				Morenas Estancia La Fructuosa (ELF) y sus depósitos de gravas y arenas glacioluviales		
	Coladas de Basaltos pleistocenas			Acuífero/Acuífugo	Secundario	
	PLIOCENO - MIOCENO sup.			Coladas de Basaltos pliocenas	Acuífero/Acuífugo	Secundario
				Terraza San Fernando y sus gravas y arenas glacioluviales	Acuífero / Acuitardo	Primario
				Terraza La Australasia y sus gravas y arenas glacioluviales		
Morenas Pampa Alta y sus depósitos de gravas y arenas glacioluviales						
Terraza Cerro Cuadrado y sus gravas y arenas glacioluviales						
TERCIARIO	MIOCENO	Fm Santa Cruz	Acuitardo/Acuícludo/Acuífero pobre	Primario/Secundario		
	MIOCENO-EOCENO	Fm 25 de Mayo	Acuitardo/Acuícludo/Acuífero pobre	Primario/Secundario		

Particularmente, los depósitos Holocenos formarían un acuífero primario, conformado predominantemente por litologías compuesta por gravas y arenas de porosidad elevada. En cuanto a las litologías Pleistocenas, compuestas mayormente por morenas de origen glaciario, serían formadores de acuitardos y acuíferos pobres debido a la presencia de granulometría fina que presentan en la matriz (arcillas y limos).

Las coladas de basaltos (Pleistocena y Pliocena-Miocena) serían formadores de acuíferos de origen secundario, debido a la presencia de diaclasas y fracturas que permitirían el ingreso y circulación del agua. En caso de no presentar fisuras o las mismas encontrarse rellenas, se comportarían como acuífugos.

Los depósitos correspondientes a la época Pliocena-Miocena superior, formarían acuíferos primarios y en el caso de las morenas Pampa Alta posibles acuitardos.

La Fm. Santa Cruz y 25 de Mayo correspondiente al período Terciario, se comportarían como acuitardos debido a que cederían agua con cierta dificultad o Acuícludos en caso de encontrarse la fracción arcillosa compactada por acción glaciario. De todos modos, si las pelitas presentaran planos de debilidad que permitan la interconexión entre fracturas y circulación del agua (permeabilidad secundaria), no debe descartarse un comportamiento como acuífero pobre.

En general, los depósitos correspondientes al Holoceno y Pleistoceno conformarían la mayor parte del **acuífero de subálveo**, mientras que las litologías Pliocenas – Miocenas formarían el sistema hidrogeológico denominado **acuíferos de meseta**, y las litología del período Terciario (Fm. Santa Cruz y 25 de Mayo) se comportarían como hidroapoyo, debido a su baja permeabilidad.

3.8.3 Parámetros hidrogeológicos

Sobre la base de las características hidrogeológicas del subsuelo definidas en el punto 3.8.2, se analizaron los estudios y ensayos hidráulicos antecedentes ejecutados particularmente en las áreas NK y JC para el estudio geotécnico, los cuales se efectuaron en diferentes litologías, y permiten alcanzar un mayor conocimiento de los sectores de estudio.

Dichos parámetros, se corresponden con valores de permeabilidad (K) obtenida a partir de ensayos Lugeon, los cuales resultan importantes en la estimación de los fenómenos hidrodinámicos como así también para la fundación de las presas.

Los ensayos Lugeon se realizan en el interior de los sondeos y permiten calcular semi-cuantitativamente la permeabilidad de los macizos rocosos, de cualquier tipo de litología y estado de fracturación (ver Figura 3-30).

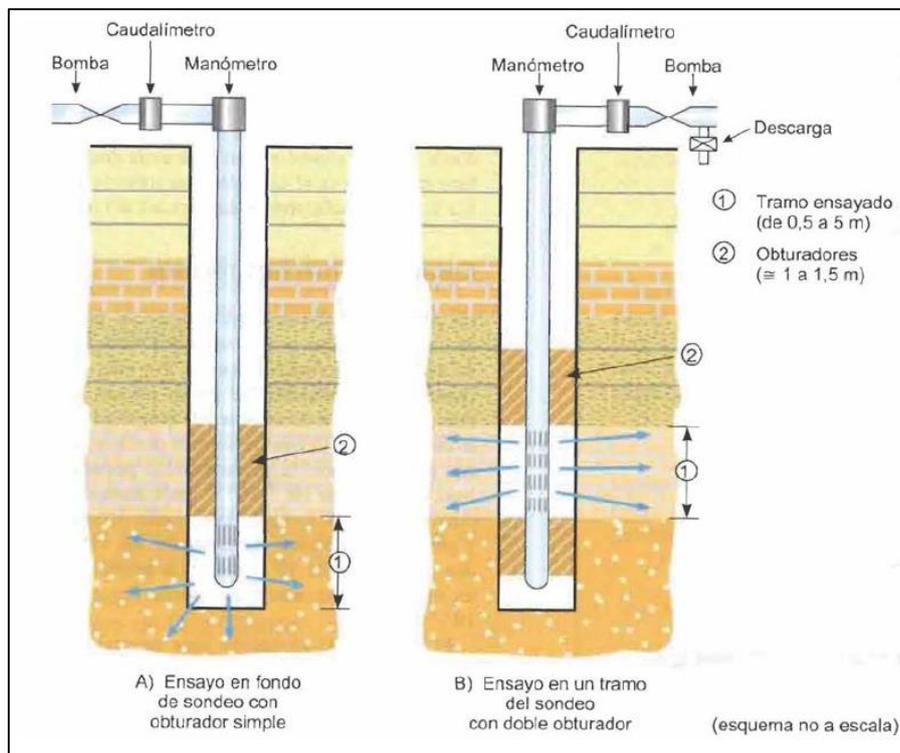


Figura 3-30. Esquema de ensayo de tipo Lugeon en un sondeo con uno o dos obturadores (González de Vallejo, et al., 2002, modif.).

El proceso de ensayo consiste en inyectar agua en el sondeo a presión constante (normalmente a 10 kp/cm²), midiendo las admisiones durante un período de 10 minutos. Normalmente se ensayan tramos de 5 m de sondeo, aislando el tramo del ensayo del resto del sondeo mediante obturadores.

La presión se aplica en escalones sucesivos de carga y descarga, manteniendo la presión en cada escalón durante 10 minutos. Siempre se tiene que llegar a 1 Kpa = 10 kp/cm² excepto en las rocas más blandas, donde se puede producir fisuración hidráulica antes de alcanzar esta presión.

La unidad de medida del ensayo es el Lugeon "UL", que corresponde a la absorción de 1 litro de agua por metro de sondeo y por minuto, realizando el ensayo a 10 atmósferas de presión durante 10 minutos. Una unidad Lugeon equivale a un Coeficiente de Permeabilidad de 10⁻⁵ cm/s para un sondeo de diámetro medio (U.L.=1 L/m*min = 10⁻⁵ cm/s). El resultado de la prueba se presenta en función de la profundidad, en unidades Lugeon o admisión en L/m*min en función de la presión ensayada (ver Tabla 3-7).

Tabla 3-7. Relación de la permeabilidad de un macizo a diversas presiones de inyección, con el valor obtenido del ensayo Lugeon (Olalla y Sopena, 1991, en González de Vallejo et al., 2002).

Tipo de roca	Valor en U.L
Impermeable	0-1
Poco permeable	1-3
Permeable	>3
	1.5 a 6
Muy Permeable	>3
	>6

Riesgo de la realización de ensayos de inyección de agua en la zona no saturada.

En los casos en que se tenga que determinar la permeabilidad in situ de la zona no saturada (como es el caso de muchos ensayos realizados en el presente área de trabajo), se tendrá que saturar previamente la formación a ensayar con agua (inyectando agua hasta llegar un estado semi estacionario donde se pueda realizar el ensayo), ya que todas las interpretaciones de ensayos hidráulicos en sondeos parten de la hipótesis de que el medio está saturado.

Si no se realiza de este modo, gran parte del agua inyectada servirá sólo para saturar el medio y podría inducir a interpretaciones erróneas de los resultados, ya que se podría considerar como curva de ascensos/descensos una simple variación de niveles en el sondeo como respuesta a la saturación.

Por otro lado, las técnicas convencionales de ensayo y análisis de curvas parten de la base de que la formación está saturada. Los ensayos que se podrán hacer en estas condiciones son del tipo pulso e inyección a nivel constante. Para la caracterización se pueden utilizar sondeos cortos que no lleguen al nivel freático para no mezclar tramos saturados con tramos que se quieran saturar y para que los resultados sean lo más representativos posibles.

Si sólo se dispone de un sondeo largo sin entubar, se pueden individualizar tramos con obturadores. El procedimiento a seguir se resume en:

- Seleccionar los intervalos de sondeo que se quieran ensayar.
- Aislar el tramo que se quiera ensayar con 2 obturadores, si es en un sondeo largo, y con 1 obturador si es en el final de un sondeo corto.
- Empezar a inyectar agua con la precaución de no crear burbujas de aire que queden atrapadas dentro de la formación.
- Mantener constante el caudal de inyección de agua hasta que el nivel se mantenga más o menos estable.
- Detener la inyección de agua y medir la recuperación de los niveles respecto al tiempo.

La interpretación se realiza con los medios convencionales ya que, conceptualmente, se trata de un ensayo de inyección (bombeo con el signo cambiado) y recuperación.

A continuación se describen las pruebas hidráulicas antecedentes realizadas en cada sector.

3.8.3.1 Área NK

Se realizaron pruebas hidráulicas de tipo Lugeon en pozos de exploración geotécnica, ubicados a lo largo del cierre de la presa NK. Seguidamente se presenta una gráfica con los resultados de la interpretación.

A partir del informe denominado “*Recopilación ensayos Lugeon Presa N. Kirchner*” realizado con fecha 24/09/2015, se analizó un croquis existente de la ubicación de los tramos ensayados con su respectiva profundidad expresada en cota IGN, considerando un sistema de progresivas desde margen izquierda a margen derecha, e indicando en cada punto el valor de la UL (ver Figura 3-31). En la misma se muestra el perfil de terreno natural, presentándose en círculos color azul los valores de ensayos antecedentes y como círculos amarillos los más actuales.

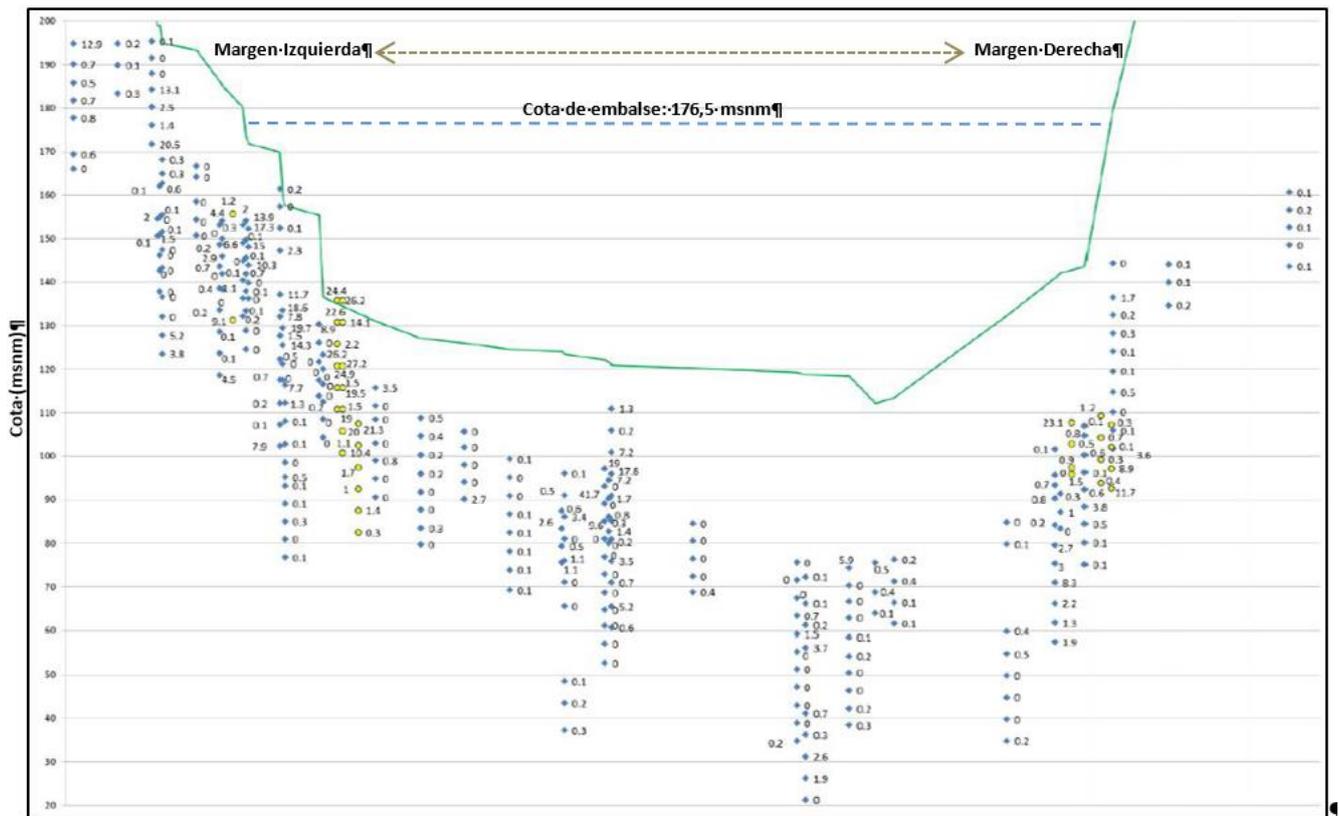


Figura 3-31. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon ejecutados en el sector de cierre de la futura presa NK.

En la Figura 3-32 se muestra el mismo croquis pero se representan únicamente los ensayos que arrojaron valores mayores a 5 UL ($K \approx 0,04$ m/d), con la finalidad de evidenciar las zonas permeables y que podrían ser más desfavorables.

Asimismo, sobre el mismo gráfico se presentan en círculos punteados color rojo, las zonas donde los ensayos Lugeon arrojaron valores iguales o mayores a 20 UL ($K \approx 0,01$ m/d), la cual según la clasificación de Custodio y Llamas (1983), se correspondería con litologías permeables atribuibles a arenas finas o mezcla de arenas y limos.

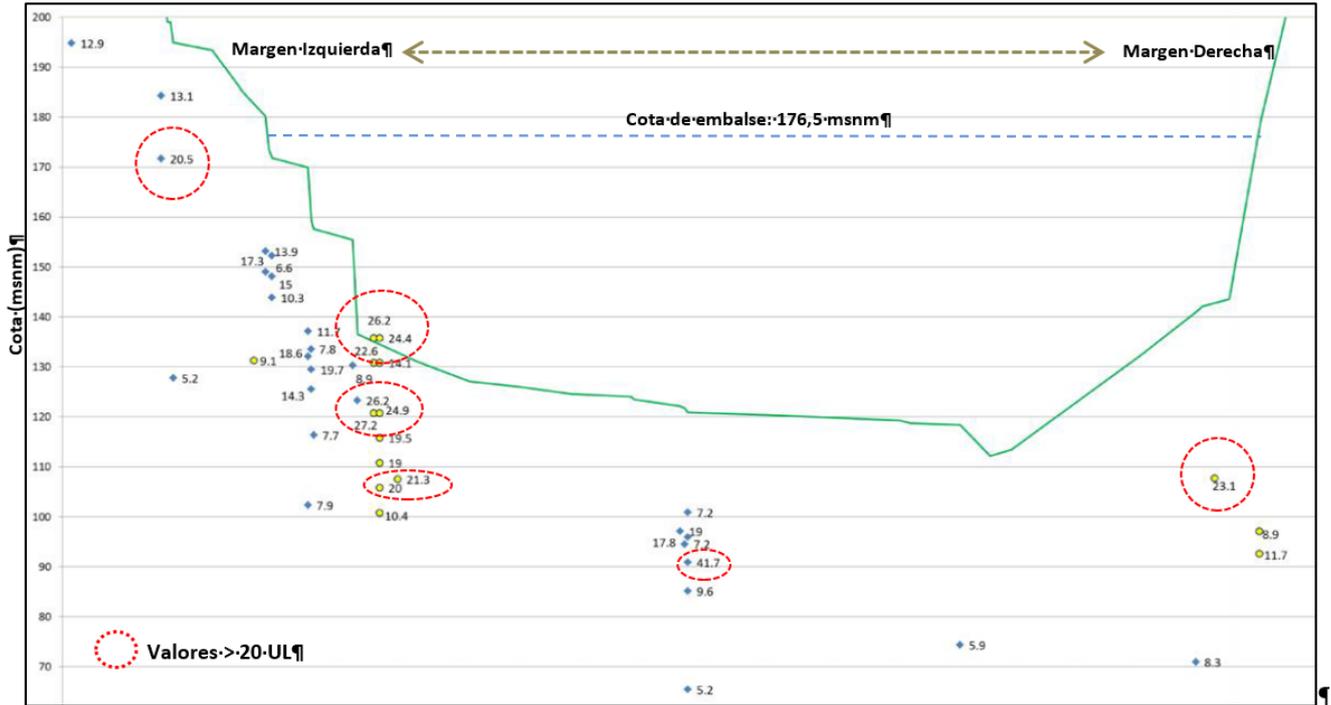


Figura 3-32. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon en eje NK, cuyos valores son mayores a 5 UL.

Como se puede apreciar en la figura anterior, las mayores permeabilidades se observan en el margen izquierdo, más precisamente entre las cotas 175 y 100 msnm, y en casos puntuales distribuidos en el sector central y margen derecho del valle donde se realizará el cierre, ver Anexo II – Registro Fotográfico.

3.8.3.2 Área JC

Se realizaron pruebas hidráulicas de tipo Lefranc y Lugeon en pozos de exploración geotécnica, ubicados a lo largo del cierre de la presa JC. Seguidamente se presenta una descripción de los ensayos realizados y los resultados de la interpretación.

Al igual que para el área NK, para el área de JC se analizó un croquis antecedente correspondiente al informe denominado “*Recopilación ensayos Lugeon Presa J. Cepernic*” realizado con fecha 24/09/2015, donde se muestra la ubicación de los tramos ensayados con su respectiva profundidad expresada en cota IGN, considerando un sistema de progresivas desde margen izquierda a margen derecha, e indicando en cada punto el valor de la UL (ver **Figura 3-33**). En esta gráfica se muestra el perfil de terreno natural, presentándose en círculos color azul los valores de ensayos antecedentes y en círculos amarillos los más actuales.

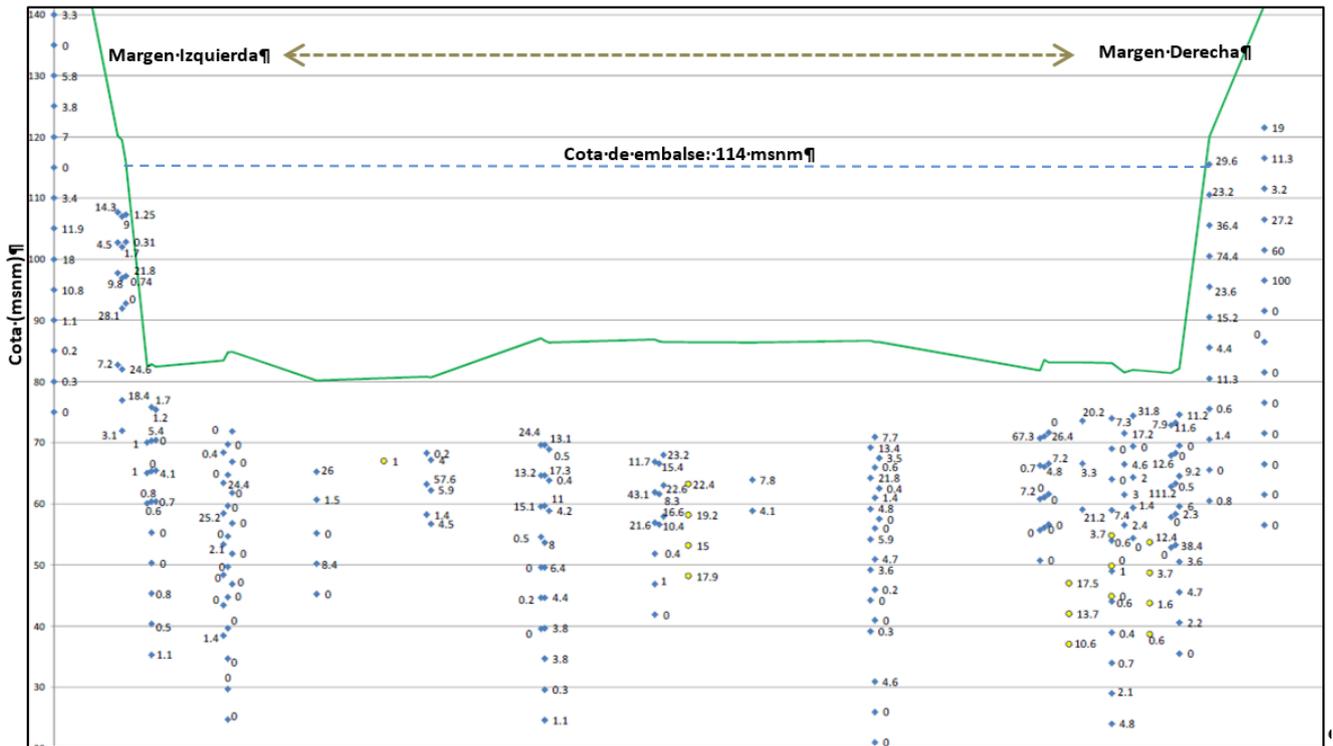


Figura 3-33. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon ejecutados en el sector de cierre de la futura presa JC.

En la Figura 3-34 se muestra el croquis idéntico, con el mismo análisis realizado para el área NK, con la finalidad de evidenciar las zonas permeables y que podrían ser más desfavorables hidráulicamente.

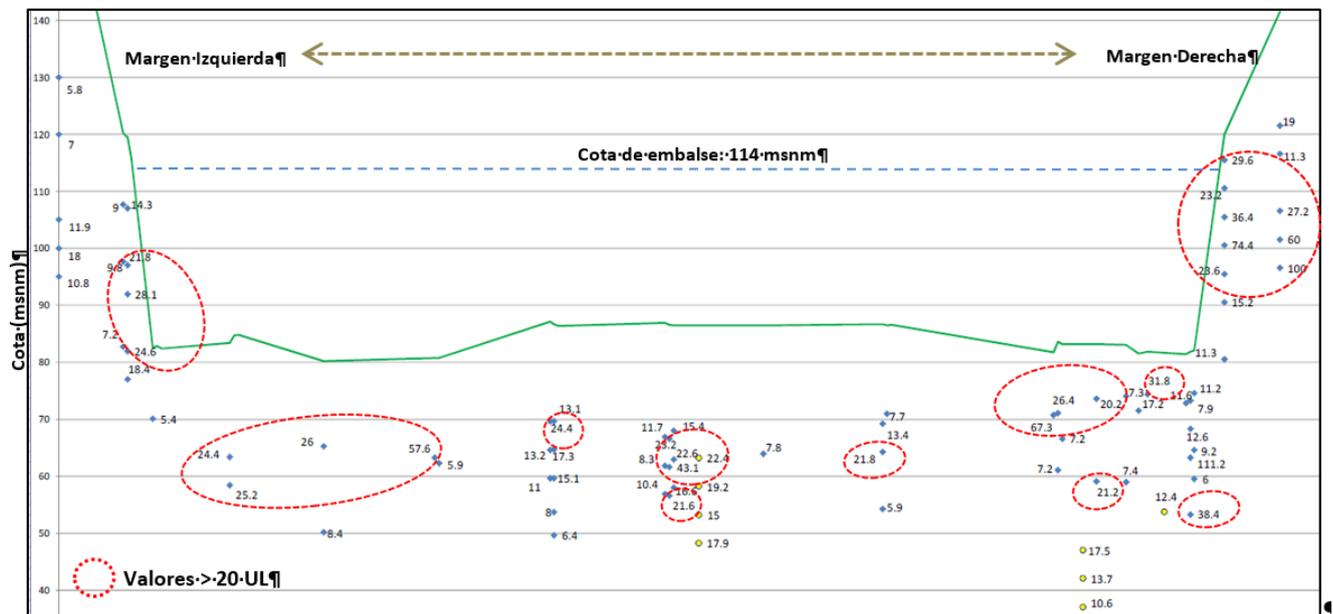


Figura 3-34. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon en eje JC, cuyos valores son mayores a 5 UL.

Se puede valorar que las mayores permeabilidades se observan a lo largo de todo el perfil, entre las cotas 115 y 50 msnm, evidenciándose las de mayor magnitud preferentemente en el sector de la margen derecha del valle donde se realizará el cierre.

A modo de síntesis, tanto para el sector NK como para JC, no se puede establecer una relación directa entre las UL y la litología ensayada, ni establecer una correlación en los perfiles, debido a la discontinuidad de los valores analizados a lo largo de los cierres.

3.8.4 Hidrodinámica subterránea

Según se presenta en el punto 3.8, se distinguen dentro del área de estudio dos tipos de flujos subterráneos: el que transcurre en el medio poroso y el que corresponde al medio de fisuras. Por lo anteriormente expresado, el análisis de la hidrodinámica subterránea se centra en el medio poroso (preferentemente en limos, arenas y gravas) y fisurado (basaltos, pelitas o areniscas con planos de estratificación y/o fracturadas), en este último, a diferencia de los acuíferos en medios porosos, el movimiento del agua se conduce según planos de fisuras preferenciales que normalmente se encuentran formando juegos de fracturas a escala local.

En base a lo apreciado en campo, tanto el grado de interconexión como la densidad en la fracturación poseen importantes variaciones en sentido vertical y horizontal, hecho reflejado por la disparidad entre los caudales y las diferencias en los niveles hidráulicos observados de los diferentes cursos y manantiales relevados (vertientes y mallines).

En particular para el Proyecto, se han considerado en conjunto las áreas NK y JC, debido a la similitud que presentan en cuanto a las Fm. geológicas y unidades geomorfológicas, y se realizó una interpretación de información antecedente, relevamientos de pozos (molinos, geotécnicos), y manantiales en ambas márgenes del río Santa Cruz, (ver Figura 3-35 a Figura 3-38 y Anexo II – Registro Fotográfico). Con tal fin se llevó a cabo un relevamiento de campo detallado de las manifestaciones de agua del área que permitieron organizar una base de datos que se adjunta en las tablas más abajo descriptas y se muestran en el Mapa 2a y b correspondiente al Anexo III (Mapas).

La información antecedente disponible a escala regional proveniente de estudios específicos y relevamientos de campo realizados, no permiten establecer las características detalladas del flujo subterráneo, recurriéndose en esta oportunidad a la comparación con otras áreas cercanas de similares características geológicas e hidrogeológicas, debido a la insuficiente información hidrogeológica de los acuíferos existentes (falta de pozos hidrogeológicos, escasez de pozos representativos, pozos de estudio derrumbados o cegados, escasos molinos en la zona, etc.).

En este sentido, se destaca la información obtenida de otras áreas evaluadas (proyectos mineros y/o petroleros próximos al área de estudio, en los que se reconocen acuíferos porosos y fisurados de características confinadas y/o semiconfinadas que se comportan como una unidad de extensión regional con zona de recarga alóctona al oeste y zona de descarga regional en el Océano Atlántico.

En función de lo descripto en el punto 3.8 para el caso de los **Acuífero de subálveo** se asume que el sentido de flujo es regionalmente al este, coincidiendo con la topografía general de la planicie aluvial siendo el mismo subparalelo al escurrimiento superficial del río Santa Cruz. Sin embargo debería llevarse a cabo un estudio más detallado con perforaciones que intercepten el acuífero libre para establecer la dinámica del agua subterránea, obtención de gradientes, velocidad efectiva, etc., que permitan inferir posibles alteraciones locales consecuencia de aportes laterales (desde los acuíferos de meseta y/o arroyos o vertientes) o variaciones de los parámetros hidrogeológicos (K, T, S) consecuencia de diferentes en la litologías del subálveo.

Respecto a los **Acuífero de Meseta** (basaltos, gravas y arenas y/o sedimentos-rocas Tc), se infiere un flujo subterráneo desde las divisorias de cuencas hacia el valle del río Santa Cruz (para la margen izquierda de NNO a SSE y para la margen derecha de SSO al NNE) con descargas locales en los pedimentos al pie de los barrancos (base de basaltos y/o contacto con gravas y/o areniscas/pelitas Tc.), o bien directamente en el acuífero de subálveo. Sin embargo no debe descartarse para el acuífero Terciario profundo, un sentido de flujo con una componente regional oeste - este según la topografía del área bajo análisis.



Figura 3-35. Medición de profundidad del nivel de agua en Molinos de Estancias.



Figura 3-36. Medición de profundidad del nivel de agua en pozos geotécnicos existentes.



Figura 3-37. Relevamiento de pozos geotécnicos con agua en margen izquierda de JC.



Figura 3-38. Ingreso al interior del pique existente en NK, con agua en su interior.

3.8.5 Hidroquímica

Los datos fisicoquímicos de aguas subterráneas y superficiales medidos in situ se corresponden a los parámetros: pH, Conductividad Eléctrica (CE) y Temperatura (T°) ver Figura 3-39 a Figura 3-41 y Anexo II – Registro Fotográfico. En el Mapa 2a y b del Anexo III, se expone la ubicación general de todos los puntos muestreados y las condiciones de los parámetros medidos según la siguiente clasificación.



Figura 3-39. Medición de parámetros in situ: pH, CE y T° en mallín.



Figura 3-40. Medición de parámetros in situ: pH, CE y T° en curso del cañadón El Mosquito.



Figura 3-41. Toma de muestras de pozos mediante bailer, para medición de parámetros in situ.

Para el pH se identificaron con colores los siguientes rangos:

- Celeste, entre 6,5 y 8,5.
- Rojo, menor a 6,5 o mayor a 8,5.

El límite fijado entre 6,5 y 8,5 se definió a partir de los niveles establecidos por el Código Alimentario Nacional - Artículo 982 Resolución Conjunta y a partir de la Ley 24.585 de Impacto ambiental de la actividad minera, definida para Fuentes de Agua para Bebida Humana, Bebida de Ganado e Irrigación, ver Anexo III – Mapa 3.

Para la CE se identificaron con colores los siguientes rangos:

- Celeste, hasta 1,5 mS/cm
- Rojo, más de 1,5 mS/cm

El límite fijado equivale aproximadamente a la concentración salina máxima (1.000 mg/l en TDS) definida por la Ley 24.585 en su Anexo IV - Niveles Guía de Calidad de Agua-para: Fuentes de Agua para Bebida Humana, Bebida de Ganado e Irrigación, ver Anexo III – Mapa 4.

Para la Temperatura no se fijó ninguna coloración en especial, ni se llevó a cabo la elaboración de un mapa específico, debido a la falta de regulación, ya que se trata de un parámetro que para los objetivos planteados no permite un análisis cuantificable.

En los siguientes sub-ítems se discriminarán los muestreos, según se correspondan con aguas tomadas de:

- Pozos existentes,
- Mallines/vertientes
- Cursos de agua superficiales (río, lagos).

Previo a la presentación de los resultados es válido mencionar la diferencia entre mallín y vertiente para evitar confusiones.

El término **Mallín** hace referencia a humedales con densidad vegetal, cuya génesis está asociada a la presencia de agua cerca de la superficie del suelo. Se trata de ecosistemas patagónicos azonales, generalmente de escasas dimensiones, compuestos por especies vegetales específicas. Poseen una distribución espacial dispersa que responde a factores topográficos, geomorfológicos, hidrológicos e hidrogeológicos particulares, constituyendo un valioso recurso natural en el espacio patagónico.

En el presente informe, **Vertiente** hace referencia al escurrimiento de agua subterránea que intercepta la topografía y escurre por desnivel por la superficie del terreno. La misma es originada por un mallín de elevados caudales o nacientes al pie de los basaltos fracturados.

3.8.5.1 Pozos existentes (geotécnicos - abastecimiento de agua y/o perforaciones de estudio)

➤ Área NK

En la Tabla 3-8 se presentan los resultados de los parámetros in situ correspondientes al pH, CE y T° de agua de pozos relevados por Hidroar S.A., donde se aprecia que casi la totalidad de los mismos se hallaban derrumbados o cegados y únicamente se pudieron obtener tres valores representativos, entre los cuales se halla el pique NK ubicado sobre la margen izquierda en el sector del cierre.

Tabla 3-8. Pozos relevados por Hidroar S.A. sector NK.

Tipo	Nº Identificación en mapa	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	CE (mS/cm)	pH	T(°C)	NE (mbbp)	Fondo de pozo (mbbp)	Observaciones	Sector-Margen	Fecha relevamiento
Pozo geotécnico	44	50,2145	70,7859	134	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	43	50,2151	70,7862	144	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo cegado	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	46	50,2153	70,7857	141	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	40	50,2172	70,7869	233	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo cegado	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	37	50,2165	70,7883	233	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	41	50,2167	70,7867	216	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	47	50,2166	70,7851	134	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	38	50,2155	70,788	167	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	42	50,2157	70,7864	157	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	39	50,215	70,7875	151	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo geotécnico	51	50,2174	70,7515	117	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-D	25/10/2016
Pozo con agua	18	50,2947	70,9187	382	0,89	8,2	12,8	s/d	s/d	Se traba la sonda al bajarla, no se pudo medir nivel.	NK-D	25/10/2016
Pozo con agua	3	50,1922	71,3407	212	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Afloramiento de Fm. 25 de Mayo en Cañadón El Mosquito.	NK-I	26/10/2016
Pozo con agua	51	50,2025	70,7764	186	0,564	8,4	11,4	52,0	53,7	En el tercer descanso de arriba para abajo hay filtraciones de agua. El principal aporte de agua viene de arenas del fondo del pozo.	NK-I	26/10/2016
Pozo geotécnico	49	50,2007	70,7801	207	s/d	s/d	s/d	s/d	60	Pozo seco/derrumbado.	NK-I	26/10/2016
Pozo geotécnico	50	50,2039	70,7787	126	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Sin observaciones	NK-I	26/10/2016
Molino	31	50,2628	70,797	342	0,296	8,3	9,5	6,82	e/ 50 y 60	BP: 0,20 msnt. Situado en la Ea.	NK-D	28/10/2016
Pozo geotécnico	53	50,2155	70,7508	122	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	NK-I	01/12/2016

El agua presenta CE media baja (0,58 mS/cm), pH alcalino (8,3) y T° media igual a 11,2 °C, ver Mapa 3 y 4 (Anexo III).

➤ Área JC

Los puntos identificados en el Tabla 3-9 como N° 94a, 104, 104bis, 105, 105bis presentan elevada CE y pH atribuible a restos de fluidos (aditivos) de perforación que elevan estos parámetros.

Tabla 3-9. Pozos relevados por Hidroar S.A. sector JC.

Tipo	Nº Identificación en mapa	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	CE (mS/cm)	pH	T (°C)	NE (mbbp)	Fondo de pozo (mbbp)	Observaciones	Sector-Margen	Fecha relevamiento
Pozo con agua	108	50,201	70,1128	86	1,39	8,2	11,6	4,08	4,65	BP: 0,52 msnt. Abundante sedimento fino en fondo, que podría causar aumento de la CE.	JC-D	27/10/2016
Pozo con agua	109	50,2018	70,1117	94	1,085	8,5	14,7	11,9	>40	BP a nivel del suelo. Antes de medir el nivel se sacó 1/4 de bailer.	JC-D	27/10/2016
Pozo con agua	110	50,2012	70,1121	82	s/d	s/d	s/d	3,08	3,5	BP: 1,02 msnt.	JC-D	27/10/2016
Pozo con agua	105a	50,1971	70,117	85	16,54	12	12	16,89	17,4	BP: 0,74 msnt. Agua turbia, CE y pH elevados, probablemente por fluido de perforación.	JC-D	27/10/2016
Pozo con agua	105b	50,1971	70,117	85	4,28	8,9	11	14,89	16,4	BP: 0,915 msnt.	JC-D	27/10/2016
Pozo geotécnico	97	50,1807	70,1272	117	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	27/10/2016
Pozo geotécnico	104	50,1905	70,1221	81	40,2	12	16	19,12	19,5	BP: 0,93 msnt. CE y pH elevados, probablemente por fluido de perforación.	JC-D	27/10/2016
Pozo geotécnico	104 bis	50,1905	70,1221	81	10,98	12	12,9	15,54	19,48	BP: 0,93 msnt. CE y pH elevados, probablemente por fluido de perforación	JC-D	27/10/2016
Pozo hidrogeológico	70	50,2807	70,1591	156	1,62	8,7	12	7,53	>40	BP: 0,40 msnt. No se utiliza como pozo de abastecimiento porque se seca rápidamente al bombearlo.	JC-D	27/10/2016
Pozo geotécnico	86	50,1837	70,1284	83	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	98	50,1806	70,1272	119	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado, realizado por agua y energía.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	96	50,1808	70,1275	115	0,912	9,2	10,9	28,78	s/d	BP: 0,42 msnt. El bailer salio con 60 cm de agua aproximadamente.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	92	50,1812	70,1285	121	s/d	s/d	s/d	s/d	9,4	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	88	50,1814	70,1298	118	s/d	s/d	s/d	s/d	9,21	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	87	50,1824	70,1291	75	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	94a	50,183	70,127	80,2?	6,17	7,9	10,9	12,13	13,62	BP: 0,54 msnt. El agua presenta olor a podrido.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	94b	50,183	70,1269	84,71?	0,198	8,6	15,7	1,27	13,2	BP: 0,51 msnt. Se ubica al lado del pozo BC-1, presenta muy poco olor a podrido.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	93	50,182	70,1278	69	s/d	s/d	s/d	s/d	1,1	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	99	50,1818	70,1266	79	s/d	s/d	s/d	s/d	0,46	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	95	50,1818	70,125	84,4	s/d	s/d	s/d	s/d	1,76	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	100	50,1832	70,125	85	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo derrumbado. Construido por agua y energía.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	101	50,1821	70,1238	88	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	102	50,1834	70,1232	85	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	103	50,1836	70,1214	87	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	89	50,1797	70,1297	170	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	Pozo seco/derrumbado.	JC-I	02/12/2016
Pozo geotécnico	112	50,1978	70,0923	80	0,095	8	11,5	3,4	3,76	El pozo no presenta brocal, pero si agua en su interior.	JC-D	04/12/2016

El resto de puntos muestreados presenta CE media baja (0,88 mS/cm), pH alcalino (8,5) y T° media igual a 12,7 °C, ver Mapa 3 y 4 (Anexo III).

3.8.5.2 Mallines/vertientes

Se procedió al muestreo de mallines y vertientes, distribuidos espacialmente en ambas márgenes del río Santa Cruz.

➤ Área NK

En el Tabla 3-10, se exponen los manantiales relevados, presentando valores medios del agua con CE baja (0,44 mS/cm), pH medio levemente alcalino (8,1) y T° media igual a 12,7 °C.

Tabla 3-10. Mallines/vertientes relevados por Hidroar S.A. sector NK.

Tipo	Nº Identificación en mapa	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	CE (mS/cm)	pH	T (°C)	Observaciones	Sector-Margen	Fecha relevamiento
Mallín	14	50,2974	70,9234	360	0,327	8,5	10,2	Mallín con Tajamar en campamento NK	NK-D	25/10/2016
Mallín	13	50,2977	70,9239	365	0,325	8,5	10	Naciente de mallín cerca a campamento NK	NK-D	25/10/2016
Mallín	15	50,2967	70,9227	357	0,328	8,5	10,4	Aforo de caudal Mallín situado aguas arriba del campamento NK, Q≈ 0,85 m ³ /h.	NK-D	25/10/2016
Mallín	35	50,2638	70,7516	266	1,03	7,7	16,8	Mallín cercano a villa NK. El agua escurre a muy baja velocidad. En 2015 había mucha mas agua.	NK-D	25/10/2016
Mallín	34	50,2649	70,7518	284	0,395	8	13	Mallín cercano a villa NK. En 2015 había mas agua.	NK-D	25/10/2016
Mallín	33	50,2656	70,7531	288	0,948	7,6	16,1	Mallín cercano a villa NK.	NK-D	25/10/2016
Mallín	8	50,2829	71,1182	403	1,09	7,4	18,1	El agua medida tenia sedimento, por lo que la conductividad no es confiable.	NK-D	25/10/2016
Mallín	6	50,2831	71,1293	422	0,296	8,0	14	s/obs.	NK-D	25/10/2016
Mallín	7	50,2831	71,1197	424	0,296	8,0	13,9	Naciente de mallín.	NK-D	25/10/2016
Mallín	11	50,2986	71,0599	423	0,337	7,8	14,2	Las coordenadas corresponden a Ea. El Refugio, los parámetros corresponden a un mallín cercano.	NK-D	25/10/2016
Mallín	10	50,2999	71,0598	434	s/d	s/d	s/d	Vista de captación de agua en Ea. El Refugio.	NK-D	25/10/2016
Mallín	9	50,2998	71,0606	431	0,276	8,6	12,1	Captación agua Ea. El Refugio	NK-D	25/10/2016
Mallín	29	50,1833	70,82	302	0,428	7,9	9,9	Naciente de mallín al pie de los basaltos, genera un escurrimiento de agua.	NK-I	26/10/2016
Mallín	12	50,2943	71,0209	352	0,328	8,4	9,6	Mallín junto a Ea. La Leonor	NK-D	28/10/2016
Mallín	30	50,2756	70,8074	419	0,4	8,2	9,3	Mallín cercano a Ea. La Porfiada	NK-D	28/10/2016
Mallín	24	50,1873	70,878	252	s/d	s/d	s/d	Una vertiente pasa a ser subterránea y vuelve a aflorar en el punto georreferenciado.	NK-I	01/12/2016
Mallín	54	50,2071	70,688	121	1,403	8,7	17,1	Mallín encharcado, ubicado en un valle que presenta un cauce seco. Agua estancada, con presencia de animales muertos.	NK-I	01/12/2016
Mallín	17	50,2946	70,921	339	0,325	7,3	13,1	s/obs.	NK-D	04/12/2016
Mallín	16	50,2947	70,9223	341	0,318	8,0	13,6	s/obs.	NK-D	04/12/2016
Vertiente	4	50,1806	71,079	369	0,5	8,0	11	Agua con baja velocidad de circulación en Cañada El Mosquito	NK-I	26/10/2016
Vertiente	19	50,1986	70,9307	141	0,3	8,1	12,5	Curso de agua cercano a Ea. Condor Cliff.	NK-I	26/10/2016
Vertiente	20	50,2011	70,8996	136	0,45	8,3	12,5	Ea. Condor Cliff.	NK-I	26/10/2016
Vertiente	21	50,1945	70,8757	144	0,22	8,4	11,2	Braza de vertiente con aforo de Q≈7,5 m ³ /h, unos metros mas arriba existe una bifurcación del arroyo.	NK-I	26/10/2016
Vertiente	22	50,194	70,8756	144	0,225	8,4	11,4	Aforo de Q≈30 m ³ /h aprox.	NK-I	26/10/2016
Vertiente	23	50,1897	70,8786	214	0,248	8,5	12,1	Fluye sobre un mallín.	NK-I	01/12/2016
Vertiente	25	50,1852	70,8787	272	s/d	s/d	s/d	Naciente de pequeño curso que luego se une a un brazo del curso principal. Al pie de los basaltos.	NK-I	01/12/2016
Vertiente	26	50,1846	70,8795	281	s/d	s/d	s/d	Naciente de curso pequeño que luego se une al curso principal. Al pie de los basaltos.	NK-I	01/12/2016
Vertiente	27	50,1832	70,8788	301	0,208	8,8	12,4	Curso principal del valle, asociado a un mallín. Nace al pie de los basaltos.	NK-I	01/12/2016
Vertiente	28	50,1806	70,8787	346	0,214	8,6	13,9	Curso pequeño, afluente del curso principal, nace al pie de los basaltos.	NK-I	01/12/2016

Los valores de CE, presentan contrastes entre los valores mínimos y máximos para diferentes sitios, con valores máximos en el punto identificado en el Mapa como N° 54 (1,403 mS/cm) atribuible a la escasa circulación del agua y presencia de restos de materia orgánica de origen anómalo, mientras que los mínimos valores de CE (0,208 mS/cm), se hallaron en el sitio denominado en el Mapa como N° 27 correspondiente a una vertiente asociada a un mallín en la margen izquierda.

Respecto a los valores de pH, también presentan contrastes entre los valores mínimos y máximos para diferentes sitios, con valores máximos de pH en el punto identificado en el Mapa como N° 27 (8,8) atribuible al producto de mineralización alcalina, mientras que el valor mínimo pH (7,3), se muestreó en el punto N° 17, ver Mapa 3 y 4 (Anexo III).

➤ **Área JC**

En la Tabla 3-11, se exponen los mallines/vertientes relevados, donde el agua presenta CE media baja (0,69 mS/cm), pH medio levemente alcalino (8,4) y T° media igual a 16,0 °C.

Tabla 3-11. Mallines/vertientes relevados por Hidroar S.A. sector JC.

Tipo	Nº Identificación en mapa	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	CE (mS/cm)	pH	T (°C)	Observaciones	Sector-Margen	Fecha relevamiento
Mallín	67	50,29085	70,15919	246	0,778	8,1	14,6	Manguera en Ea. Rincón Grande que proviene de un mallín.	JC-D	27/10/2016
Mallín	68	50,28926	70,16143	227	0,792	8,7	16,6	s/obs.	JC-D	27/10/2016
Mallín	55	50,28818	70,64627	415	0,446	8,4	14,2	s/obs.	Embalse JC	27/10/2016
Mallín	84	50,17694	70,14989	74	0,857	8,7	24,5	Aguas arriba se observa un cauce con escorrentía superficial.	JC-I	02/12/2016
Mallín	82	50,1758	70,15141	75	0,841	8,9	22,8	Agua del mallín que cae a un cañadón.	JC-I	02/12/2016
Mallín	81	50,17554	70,15474	81	0,806	8,9	24	Mallín con poco flujo de agua.	JC-I	02/12/2016
Mallín	76	50,19918	70,214	99	0,530	8,4	16,1	Muestra tomada de cañería que desemboca en un tanque australiano, la cañería viene del pie de los basaltos.	JC-I	03/12/2016
Mallín	74	50,19619	70,21829	143	0,575	8,4	11,3	Naciente de mallín al pie de los basaltos. Ea la Barrancosa.	JC-I	03/12/2016
Mallín	73	50,19541	70,21817	156	0,492	8,4	12,7	Cañería que se mete hasta el pie de los basaltos y que lleva el agua hasta un tanque australiano en Ea. La Barrancosa.	JC-I	03/12/2016
Mallín	72	50,19688	70,22169	140	s/d	s/d	s/d	s/obs.	JC-I	03/12/2016
Mallín	79	50,19326	70,198	87	0,576	8,2	16,6	Cercano a Ea. La Barrancosa. Aguas arriba se ve otra naciente que pasa a ser subterránea y aflora en este punto nuevamente.	JC-I	03/12/2016
Mallín	78	50,1909	70,20001	127	0,521	8,1	12,9	Naciente de mallín.	JC-I	03/12/2016
Mallín	56	50,28097	70,45736	322	0,405	8,3	12,7	Pequeña pileta de agua que abastece de a la estancia.	JC-D	03/12/2016
Mallín	58	50,19856	70,45962	177	0,710	7,9	16,2	Reducido mallín situado al pie de los basaltos.	JC-I	03/12/2016
Mallín	62	50,2963	70,16331	350	0,623	8,2	13	Presente continuidad lateral (otros mallines en el mismo nivel).	JC-D	04/12/2016
Mallín	63	50,29432	70,1639	305	0,542	8,1	11,4	Naciente de mallín.	JC-D	04/12/2016
Mallín	65	50,28259	70,16623	161	0,832	8,4	12,8	s/obs.	JC-D	04/12/2016
Mallín	64	50,28784	70,16547	201	0,904	7,9	15,6	Naciente de mallín.	JC-D	04/12/2016
Mallín	69	50,28566	70,15739	200	0,637	8,0	17,3	Muestra tomada de una zanja realizada en el mallín.	JC-D	04/12/2016
Mallín	111	50,20575	70,11522	107	0,390	8,3	12,8	Naciente de mallín.	JC-D	04/12/2016
Mallín	71	50,28644	70,15053	246	0,610	7,9	20,8	Naciente de mallín	JC-D	04/12/2016
Cuerpo de agua	59	50,29043	70,32002	265	0,8	7,9	11,4	Cuerpo de agua situado en Ea. Cordón Alto.	Embalse JC	27/10/2016
Cuerpo de agua	106	50,20071	70,11461	81	0,601	8,9	15	Trincheras experimentales para ensayos, con agua en su interior.	JC-D	27/10/2016
Cuerpo de agua	107	50,20129	70,11381	80	s/d	s/d	s/d	Trincheras experimentales para ensayos, con agua en su interior.	JC-D	27/10/2016
Vertiente	83	50,17613	70,15012	75	0,786	9,2	20,5	Cauce con escaso flujo de agua.	JC-I	02/12/2016
Cuerpo de agua	75	50,19894	70,21686	99	0,96	9,3	19,2	Situada a unos metros del cementerio perteneciente a la Ea. La Barrancosa.	JC-I	03/12/2016
Cuerpo de agua	77	50,19998	70,21278	108	0,931	9,1	16,7	Alimentada por una vertiente que proviene de un mallín. Ea. La Barrancosa	JC-I	03/12/2016
Vertiente	66	50,28044	70,16508	153	1,042	8,8	14,5	Pequeño curso de agua que conecta dos mallines.	JC-D	04/12/2016

Al igual que para el sector NK, en el área de JC tanto la CE y pH presentan contrastes entre los valores mínimos y máximos, exhibiendo los máximos de CE en el punto identificado en el Mapa como 66 (1,04 mS/cm) y los mayores valores de pH se registraron en el punto N° 75 aledaño a la Ea. La Barrancosa (ver Mapa 3 y 4 –Anexo III). En cuanto a los valores mínimos de CE (0,390 mS/cm), se hallaron en el sitio denominado en el Mapa como N° 111 en la naciente de un mallín situado en la margen derecha del río Santa Cruz. El pH más bajo de muestreó en los puntos N° 58, 59, 64 y 71, con valores igual a 7,9.

3.8.5.3 Cursos de agua superficial (río, lagos)

➤ Área NK

En el Tabla 3-12 se presentan los resultados de los parámetros in situ correspondientes a cursos de agua superficial, donde el agua presenta CE media baja (0,81 mS/cm), pH levemente alcalino (8,0) y T° media igual a 10,9 °C.

Tabla 3-12. Cursos superficiales relevados por Hidroar S.A. sector NK.

Tipo	Nº Identificación en mapa	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	CE (mS/cm)	pH	T (°C)	Observaciones	Sector-Margen	Fecha relevamiento
Río Santa Cruz	5	50,2332	71,0625	129	0,5	8,3	13,2	sin obs.	NK-D	25/10/2016
Cañadón	2	50,1922	71,3415	196	1,134	7,7	8,5	Curso de agua con muy poco escurrimiento en el cañadón El Mosquito.	NK-I	26/10/2016

En cuanto a las mediciones de CE, el valor máximo de CE se registró en el punto identificado en el Mapa como N° 2 (1,134 mS/cm) debido posiblemente a la escasa velocidad de circulación del agua en el cañadón El Mosquito y presencia de sedimentos en suspensión. En cuanto a los valores mínimos de CE (0,50 mS/cm), se hallaron en el sitio denominado en el Mapa como N° 5 correspondiente al río Santa Cruz, ver Mapa 4. Respecto al pH, también se aprecian diferencias entre los valores máximos y mínimos, ver Mapa 3.

➤ Área JC

En la Tabla 3-13 se exhiben los resultados de los parámetros in situ correspondientes a cursos de agua superficial, donde el agua muestreada, presenta valores medios de CE bajos (0,08 mS/cm), pH alcalino (8,4) y T° media igual a 13,7 °C.

Tabla 3-13. Cursos superficiales relevados por Hidroar S.A. en sector JC.

Tipo	Nº Identificación en mapa	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	CE (mS/cm)	pH	T (°C)	Observaciones	Sector-Margen	Fecha relevamiento
Río Santa Cruz	61	50,2717	70,2954	84	0,045	8,2	11,6	s/obs.	JC-D	27/10/2016
Río Santa Cruz	85	50,1836	70,1363	77	0,048	8,3	13,6	s/obs.	JC-I	27/10/2016
Cuerpo de agua	1	50,3191	72,2631	172	0,1595	8,6	15,8	Muestra tomada en la costa Sur del Lago Argentino.	Lago Argentino	05/12/2016

En cuanto a las medidas de CE, se aprecian muy bajos valores en todos los puntos muestreados, ver Mapa 4 (Anexo III). En relación al pH, no se aprecian diferencias significativas, pero si es de destacar que el punto N° 1 correspondiente al Lago Argentino presenta el valor más elevado (8,6), ver Mapa 3 (Anexo III).

A modo de síntesis, en la Tabla 3-14 se muestra un resumen de los valores medios de los parámetros in situ medidos (CE, pH y T°) correspondientes a 1) pozos existentes, 2) mallines/vertientes y 3) cursos de agua superficiales (río, lagos).

Tabla 3-14. Resumen de valores medios de parámetros in situ medidos (CE, pH y T°).

Sitios Muestreados	Sector	CE (mS/cm)	pH	T (°C)
Pozos existentes	NK	0,58	8,3	11,2
Manlles/vertientes	NK	0,44	8,1	12,7
Cursos superficiales	NK	0,81	8,0	10,9
Pozos existentes	JC	0,88	8,5	12,7
Mallines/vertientes	JC	0,69	8,4	16,0
Cursos superficiales	JC	0,08	8,4	13,7

Como se aprecia en la Tabla 3-14, se puede establecer una relación en cuanto a la CE y pH entre el agua superficial y subterránea, debido a que ambas presentan bajos valores medios de CE (<1 mS/cm), y los valores medios de pH son levemente alcalinos. Se debe contemplar que para comparar la relación entre aguas superficiales y subterráneas se deberá abordar a un estudio hidroquímico de mayor envergadura, que contenga mínimamente el análisis de diferentes sitios de muestreo de los cationes y aniones mayoritarios.

3.9 USO DEL AGUA EN EL ÁREA DE ESTUDIO

3.9.1 Usos actuales del agua

El área del proyecto donde se realizarán las presas NK y JC se corresponde con una zona rural donde predominan actividades ganaderas asociadas al desarrollo ovino, siendo el uso principal del agua para bebida de ganado, humano/doméstico (de población que reside en los escasos cascos y puestos de estancias), y regadío de zonas localizadas aguas abajo de JC.

No se dispone de información precisa respecto a la cantidad de animales en el área, si bien se evidencia una baja densidad ante las condiciones semi-abandonadas de las estancias, sumadas a las condiciones áridas del sitio, al espaciamiento entre estancias y a las situación económica adversa del precio de la lana y la carne (en comparación con el rendimiento de los campos).

Finalmente una última actividad a tener en cuenta, es la que surgirá del consumo humano y doméstico cuando la construcción de las presas se encuentre en etapa de proyecto, donde la cantidad de trabajadores aumentará sustancialmente y por ende el caudal de consumo.

3.10 BALANCE HIDROLÓGICO

Las precipitaciones son la cantidad de agua caída sobre un terreno en forma de lluvia y nieve. Parte de esa agua vuelve a la atmósfera mediante la evaporación directa y la transpiración de las plantas. Excepto en los ambientes más áridos, la precipitación normalmente supera a la evapotranspiración.

El excedente de agua, llamado escorrentía, fluye a través del sistema de drenaje, aunque puede almacenarse sobre la superficie del terreno, en áreas deprimidas o en el suelo, dando lugar a suelos húmedos y depósitos de agua subterránea por los procesos de infiltración y percolación. Sobre la tierra, el agua de las precipitaciones sobrante escurre rápidamente hacia los arroyos. Por el contrario, el agua infiltrada se desplaza a menor velocidad, como interflujo y flujo transversal en los suelos parcialmente saturados y como agua subterránea en suelos saturados.

El término balance hidrológico se refiere a las relaciones entre las ganancias y pérdidas de agua (en forma de evapotranspiración, precipitación, escorrentía o almacenamiento superficial y/o subterráneo), en una región o cuenca concreta, o en una estación o período determinados.

Las ganancias o ingresos de agua se producen a través de las precipitaciones y las pérdidas o egresos ocurren debido a los procesos de evapotranspiración, que involucran a la evaporación directa de las superficies de agua y de la humedad del suelo y al agua que transpiran los vegetales a través del follaje luego de extraerla del suelo.

Cuando la pérdida mensual o anual de humedad excede a la precipitación, resulta un balance deficitario, que genera falta de humedad en el suelo; cuando la precipitación es mayor a las pérdidas resulta un excedente que permite recuperar la humedad del suelo. Cada región o cuenca posee valores diferentes, tanto para la precipitación como para la evapotranspiración, ya que dependen de sus propias condiciones climáticas.

3.10.1 Procesos de recarga de acuíferos en regiones áridas

Los balances hídricos suelen tener limitaciones para representar la recarga en climas áridos como los existentes en Patagonia. Ante ello la recarga puede explicarse a partir de cinco mecanismos principales, los que habitualmente se producen sincrónicamente, siendo ellos los siguientes: a) reducción real de las pérdidas consuntivas, b) infiltración rápida, c) concentración rápida, d) recarga diferida, e) influencia de cursos perdedores, f) mecanismos concurrentes.

- a) Reducción real de las pérdidas consuntivas: El clima de la región es árido y consecuentemente la vegetación es de tipo xerófila. Estas especies están preparadas para obtener únicamente agua para subsistencia, sin generar evapotranspiración real, ya que su adaptación especializada hizo que carezcan de estomas y presenten adaptaciones especiales como lo son las espinas, cutículas, succulencias, flores efímeras, etc., minimizando toda posibilidad de evapotranspiración. El agua infiltrada de las precipitaciones es en parte absorbida por las plantas aunque en su mínima expresión, pasando el resto al dominio de las aguas subterráneas.
- b) Infiltración rápida: Este proceso es habitual ante la presencia de suelos generalmente de alta permeabilidad (Ej. rodados patagónicos o rocas con alta fracturación), la baja o nula retención de los suelos, y la superficie freática profunda (Hernández et al. 2002).
- c) Concentración rápida: Las zonas elevadas existentes en la zona del proyecto, permiten un rápido escurrimiento, favorecidos por el tipo de litología rocosa (acuifugos y aún rocas altamente fracturadas) y por las pendientes con drenaje encausado, conduciendo el flujo hacia sectores deprimidos (valles aluviales, lagunas, bajos endorreicos). Si bien las precipitaciones suelen ser escasas, la concentración localizada en áreas con permeabilidad, permiten un incremento en la infiltración hasta de un orden de magnitud respecto a la altura equivalente.
- d) Recarga diferida: Este proceso incluye los aportes de agua infiltrada por nieve, heladas y suelos congelados, durante la estación invernal y habitualmente hasta fines de primavera en coincidencia con las mayores temperaturas y los deshielos. Este atributo es muy significativo, ya que ocupa amplias extensiones y suele ocurrir en forma lenta pero constante, alejada de los efectos consuntivos (meses de baja EVT). En otros casos el volumen precipitado durante el invierno en forma de nieve o hielo se derrite, provocando una alta acumulación temporal de agua que favorece los efectos de infiltración.
- e) Influencia de cursos perdedores: Como sucede en la gran mayoría de los ríos y arroyos de Patagonia extra-andina, los cursos son perdedores (influentes), es decir que pierden agua hacia el acuífero. Suelen ser interesantes los acuíferos generados a partir de cursos perennes ante el constante aporte, y su buena calidad. Cercano y en el área del proyecto existen lagos y ríos permanentes (Santa Cruz), transitorios y efímeros (escurriendo agua únicamente durante o posterior a una tormenta durante cortos períodos). Considerando las características del substrato (litología de permeabilidad media a elevada) en que escurren los cursos y los caudales elevados comprometidos, es de esperarse un aporte significativo para los sectores de estudio.
- f) Superficies horizontales y/o subhorizontales: Amplias superficies del terreno con escasa pendiente, granulometría permeable (arenas, gravas) y condiciones atmosféricas favorables (meses de reducida EVTP) favorecen los mecanismos de infiltración al subsuelo. Ejemplo de estas áreas son Pampa Alta, Terraza La Australasia, Terraza San Fernando, entre otras.

- g) **Mecanismos concurrentes:** Como es de esperarse los mecanismos ya mencionados suelen ocurrir en forma coalescente y complementaria, potenciándose así la posibilidad de la recarga a tal punto que permite el desarrollo de áreas con diversos objetivos sean ellos ganaderos, mineros, agropecuarios, poblacionales u otros. Para el caso del proyecto de las presas NK y JC, a pesar de encontrarse en una región árida, la recarga se ve favorecida por el hecho de existir cursos permanentes, transitorios, vegetación xerófito, un ambiente con sedimentos de alta permeabilidad como lo son las gravas y arenas o más localmente con roca de alta fracturación (basaltos). Geomorfológicamente las unidades presentes permiten la concentración rápida y acumulación localizada del agua. Finalmente ante un clima en que los mayores aportes pluviales y nivales ocurren en invierno, con mínimas temperaturas, máxima presión atmosférica, y humedad hacen que la posibilidad de ocurrencia de acuíferos sea un hecho.

3.10.2 Balance hídrico en el Proyecto

Sobre la base de lo expuesto, y tomando las experiencias de estudios similares realizados en áreas cercanas de la Patagonia Argentina, donde la recarga de los acuíferos varían entre 25% (sedimentos granulares) hasta menos del 5%, se ha realizado un **balance hídrico simplificado**, atento a la disponibilidad de información.

Como se mencionó en el punto 3.4 (Clima), para el cálculo de evapotranspiración real (ETR) se adoptó el valor obtenido por la formulación de Coutagne (141,7 mm/año).

En base a la escasa precipitación anual (P) y elevada ETR, se asume para el ambiente climático - hidrogeológico del Proyecto un valor conservador de infiltración al subsuelo (próximo al 5 % de la P = 7,7 mm/año) y el valor restante se asume como Escorrentía superficial (ES) que descarga en el principal curso de la cuenca (río Santa Cruz) y este a su vez en el océano Atlántico.

Partiendo de la explicación anterior, se tiene:

$$P = ETR + I + ES$$

Por lo tanto el ES sería igual a:

$$ES = P - ETR - I$$

$$ES = 154,8 \text{ mm/año} - 141,7 \text{ mm/año} - 7,7 \text{ mm/año}$$

$$ES = 5,4 \text{ mm/año}$$

Quedando planteado el balance hídrico preliminarmente igual a:

$$P = ETR + I + ES$$

$$154,8 \text{ mm} = 141,7 \text{ mm/año} + 7,7 \text{ mm/año} + 5,4 \text{ mm/año}$$

La infiltración adoptada es a modo referencial partiendo de la litología observada en campo y extrapolaciones con regiones áridas de similares características. Este valor, equivalente al 5 % de la P forma parte del proceso de recarga de acuíferos de la cuenca, pero es poco significativo comparado con el aporte por infiltración que aportan los diferentes cursos superficiales y en particular el río Santa Cruz a partir del deshielo cordillerano, el cual no fue tenido en cuenta en la formulación del balance por carencia de estudios particulares y falta de exactitud.

Si bien es complejo realizar un balance hídrico ante la ausencia de datos, tomando como referencia una franja de la cuenca hídrica sobre la margen izquierda del río Santa Cruz comprendida entre el futuro cierre de NK y la Ea. Bi Aike (situada al Oeste del cierre), ver Figura 3-42, se obtiene un área aproximada de 835.000.000 m².

Si se asume una infiltración del 5%, igual a 7,7 mm/año ($2,1 \times 10^{-5}$ m/día), el agua que aportaría la precipitación que cae sobre los basaltos fracturados hacia los mallines, vertientes y acuíferos terciarios sería \approx a 17.500 m³/día ó 730 m³/h.

Este caudal calculado solo es factible de constatarse a partir de aforos permanentes de manantiales y estudios específicos que estimen la evapotranspiración de los diversos mallines desarrollados a lo largo de las barrancas (descarga de acuíferos freáticos de meseta) y a partir de cálculos de transferencia de flujos verticales de los acuíferos contenidos en los basaltos y/o gravas hacia acuíferos inferiores terciarios. En este último caso es requisito la elaboración de mapas equipotenciales, análisis de variaciones de niveles freáticos vs potenciométricos, uso de trazadores, u otras técnicas para lo cual se requieren como punto de partida la construcción de pozos de observación e instrumental de medición para registrar diferentes variables (niveles e hidroquímica).

Si bien existen claras limitaciones para este tipo de evaluación, durante los relevamientos se apreciaron evidencias de estos mecanismos hidrológicos, en que la mayor cantidad de vertientes y mallines ocurren en las barrancas de las márgenes izquierda, en coincidencia con una franja que es receptora de una superficie de infiltración mucho mayor a la existente en las márgenes derecha de río.

Ejemplo de lo mencionado en el párrafo anterior, se evidenció durante el aforo del sitio denominado en el Mapa 2a como N° 22, correspondiente a una vertiente en la margen izquierda de NK, donde el caudal (Q) medido fue igual a 30 m³/h, sin considerar el Q que circulaba en forma subsuperficial.

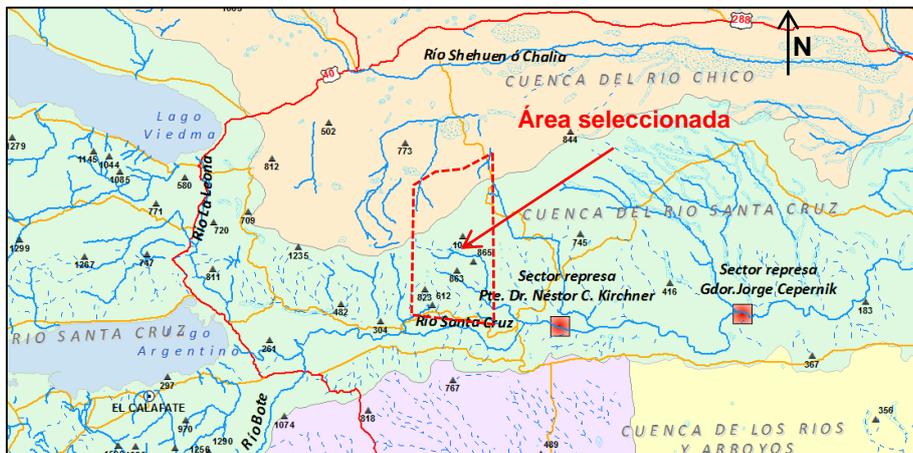


Figura 3-42. Área de la cuenca del río Santa Cruz comprendida entre el futuro cierre de NK y la Ea. Bi Aike.

El Balance Hídrico para el Proyecto fue realizado de modo preliminar y deberá ser ajustado a medida que se conozcan con mayor precisión datos de infiltración real, evapotranspiración real y comportamiento del deshielo (caudales de aporte) en diferentes estaciones y años de estudio.

3.11 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL PRELIMINAR (MHCP)

La **recarga** de acuíferos se genera por procesos de infiltración a partir de agua de deshielo y precipitaciones, principalmente en zonas donde las rocas aflorantes se encuentran fracturadas (basaltos) y en zonas de sedimentos con textura gruesa (grava-arena), facilita la recarga del sistema subterráneo. Asimismo una vez que el agua ingresa al sistema de fracturas de basaltos, se halla resguardada de la evaporación, debido que no incide directamente el viento y la insolación dentro del macizo rocoso volcánico.

La zona de **circulación** estaría vinculada desde la zona de recarga al oeste del área de estudio hacia el este de la cuenca del río Santa Cruz, a través de las diferentes litologías (gravas, arenas y limos) que conforman geformas tales como pedimentos, bajadas, terrazas y valles fluviales. En la cuenca del río Santa Cruz el movimiento del agua superficial es en dirección oeste-este y se estima que la dirección de flujo del agua subterránea presente en el **acuifero subálveo** presentaría una correlación con el sentido de flujo superficial regional, sin embargo los **acuiferos de meseta** exhiben una dirección de escurrimiento predominantemente hacia el valle principal del río Santa Cruz (noroeste-sureste) y al llegar a dicho valle, continuarían con una circulación predominante oeste – este.

La zona de **descarga** de agua superficial se efectúa hacia el este de la cuenca, hasta desembocar en el océano atlántico en las cercanías de la localidad de Piedrabuena. Regionalmente el agua subterránea presenta la misma condición aunque en función de la conjunción de factores litológicos, topográficos, hidráulicos su descarga puede ser localmente en superficie (bajos, aguadas) o descargar desde el subálveo al mar.

En cuanto a la hidroquímica del agua subterránea en el sector de estudio, se desconoce la clasificación, debido a la falta de análisis físico-químicos y bacteriológicos de una red de monitoreo. Únicamente se cuenta con datos de pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T^o), donde el agua muestreada en general presenta CE baja (<1,5 mS/cm), pH general comprendido entre 7,0 y 8,5 y temperaturas variables entre 24,5 y 8,5 °C debido a la incidencia de la radiación y estanqueidad de la misma.

3.12 PREDICCIONES DE AFECTACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE PRESAS

El presente capítulo tiene por objeto dar respuesta a los interrogantes planteados, sustentados por los antecedentes y experiencia de Hidroar S.A. en la región, relevamientos de campo, procesamiento de datos y la interpretación de la información hidrogeológica generada para esta instancia.

3.12.1 Niveles de agua subterránea

En el caso concreto de ambas presas (NK y JC), el ascenso de los niveles de agua en el área del embalse “perilago” inundará la mayoría de los **acuiferos de subálveo**, quedando estos por debajo del propio espejo de agua, o bien acotados a sectores muy reducidos.

Para los **acuiferos de meseta** y los manantiales asociados a ellos, no es de esperarse que sufran modificaciones. Esta conclusión surge ante la diferencias de cotas que existen entre la cota de inundación prevista para la presa NK (176,5 msnm), y los afloramiento de agua al pie de los basaltos con una cota del orden de 300 msnm. En la presa JC, con una cota de inundación de 114 msnm, se observaron manantiales significativos en la estancia La Barrancosa y el Cañadón situado 5 km al noreste de dicha estancia (al pie de los Basaltos), en ambos casos con nacientes por encima de la cota de inundación. No es esperable que estos se vean influenciados por la presa.

El llenado de los embalses NK y JC y el mantenimiento del mismo ocasionará aguas arriba de cada presa, una nueva situación hidrodinámica por el ascenso de los niveles de agua. Ante ello es factible que se originen afloramientos de agua (manantiales/vertientes o mallines) que dependiendo de las condiciones propias de cada sitio podrán darse en:

- Las bardas aguas abajo de los muros (filtraciones laterales y/o modificación en la actual descarga de agua subterránea).
- Las adyacencias del perilago, en coincidencia con la cota de inundación (cambio de nivel de base del acuífero).

En contraposición a lo expuesto, la retención de agua por tiempos prolongados, con la consiguiente merma de los caudales erogados (mínimos caudales del río Santa Cruz) durante el llenado de la presa JC, o bien durante su operación, podría generar una disminución de los niveles freáticos de los acuíferos de subálveo, de los cuales se abastecen algunas estancias aguas abajo de la presa JC, zona que se encomienda monitorear con pozos monitores al acuífero.

Se debe contemplar y evaluar que en un sistema fluvial con existencia de una presa, en zonas áridas y de alta evaporación como es el caso en estudio (≈ 1.000 mm/año), cualquier pérdida o manejo del agua río arriba podría representar una disminución en la disponibilidad para los usuarios río abajo, incidiendo mayormente en el regadío y captación para consumo de ganado en años secos.

Los dos embalses con una superficie total del orden de 440 km^2 , estarán sometidos a altas pérdidas por evaporación (equivalentes a $14 \text{ m}^3/\text{seg}$), e infiltración al subsuelo (difícil de cuantificar), las que deberán contemplarse en los balances y la operación de las presas. Para ello, estas variables deberán ser estudiadas y analizadas en forma periódica mediante el seguimiento de las variables atmosféricas, ensayos de campo y una red adecuada de monitoreo de los acuíferos.

3.12.1.1 Deslizamiento de taludes

Durante el llenado del embalse, la cota de elevación del nivel de agua estará cada vez más cercana a la zona de coronación del talud, el cual debe ser muy bien conocido, debido a los procesos antecedentes de remoción en masa que existen en la zona (expuesto ya en el estudio de la línea de base ambiental).

Las variaciones del nivel de agua del embalse en el transcurso del tiempo pueden dar lugar a procesos de deslizamientos de taludes por saturación y drenaje de los sedimentos, en especial las arenas friables y/o depósitos aluviales y coluviales.

En la margen izquierda del cierre de JC se ha observado en imágenes satelitales y durante los relevamientos la existencia de lineamientos que podrían estar asociados a estructuras u otros rasgos de debilidad. Ante ello deberá estudiarse con mayor detalle la estabilidad de los basaltos y sedimentitas subyacentes, ya que podrían ser zonas preferenciales para la circulación de agua y/o la estabilidad de los taludes, ver Figura 3-43.

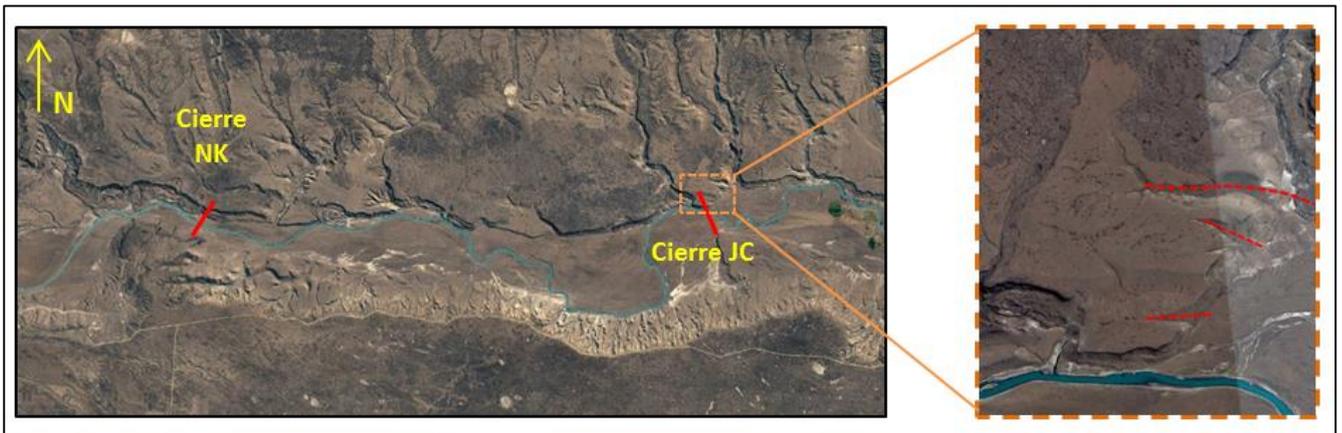


Figura 3-43. Zona a estudiar con mayor detalle en zona izquierda del eje de JC, (líneas punteadas color rojo).

3.12.2 Régimen hídrico de los manantiales

Los manantiales/vertientes relevados en la zona de las presas y alrededores, se encuentran desvinculados del actual río Santa Cruz y/o futuros embalses. Estos manantiales constituyen la descarga de acuíferos colgados que interceptan la pendiente del terreno a una cota sustancialmente mayor que la del futuro embalse.

Ante lo expuesto cuando se construyan las presas y se alcance la cota máxima de inundación del embalse, los manantiales que queden por encima de la cota del embalse, seguirán con el mismo caudal o régimen actual. Para el caso de los manantiales situados por debajo de la futura cota de inundación, en los casos que se trate de descargas de acuíferos semi-confinados/confinados, seguirán aportando el mismo caudal aunque en forma subácuea. Las descargas de acuíferos libres, alcanzarán una nueva condición de equilibrio, en coincidencia con el nivel del embalse. En el Mapa 5 y 6 de Anexo III se expone la ubicación y ubicación respecto al perilago de cada uno de ellos.

3.12.3 Calidad química de las aguas subterráneas

No es de esperarse modificaciones en la calidad química de las aguas subterráneas de los actuales manantiales, vertientes o mallines asociados a los acuíferos de terraza, ya que los mismos no están influenciados por las presas. La calidad del agua de estas manifestaciones estará asociada directamente a su recarga cuyo aporte proviene de la precipitación (lluvia y nieve) acaecida principalmente en los meses de invierno.

Una particularidad será la generación de acuíferos temporarios asociados a las fluctuaciones de la cota de agua de los embalses (dentro del área del perilago), originando amplias superficies de terreno que quedan al descubierto durante algunos meses (dependiendo de las condiciones hídricas y/o de operación de las presas), drenando lentamente el contenido de agua hacia sitios de menor cota (nuevo nivel del embalse temporal). Las propiedades hidroquímicas de estas aguas serán similares a la del lago.

3.13 CONCLUSIONES GENERALES

Como parte del EIA de los Aprovechamientos Hidroeléctricos del río Santa Cruz (Serman & asociados s.a., 2015 para Represas Patagonia) se llevó adelante la caracterización de la geología del área de influencia del proyecto abarcando la Estratigrafía, Litología, Estructura, Geomorfología, Peligro Geológico e Hidrogeología de la zona relevada, con la finalidad de contar con un insumo de importancia crítica en la identificación y evaluación de impactos ambientales que el proyecto hidroeléctrico tendrá sobre el medio geológico.

En particular, en relación al Sistema Hidrogeológico, la UTE ha considerado la realización de un Estudio Hidrológico específico que permitiera elaborar el modelo hidrogeológico conceptual de las áreas donde se realizarán las presas NK y JC a fin de poder predecir posibles modificaciones en el régimen hídrico de los manantiales, acuíferos y su calidad química una vez ejecutadas las mismas. Este estudio se considera pertinente a los efectos de ampliar el conocimiento sobre el factor en cuestión respondiendo a interrogantes específicos.

A continuación se expone una síntesis de los principales contenidos y resultados a los que ha abordado el responsable del estudio (Hidroar S.A.). Finalmente en este punto, se incluyen las recomendaciones realizadas por Hidroar S.A. como resultado de la elaboración de este estudio.

3.13.1 Síntesis de los principales contenidos y resultados del estudio

- Según los datos de la estación Lago Argentino-Calafate (1993 – 2016), la precipitación anual media es de 154,8 mm, valor similar a los obtenidos de la estación Charles Fuhr (142 mm/año) para el período 1955 - 2014.
- Los promedios mensuales de la velocidad del viento se encuentran entre los 6 km/h en el mes de Agosto y los 13 km/h en enero, siendo la velocidad anual media del viento de 9,3 km/h.
- La evaporación real medida en el tanque evaporímetro de la estación Lago Argentino-Calafate, presenta un valor de 982 mm/año.
- La evapotranspiración real calculada por Turc y Coutagne arrojaron valores iguales 154,7 mm/año y 141,7 mm/año respectivamente.
- Hidrológicamente el área de estudio se ubica dentro de la Cuenca del río Santa Cruz, la cual es recorrida por el río homónimo en dirección Oeste - Este hasta desembocar en el océano Atlántico; hallándose conformada por un sistema glaciolacustre-fluvial, ocupando una superficie de aproximadamente 25.000 km².
- El río Santa Cruz posee un módulo medio de 700 m³/s.
- La cuenca de estudio posee sus nacientes en el oeste, más precisamente en el escudo de Hielo Patagónico, desde donde descienden aguas de fusión que forman ríos y arroyos que aportan y gobiernan el régimen del recurso hídrico superficial.
- El río Santa Cruz presenta comportamiento influente, abasteciendo al acuífero aluvial o de subálveo por infiltración directa.
- Se definió la cota de 176,5 m IGN como Nivel de Agua Máximo de Operación Normal (NAON) para el embalse NK, el cual ocupará en dicha condición una superficie aproximada de 243 km².
- Para el embalse JC, se estableció una cota de 114m IGN, fijada como NAON y comprende un área de aproximadamente 199 km² de extensión.

- En las áreas de estudio de las presas NK y JC se identificaron dos sistemas hidrogeológicos principales: 1) Acuíferos de subálveo y 2) Acuíferos de Meseta.
- El Acuífero de Subálveo se desarrolla entre el nivel basal de las terrazas y el lecho del valle activo, integrado por la saturación de los depósitos que rellenan el valle, de granulometrías variables, que van desde arenas medianas y finas hasta limos y arcillas para los cañadones, y gravas gruesas hasta bloques con arenas gruesas y limos subordinados, para los que se sitúan en el piso del valle del río Santa Cruz.
- La importancia de los Acuíferos de Subálveo depende de la morfología y la potencia del depósito que rellena el valle, que junto con el tipo de sedimento condiciona los valores de los parámetros hidrogeológicos.
- La recarga de estos acuíferos se realiza a través de las precipitaciones, pero el mayor aporte es cedido por el río Santa Cruz, que presenta un régimen permanente, sustentado por la fusión de los glaciares que configuran el Campo de Hielo Patagónico Sur.
- Los Acuíferos de Meseta se desarrollan en las zonas llanas y de suave pendiente que coronan las mesetas en el ámbito del área de estudio. Su existencia está directamente vinculada con la estratigrafía de la zona, compuesta generalmente por una secuencia volcánico-clástica de disposición general subhorizontal, integrada por basaltos fracturados que permiten la circulación e infiltración de agua de precipitaciones y deshielo; subyacen acumulaciones de algunos centímetros a pocos metros de gravas/arenas de probable origen glacifluvial, que apoyan sobre sedimentitas de la Formación Santa Cruz (de baja permeabilidad).
- Los Acuíferos de Meseta se caracterizan por su carácter anisótropo, condicionada su recarga a las precipitaciones (infiltración de agua desde los basaltos superiores con presencia de fracturas o sobre materiales permeables que favorecen la infiltración).
- Los depósitos Holocenos constituyen acuífero primario de carácter local, conformados predominantemente por gravas y arenas de porosidad elevada. En cuanto a las litologías Pleistocenas, compuestas mayormente por morenas de origen glaciar, serían formadores de acuitardos y acuíferos pobres debido a la presencia de granulometría fina que presentan en la matriz (arcillas y limos).
- Las coladas de basaltos (Pleistocena y Pliocena-Miocena) serían formadores de acuíferos de origen secundario, debido a la presencia de diaclasas y fracturas que permitirían el ingreso y circulación del agua. En caso de no presentar fisuras o las mismas encontrarse rellenas, se comportarían como acuífugos.
- Los depósitos correspondientes a la época Pliocena-Miocena superior, formarían acuíferos primarios y en el caso de las morenas Pampa Alta posibles acuitardos.
- La Fm. Santa Cruz y 25 de Mayo correspondiente al período Terciario, se comporta mayormente como acuitardos (cederían agua con cierta dificultad) o Acuícludos (en caso de encontrarse la fracción arcillosa compactada por acción glaciar). Sin embargo, la existencia de niveles arenosos compactados “areniscas” o pelitas con planos de estratificación (permiten la interconexión entre fracturas y circulación del agua), confieren a estas unidades localmente propiedades Acuíferas de carácter pobre.
- Los depósitos correspondientes al Holoceno y Pleistoceno conformarían la mayor parte del acuífero de subálveo. Las litologías Pliocenas – Miocenas formarían el sistema hidrogeológico denominado acuíferos de meseta, y las litología del período terciario (Fm. Santa Cruz y 25 de Mayo) se comportarían generalmente como hidroapoyo, debido a su baja permeabilidad.

- En base a los ensayos Lugeon antecedentes, las mayores permeabilidades se observan en el margen izquierdo del cierre NK, más precisamente entre las cotas 175 y 100 msnm, y en casos puntuales distribuidos en el sector central y margen derecho del valle donde se realizará el cierre.
- En el cierre JC, las mayores permeabilidades se observan distribuidas a lo largo de todo el perfil, entre las cotas 115 y 50 msnm, evidenciándose las de mayor magnitud en el sector de la margen derecha, sobre el eje de la presa.
- Tanto para los sectores NK y JC, no se puede establecer una relación directa entre las Unidades Lugeon y la litología ensayada, ni se puede establecer una correlación de niveles sedimentarios. Esto obedece a la discontinuidad de los niveles litológicos y valores de K analizados a lo largo de la sección del valle.
- En el ámbito de estudio se distinguen dos tipos de flujos subterráneos, el que transcurre en el medio poroso (Ej: gravas, arenas) y el que corresponde al medio de fisuras (Ej: basaltos y menos significativo pero no menos importante en el caso de las Fm Terciarias).
- Según lo apreciado en campo, tanto el grado de interconexión como la densidad en la fracturación poseen importantes variaciones en sentido vertical y horizontal, hecho reflejado por la disparidad entre los caudales y niveles hidráulicos observados de vertientes y mallines.
- Las limitaciones ante la ausencia de pozos de monitoreo, no permiten establecer las características detalladas del movimiento del flujo subterráneo, recurriéndose en esta oportunidad a la extrapolación con otras áreas cercanas de similares características geológicas e hidrogeológicas.
- Para el acuífero de subálveo se asume un sentido de flujo Oeste – Este subparalelo al río Santa Cruz, coincidiendo con la topografía general de la zona de estudio. La descarga ocurre en sectores bajos dentro de la llanura aluvial (evaporación) o finalmente aguas abajo en el mar.
- Para el acuífero de terrazas la componente sería de Norte a Sur para la margen izquierda y Sur Norte para la margen derecha del río Santa Cruz. La descarga se produce en las bardas a partir de mallines o manantiales (utilizados en muchos casos como fuente de agua de estancias), o subterráneamente hacia acuíferos profundos (Terciarios).
- En general la calidad del agua subterránea dulce y alcalina. Para el sector NK, los parámetros in situ (pH, CE y T°) medidos en pozos relevados presentan CE media baja (0,58 mS/cm), pH alcalino (8,3) y T° media igual a 11,2 °C.
- Para el sector JC, en general, el agua muestreada de los pozos presenta CE media baja (0,88 mS/cm), pH alcalino (8,5) y T° media igual a 12,7 °C.
- Respecto a los manantiales/vertientes relevados en NK, los sitios muestreados presentan agua de CE media baja (0,44 mS/cm), pH medio levemente alcalino (8,1) y T° media igual a 12,7 °C.
- Respecto a los manantiales/vertientes relevados en JC, los sitios presentan agua de CE media-baja (0,69 mS/cm), pH medio levemente alcalino (8,4) y T° media igual a 16,0 °C.
- En el sector NK, los parámetros in situ correspondientes a cursos de agua superficial, presenta CE media-baja (0,81 mS/cm), pH alcalino (8,0) y T° media igual a 10,9 °C.
- En el sector JC, los parámetros in situ correspondientes a cursos de agua superficiales, presenta CE baja (0,08 mS/cm), pH alcalino (8,4) y T° media igual a 13,7 °C.

- En cuanto a la hidroquímica del agua subterránea en el sector de estudio, se desconoce la clasificación, debido a la falta de análisis físico-químicos y bacteriológicos de una red de monitoreo.
- El área del proyecto donde se realizarán las presas NK y JC se corresponde con una zona rural donde predominan actividades ganaderas asociadas al desarrollo ovino, siendo el uso principal del agua para bebida de ganado, humano/doméstico (de población que reside en los casco y puestos de estancias), y regadío de zonas localizadas aguas abajo de JC.
- Los balances hídricos suelen tener limitaciones para representar la recarga en climas áridos como los existentes en la zona de estudio, pero deben tenerse en cuenta que en la recarga de acuíferos se puede explicar a partir de mecanismos principales sincrónicos: 1) reducción real de las pérdidas consuntivas, 2) infiltración rápida, 3) concentración rápida, 4) recarga diferida, 5) influencia de cursos perdedores, 6) mecanismos concurrentes.
- El balance hidrológico preliminar evidencia los siguientes datos: del 100% de la Precipitación (P), 91,5% corresponderían a la Evapotranspiración (ETR), 5 % a la Infiltración (I) y 3,5 % al Escurrimiento Superficial (ES).
- La infiltración adoptada es a modo referencial partiendo de la litología observada en campo y extrapolaciones con regiones áridas de similares características. Este valor, equivalente al 5 % de la P forma parte del proceso de recarga de acuíferos de la cuenca, pero debería ser comparado con el aporte por infiltración de los diferentes cursos superficiales y en particular el río Santa Cruz a partir del deshielo cordillerano, el cual no fue tenido en cuenta en la formulación del balance por carencia de datos.
- El mayor aporte de agua que ingresa al sistema subterráneo (acuífero de subálveo), es aportado por el comportamiento influente del río Santa Cruz y demás cursos menores, los cuales son principalmente abastecidos del agua que proviene de los hielos patagónicos y en menor medida de las precipitaciones.
- La recarga en los acuíferos de terraza se genera por procesos de infiltración a partir de agua de deshielo y precipitaciones, principalmente en zonas donde las rocas aflorantes se encuentran fracturadas (basaltos) y en zonas de sedimentos con textura gruesa (grava-arena).
- La zona de descarga de agua superficial se efectúa hacia el este de la cuenca, hasta desembocar en el océano atlántico y se estima que regionalmente el agua subterránea presenta el mismo comportamiento.
- Existen a lo largo del perfil longitudinal del río Santa Cruz intercalaciones de sedimentos con grava-arena-limo-arcilla, donde las arcillitas/pelitas y/o areniscas de la Fm Santa Cruz y/o 25 de Mayo actuarían como acuitardos o hidroapoyo de los sistemas más superficiales.
- En profundidad esta unidad terciaria genera niveles inferiores de acuíferos semiconfinados / confinados, tanto en el subálveo del río, como en sectores de terrazas. Este comportamiento es de tipo preliminar y se deberán realizar mayores estudios específicos para comprender la dinámica del modelo hidrogeológico conceptual.
- El ascenso de los niveles de agua en el área de ambos embalse “perilago” inundará la mayoría de los de subálveo, quedando estos por debajo del propio espejo de agua, o bien acotados a sectores muy reducidos.

- Para los acuíferos de meseta y los manantiales asociados a ellos, no es de esperarse que sufran modificaciones. Esta conclusión surge ante la diferencias de cotas que existen entre la cota de inundación prevista para la presa NK (176,5 msnm), y los afloramiento de agua al pie de los basaltos con una cota del orden de 300 msnm. En la presa JC, con una cota de inundación de 114 msnm, se observaron manantiales significativos en la estancia La Barrancosa y el Cañadón situado 5 km al noreste de dicha estancia (al pie de los Basaltos), en ambos casos por encima de la cota de inundación. No es esperable que estos se vean influenciados por la presa.
- El llenado de los embalses NK y JC ocasionará aguas arriba de cada presa, una nueva situación hidrodinámica. Ante ello es posible que se originen afloramientos de agua (manantiales/vertientes o mallines) en las bardas aguas abajo de los muros (filtraciones laterales y/o modificación en la actual descarga de agua subterránea) y en las adyacencias del perilago, en coincidencia con la cota de inundación (cambio de nivel de base del acuífero).
- Los dos embalses con una superficie total del orden de 440 km², estarán sometidos a altas pérdidas por evaporación (equivalentes a 14 m³/seg), e infiltración al subsuelo (difícil de cuantificar), las que deberán contemplarse en los balances y la operación de las presas. Para ello, estas variables deberán ser estudiadas y analizadas en forma periódica mediante el seguimiento de las variables atmosféricas, ensayos de campo y una red adecuada de monitoreo de los acuíferos.
- Durante el llenado del embalse, la cota de elevación del nivel de agua estará cada vez más cercana a la zona de coronación del talud, previéndose procesos de remoción en masa que requieren ser evaluados.
- En la margen izquierda del cierre de JC se ha observado en imágenes satelitales y durante los relevamientos la existencia de lineamientos y/o geoformas que podrían estar asociados a estructuras u otros rasgos de debilidad. Ante ello deberá estudiarse con mayor detalle la estabilidad de los basaltos y sedimentitas subyacentes, ya que podrían ser zonas preferenciales para la circulación de agua y/o la estabilidad de los taludes.
- Los manantiales/vertientes relevados en la zona de las presas y alrededores, se encuentran desvinculados del actual río Santa Cruz y/o futuros embalses. Estos manantiales constituyen la descarga de acuíferos colgados que interceptan la pendiente del terreno a una cota sustancialmente mayor que la del futuro embalse. Cuando se construyan las presas y alcance la cota máxima de inundación del embalse, los manantiales que queden por encima de la cota del embalse, seguirán con el mismo caudal o régimen actual. Para el caso de los manantiales situados por debajo de la futura cota de inundación, en los casos que se trate de descargas de acuíferos semi-confinados/confinados, seguirán aportando el mismo caudal aunque en forma subácuea. Las descargas de acuíferos libres, alcanzarán una nueva condición de equilibrio, en coincidencia con el nivel del embalse.
- No es de esperarse modificaciones en la calidad química de las aguas subterráneas de los actuales manantiales, vertientes o mallines asociados a los acuíferos de terraza, ya que los mismos no están influenciados por las presas. La calidad del agua de estas manifestaciones estará asociada directamente a su recarga cuyo aporte proviene de la precipitación (lluvia y nieve) acaecida principalmente en los meses de invierno.

3.13.2 Recomendaciones

- Estudiar el sistema hidrogeológico con mayor detalle, especialmente en las zonas de cierre y aguas arriba y abajo de las futuras presas, los que incluirán:

- Ejecutar pozos hidrogeológicos de exploración profundos (≈ 100 m) en cada zona de cierre (NK y JC), con la finalidad de estudiar los tipos de acuíferos presentes en el subsuelo donde se instalarán las presas. La ubicación tentativa se muestra en el Mapa 7 (Anexo III), las ubicaciones generales deben ser corroboradas por un hidrogeólogo en campo en acuerdo con personal de la UTE.
- Realizar pozos de estudio específicos para efectuar ensayos de bombeo de larga duración (6 por zona de cierre), con el objeto de apreciar si existe o no conexión entre las lentes de arenas (tanto en la zona de NK y JC), obtener los parámetros hidrogeológicos del subsuelo (Coef. de Permeabilidad, Transmisividad y Almacenamiento). Evaluar necesidades hidráulicas para las obras durante la construcción u operación de las presas (tareas de depresión y/o construcción de barreras hidráulicas, etc.).
- Realizar mínimamente 13 pozos hidrogeológicos de exploración y monitoreo en las presas, con la finalidad de elaborar un plano equipotencial para determinar con exactitud la dirección del flujo subterráneo, conocer la velocidad efectiva del agua subterránea, ejecutar un censo de niveles de agua aguas abajo de las futuras presas y embalses y evaluar la calidad hidroquímica de la zona de estudio. La ubicación tentativa se muestra en el Mapa 7 (Anexo III), las ubicaciones generales deben ser corroboradas por un hidrogeólogo en campo en acuerdo con personal de la UTE.
- Monitorear aguas abajo del cierre de JC la profundidad del nivel de agua subterránea e hidroquímica, mediante pozos monitores.
- Instalar una estación meteorológica en una de las dos presas y un tanque evaporímetro, para disponer de información climática detallada del sector.
- Llevar un monitoreo de mallines/cañadones seleccionados, y acuífero libre (por medio de pozos de monitoreo), tanto aguas arriba como abajo, con la finalidad de tener una amplia base de datos de la profundidad de los niveles de agua, previa a la construcción de las presas NK y JC y posteriormente se deberá continuar con un muestreo periódico.
- El impacto de las presas está ligado a la creación de un embalse y a la modificación del régimen hídrico del río, por lo cual se debe enfatizar estudios específicos sobre el control de fluctuaciones del nivel del agua del acuífero libre en las inmediaciones de ambos márgenes y lejanías de ambos embalses (aguas arriba y abajo de las presas).
- Estudiar con mayor detalle la estabilidad de taludes y basaltos que coronan las mesetas, en especial aquellos situados en la margen izquierda del cierre de JC.
- Para comparar la relación entre aguas superficiales y subterráneas se deberá abordar un estudio hidroquímico de mayor envergadura, que contenga mínimamente el análisis de diferentes sitios de muestreo, con determinaciones de cationes y aniones mayoritarios.
- El Balance Hídrico para el Proyecto fue realizado de modo preliminar, el cual deberá ser ajustado a medida que se conozcan con mayor precisión datos de infiltración real, evapotranspiración real, fluctuaciones de los niveles de agua subterránea, etc.
- En la medida que se obtenga nueva información hidrogeológica, por medio de la construcción de pozos de exploración, medición de profundidad de niveles de agua, elaboración de mapa equipotencial, y datos meteorológicos de detalle, se deberá ajustar el modelo hidrológico conceptual.

3.14 BIBLIOGRAFÍA

- CHOW, V.T., D. R. MAIDMENT Y L.W. MAYS 1994. "Hidrología Aplicada". McGraw Hill Ed. Bogotá.
- CICTERRA-CONICET, 2015 PARA REPRESAS PATAGONIA. "Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Tercer Informe – Agosto 2015". Universidad Nacional de Córdoba (UNC), provincia de Córdoba, Argentina. (CICTERRA 2015a)
- CICTERRA-CONICET, 2015 PARA REPRESAS PATAGONIA. "Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015". Universidad Nacional de Córdoba (UNC), provincia de Córdoba, Argentina. (CICTERRA 2015b)
- CUITIÑO J.I. y SCASSO R.A., 2010. "Sedimentología y paleoambientes del Patagoniano y su transición a la Formación Santa Cruz al sur del Lago Argentino, Patagonia Austral". Revista de la Asociación Geológica Argentina 66(3): 406-417.
- CUITIÑO J.I. *et al.*, 2012. "High resolution isotopic ages for the early Miocene "Patagoniense" Transgression in Southwest Patagonia: Stratigraphic implications". Journal of South American Earth Sciences, 38: 110-122.
- CUSTODIO, E. & M. R. LLAMAS 1983. "Tratado de Hidrología Subterránea". Ed. Omega, T. I y II. (2a Ed.) Barcelona.
- ELIZABETH MAZZONI y MIRIAN VÁZQUEZ 2004. "Ecosistemas de mallines y paisajes de la Patagonia Austral (Provincia de Santa Cruz)", Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Gallegos, Convenio E.E.A. Santa Cruz. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- ELIZABETH MAZZONI y JORGE RABASSA 2011. "Types and internal hydro-geomorphologic variability of mallines (wet-meadows) of Patagonia: Emphasis on volcanic plateaus".
- FUNDACIÓN CENTRO INTERNACIONAL DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA, 2011 "Aspectos Hidrogeológicos de la Minería"- Catalunya, España.
- GEOSANTACRUZ 2015. "Informe hidrogeológico pozo CRNK-1, Campamento represa Néstor Kirchner".
- GHIGLIONE M. C. *et al*, 2009. "Structure and evolution of the austral basin fold-thrust belt, Southern Patagonian Andes". Revista de la Asociación Geológica Argentina, volumen 65 nº 1. ISSN 1851-8249. Buenos Aires, Argentina.
- GONZALEZ N., HERNANDEZ L., HERNANDEZ M. 2008. "Condicionantes climáticos y físicos de las regiones áridas en Argentina. Implicancias en el régimen hídrico superficial y subterráneo". Revista de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Recarga de Acuíferos, Aspectos generales y particulares en regiones áridas.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO *et al.*, 2002. Ingeniería Geológica. Edt. Pearson Education. Madrid
- HERNÁNDEZ, M.A., N. GONZÁLEZ Y R. A. SÁNCHEZ. 2002. "Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas. Cuenca del Río Seco, provincia de Santa Cruz. Argentina". XXXII IAH Congreso - VI Congreso ALHSUD. Mar del Plata. Ed. CD ROM y Libro de Resúmenes. (Hernández et al, 2002)

HERNÁNDEZ, M. A. 2005 “Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas (Síntesis)”. Actas II Seminario Hispano Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, pp.:249-254. ISBN950-665-349-6. Río Cuarto. 2005.

HERNANDEZ M., GONZALEZ N, HERNANDEZ L. 2010. “Procesos de recarga de acuíferos en regiones áridas”. Revista Latinoamericana de Hidrogeología -Vol. 7.

ÍTURRASPE, R.J. Y SOTFÍNÍ R.R. 2005. “Hidrología y Clima. En: Estudio de Prefactibilidad Ambiental de la construcción de las Represas La Barrancosa y Condor Cliff”. I Parte. Pág. 218-295. Ministerio de Economía y Obras Públicas, gobierno de la provincia de Santa Cruz- Universidad de la Patagonia Austral. Unidad Académica Río Gallegos.

MERCER J.H., 1976. “Glacial history of southernmost South America”. Quaternary Research. Volume 6, Issue 2, Pages 125-166. ISSN: 0033-5894. Editorial Elsevier

QUIRÓS R. *et al.* (1988). “Evaluación del rendimiento pesquero potencial de la República Argentina: I: datos. 1. Informe técnico nro. 7 del Dpto. de Aguas Continentales”. Inst. Nac. de Invest. y Des. Pesquero (INIDEP): 1-55.

RABASSA J., 2008. “Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego”. Development in Quaternary Sciences, vol 11,3. Elsevier, Amsterdam, pp: 13-56.

REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE, febrero 2016. Informe “Presa Presidente Néstor Kirchner. Campaña de investigaciones geológico-geotécnicas complementarias, año 2015” - Provincia de Santa Cruz. Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz - Documento Nro. NK-A.CV-ES.GT-(OG-00-00)-P001. (UTE 2016a)

REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE, setiembre 2016. Informe “Presa Pdte. Néstor Kirchner. Obras Civiles. Obras Generales. Informe Geológico – Geotécnico. Memoria Técnica. Geotecnia”. Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz - Documento Nro. NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902. Provincia de Santa Cruz (UTE 2016c)

REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE, agosto 2016. Informe “Presa Jorge Cepernic. Obras Civiles. Obras Generales. Informe Geológico – Geotécnico. Memoria Técnica. Geotecnia”. Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz - Documento Nro. JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900. Provincia de Santa Cruz (UTE 2016b)

SERMAN & ASOCIADOS S.A., 2015 PARA REPRESAS PATAGONIA. (4-15) EIA PRESAS SC. Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz.

SINGER B.S. *et al.*, 2004. “⁴⁰Ar/³⁹Ar Chronology of Late Pliocene and Early Pleistocene Geomagnetic and Glacial Events in Southern Argentina. Timescales of the Paleomagnetic Field, Geophys. Mon. Series 145, pp. 175-190.

SSRH, 2014. Red Hidrológica Nacional. Edición 2013.

STRELIN, J.A. 1995. “New evidences on the relationships between the oldest extra-andean glaciations in the Río Santa Cruz area”. Quat. of South Am. and Ant. Peninsul. A.A. Balkema, 9 (1991): 105-116, Rotterdam.

STRELIN J.A. y MALAGNINO, 1996. “Glaciaciones Pleistocenas del Lago Argentino y Alto Valle del Río Santa Cruz”. XIII Congreso Geológico Argentino, Vol IV: 311-326.

STRELIN J.A. *et al.*, 1999. "New evidence concerning the Plio-Pleistocene landscape evolution of Southern Santa Cruz region". Journal of South American Earth Sciences, 12. Pp. 333-342.

STRELIN J.A.y MALAGNINO E.C., 2009. "Charles Darwin and the oldest glacial events in Patagonia: the erratic blocks of the Río Santa Cruz Valley". Revista de la Asociación Geológica Argentina 64 (1): 101 – 108.

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS - Base de Datos Hidrológica Integrada - BDHI
<http://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/rh-base.php>.

VALLADARES, A. 2004. "Cuenca del rio Santa Cruz. Cuenca N° 70". Subsecretaría de Recursos Hídricos.

ZAMBRANO J. y URIEN C.M., 1970. "Geological outlines of the basins in Southern Argentina and their continuation off the Atlantic shore". J. Geophys. Res., v. 75, n. 8, p: 1363-1396.