



APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

PLAN DIRECTOR DE GESTIÓN AMBIENTAL
OA18
PROGRAMA DE MONITOREO HIDROGEOLÓGICO

Estudio Hidrogeológico



Secretaría de Gobierno de Energía
Ministerio de Hacienda
Presidencia de la Nación

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	- 1 -
2 OBJETIVOS	- 1 -
3 ÁREA DE ESTUDIO	- 2 -
4 METODOLOGIA	- 3 -
• RELEVAMIENTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO.....	- 3 -
• CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA E HIDROLÓGICA.....	- 3 -
• CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA	- 4 -
• RAZONAMIENTO CIENTÍFICO	- 4 -
5 CLIMA	- 5 -
5.1 CARACTÉRISTICAS GENERALES DE LAS PRINCIPALES VARIABLES	- 5 -
5.2 EVAPORACIÓN REAL	- 8 -
5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.....	- 8 -
5.4 CÁLCULO DE EVAPORACIÓN DE REFERENCIA “ETO” (PENMAN-MONTEITH).....	- 9 -
6 GEOLOGIA.....	- 10 -
6.1 GEOLOGÍA DEL SECTOR REPRESA NÉSTOR KIRCHNER.....	- 12 -
6.2 GEOLOGÍA DEL SECTOR REPRESA JORGE CEPERNIC.....	- 16 -
7 GEOMORFOLOGIA.....	- 19 -
7.1 GEOMORFOLOGÍA DEL SECTOR REPRESA NÉSTOR KIRCHNER.....	- 19 -
7.2 GEOMORFOLOGÍA DEL SECTOR REPRESA JORGE CEPERNIC.....	- 22 -
8 HIDROLOGÍA GENERAL.....	- 24 -
8.1 LAGO VIEDMA Y AFLUENTES.....	- 26 -
8.2 LAGO ARGENTINO Y AFLUENTES.....	- 26 -
9 HIDROGEOLOGÍA	- 31 -
9.1 ACUÍFEROS EXISTENTES GENERALIDADES.....	- 32 -
9.1.1 Acuífero de Subálveo	- 32 -
9.1.2 Acuífero de Meseta	- 33 -
9.2 UNIDADES HIDROLITOLÓGICAS.....	- 34 -
9.3 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	- 36 -
9.3.1 Área NK.....	- 38 -
9.3.2 Área JC	- 39 -
9.4 HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA.....	- 41 -
9.5 HIDROQUÍMICA	- 42 -
9.5.1 Pozos existentes (geotécnicos - abastecimiento de agua y/o perforaciones de estudio) .	- 44 -

9.5.2 Mallines/vertientes.....	- 45 -
9.5.3 Cursos de agua superficial (río, lagos).....	- 47 -
10 USO DEL AGUA EN EL AREA DE ESTUDIO.....	- 49 -
10.1 USOS ACTUALES DEL AGUA	- 49 -
11 BALANCE HIDROLÓGICO.....	- 49 -
11.1 PROCESOS DE RECARGA DE ACUÍFEROS EN REGIONES ÁRIDAS	- 50 -
11.2 BALANCE HÍDRICO EN EL PROYECTO	- 51 -
12 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL PRELIMINAR (MHCP).....	- 53 -
13 PREDICCIONES DE AFECTACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE REPRESAS.....	- 53 -
13.1 NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	- 53 -
13.1.1 Deslizamiento de taludes.....	- 54 -
13.2 RÉGIMEN HÍDRICO DE LOS MANANTIALES.....	- 55 -
13.3 CALIDAD QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	- 55 -
14 SÍNTESIS PRINCIPALES DEL ESTUDIO	- 55 -
15 RECOMENDACIONES	- 60 -
16 SALUTACIÓN	- 61 -
17 BIBLIOGRAFÍA	- 62 -

ANEXOS

ANEXO I – Clima

ANEXO II – Registro Fotográfico

MAPAS

Mapa 1 - Ubicación general del área de estudio.

Mapa 2 - Ubicación de sitios relevados.

Mapa 3a – Censo de pH en sector NK.

Mapa 3b – Censo de pH en sector JC.

Mapa 4a – Censo de Conductividad eléctrica en sector NK.

Mapa 4b – Censo de Conductividad eléctrica en sector JC.

Mapa 5 – Manantiales vs cota de embalse – Sector NK.

Mapa 6 – Manantiales vs cota de embalse – Sector JC.

Mapa 7 – Ubicación de pozos hidrogeológicos de exploración y monitoreo.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO REPRESAS NÉSTOR KIRCHNER Y JORGE CEPERNIC - PROVINCIA DE SANTA CRUZ.

INFORME FINAL

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe ha sido realizado por solicitud de la Unión Transitoria de Empresas (UTE) en el marco del “**Estudio Hidrogeológico – Proyecto Represas Néstor Kirchner (NK) y Jorge Cepernic (JC)**”, situado en la Provincia de Santa Cruz, Argentina.

Durante los meses de octubre - diciembre del año 2016, se realizaron los estudios de referencia a partir de dos campañas en la zona de las represas 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.

La dirección ejecutiva del trabajo expuesto fue ejercida por el Lic. en Geología Carlos Scatizza, con la colaboración de los Lic. en Geología Marcos Wocca y Ezequiel Sanchez. El relevamiento de campo fue llevado por los profesionales anteriormente mencionados.

El equipo de trabajo en gabinete incluyó la participación del Ing. Sergio Preiato, la Lic. en Geol. Natalia Zanetti y la Lic. en Geol. Fernanda Dávila estuvo a cargo del procesamiento de información cartográfica mediante herramientas ArcGis 10.1.

Durante los relevamientos de campo y tareas de gabinete, se contó con la colaboración permanente del personal de Medio Ambiente de la UTE e Inspección de obra. Se agradece también al personal asignado para el transporte terrestre y equipo de timonel para lograr desempeñar las tareas en sitios de difícil acceso.

2 OBJETIVOS

El principal objetivo, consiste en 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. Ante ello los interrogantes a responder para cada una de las áreas, es si a partir de la instalación de los Proyecto 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;

Como objetivo secundario, se plantea una serie de recomendaciones para mejorar el conocimiento del sistema hidrológico subterráneo.

3 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 (perílogo), 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.

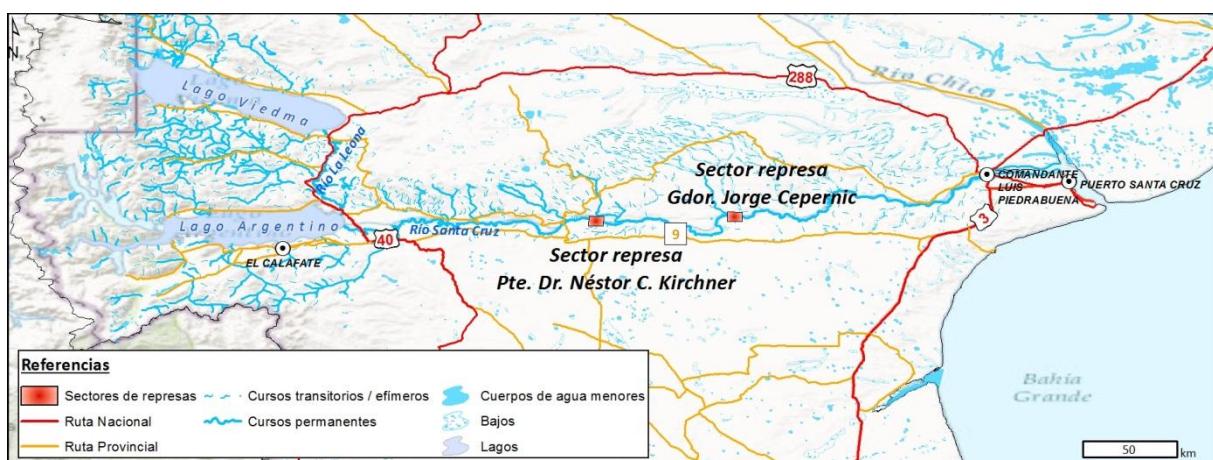


Figura 3.1. Ubicación general del área de estudio.

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).

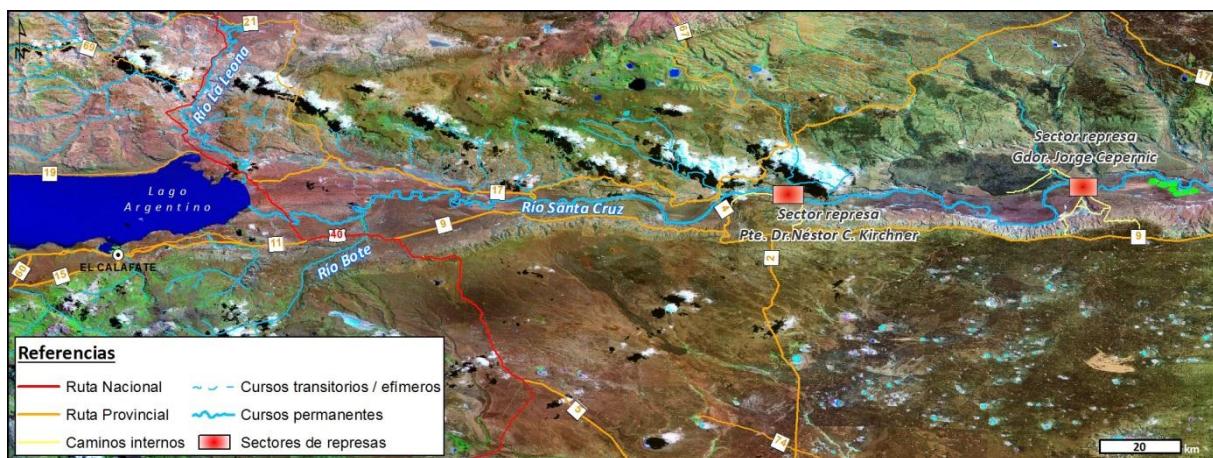


Figura 3.2. Accesos al área de estudio.

4 METODOLOGIA

El informe se confeccionó mediante tareas de gabinete y relevamientos de campo. Durante la etapa de gabinete se recopiló información antecedente (EIA, informes geológicos/geotécnicos, ambientales, cartografía geológica, geomorfológica, topográfica), y trabajos propios para su análisis aportados por la UTE, más aquella referente a los diferentes temas obrante en la base de datos de Hidroar SA (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 los márgenes del río Santa Cruz. El objetivo de este relevamiento fue verificar las litológicas con el objeto de advertir su comportamiento respecto a las aguas subterráneas (acuíferos, acuitardos, acuíclidos, acúfugos) 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 represas 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 realizaron con un equipo marca Hanna. (Ver Fotografías 4.1 a 4.3).



Fotografía 4.1. Medición de parámetros
In situ en campo.



Fotografía 4.2.
Conductivímetro para
medición de campo.



Fotografía 4.3. Medidor de
pH y Tº para utilizar en
campo.

Cada punto muestrado y censado, fue localizado con un GPS marca Garmin y georreferenciado para su localización en el GIS, volcándose en la figura de ubicación general (ver Fotografía 4.4).



Fotografía 4.4. 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.

5 CLIMA

5.1 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*”, 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.

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).

Cuadro 5.1. Estaciones meteorológicas utilizadas en la línea de base ambiental.

En la Figura 5.1 se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas mencionadas y la que se utilizará en el presente informe.

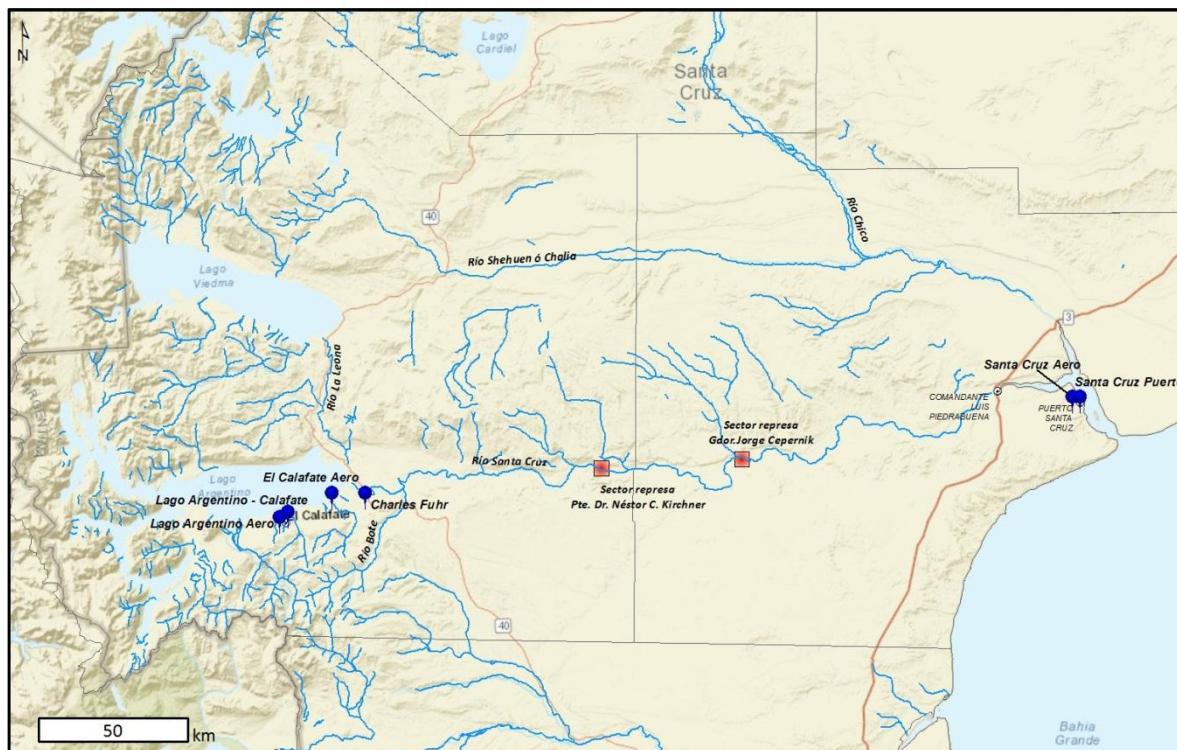


Figura 5.1. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el Estudio de impacto ambiental antecedente y presente estudio.

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.



Fotografía 5.1. Estación Lago Argentino-Calafate.

En el cuadro 5.2 se muestran los valores medios mensuales de las principales variables analizadas.

Variable climática	Promedio mensual para el periodo 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

Cuadro 5.2. Resumen de variables medidas en la Estación Lago Argentino-Calafate.

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 cuadro 4.2). 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 registrado 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 cuadro 4.2). 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 la 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.

5.2 Evaporación real

La figura 5.3 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).

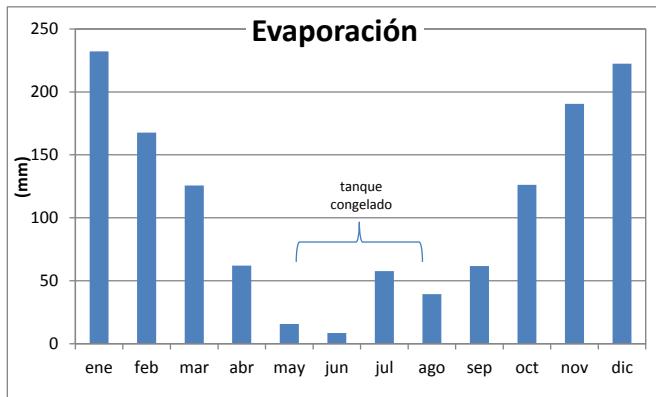


Figura 5.3. Evaporación media mensual estación Lago Argentino-Calafate (período 1993-2016).

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.

5.3 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 ítem 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°). 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 Tº y la P.

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

$$\text{ETR} = P - X P^2$$

Dónde,

ETR: evapotranspiración real en metros/año.

P: Precipitación (metros/año).

X: $1/0,8 + 0,14*T$

T: Temperatura media anual (ºC)

El cuadro 5.3 muestra los resultados de la Evapotranspiración anual, realizado mediante las dos formulaciones.

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)

Cuadro 5.3. Cálculo de la Evapotranspiración por diferentes metodologías.

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

5.4 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 (ºC), 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 cuadros 5.4.



Fotografía 6.1. 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*, 2011). 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 Fotografía 6.2).



Fotografía 6.2. 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 glacilacustres depositados por una serie de glaciaciones que habrían comenzado en el Mioceno (*Mercer*, 1976). Estos eventos, fundamentalmente agradiacionales, 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).



Fotografía 6.3. Coladas basálticas formando mesetas en la zona de estudio.

En el Cuadro 6.1 puede observarse estratigráfica regional.

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 glacifluviales y glacilacustres
TERCIARIO	PLIOCENO - MIOCENO sup	Morenas Arroyo Verde (AV) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glacifluviales y glacilacustres
		Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glacifluviales
		Morenas Estancia La Fructuosa (ELF) y sus depósitos de gravas y arenas glacifluviales
		Coladas de Basaltos pleistocenas
		Coladas de Basaltos pliocenas
		Terraza San Fernando y sus gravas y arenas glacifluviales
	MIOCENO	Terraza La Australasia y sus gravas y arenas glacifluviales
	MIOCENO-EOCENO	Morenas Pampa Alta y sus depósitos de gravas y arenas glacifluviales
		Terraza Cerro Cuadrado y sus gravas y arenas glacifluviales
		Fm Santa Cruz
		Fm 25 de Mayo

Cuadro 6.1. Estratigrafía regional para el área de estudio.

6.1 Geología del sector represa 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 ostreas son típicas de la formación), corales y gasterópodos. Indicarían un ambiente de moderada a baja energía.
- Mantos biogénicos, con acumulaciones esqueletales (principalmente valvas de ostreas, 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 conglomeráticasgradando 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 centímetrica de láminas de arena fina con mantos pelíticos, donde las primeras indican un momento tráctivo y los segundos un momento de decantación por baja energía. Se encontraron trazas fósiles y estructuras tráctivas. 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 tráctivas 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 subáctico (en etapas lacustres, palustres, de encaramientos 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 arenas finas brechadas. Corresponden a fragmentos angulosos a subangulosos rodeados por arenas o limos arcillosos. Se encontraron inflexiones, grietas irregulares y morfologías en cuña llenas 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 detritico 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, descripta 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 polimicticos 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 Torcas, 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 estadios 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 glacial, 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 glacial en el cual los depósitos se encauzaron en los anteriores con un resalte 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 6.1.

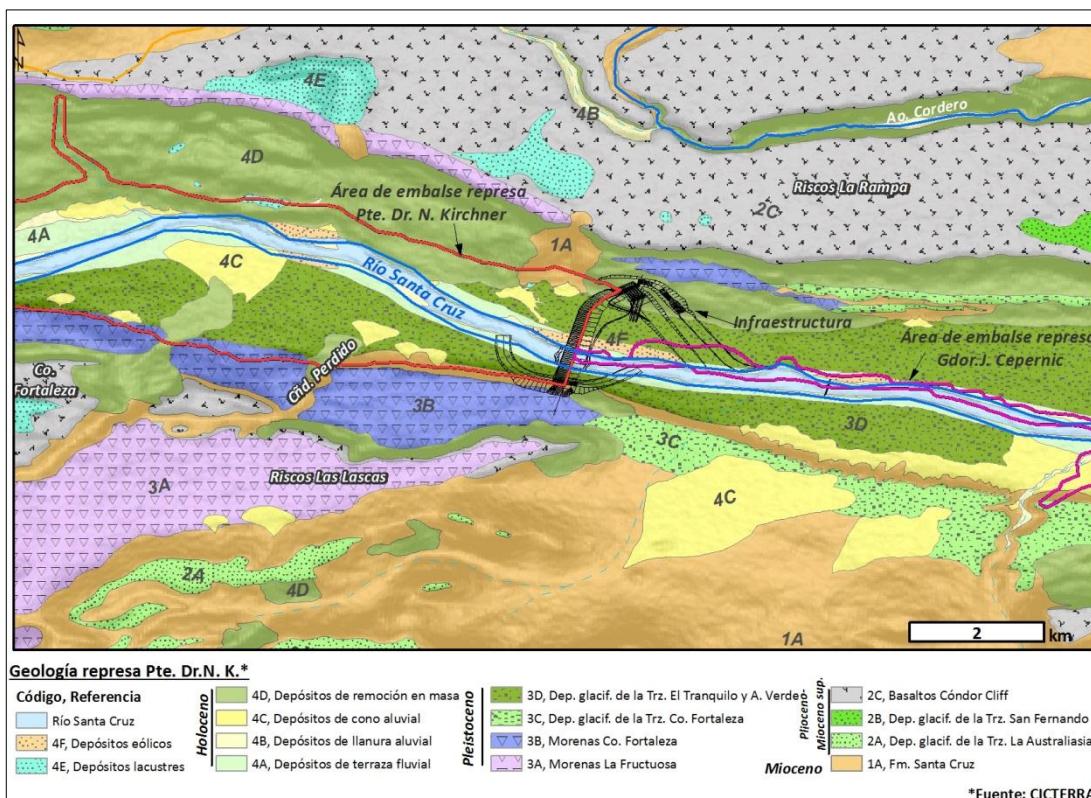


Figura 6.1. Mapa geológico de la zona de emplazamiento de la represa Pte. Dr. N. Kirchner. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015)

6.2 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 BI 1, alcanzo 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 dominante 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 arenas 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 Figuras 6.2 y 6.3 pueden observarse distintos cortes transversales que reflejan las litologías atravesadas.

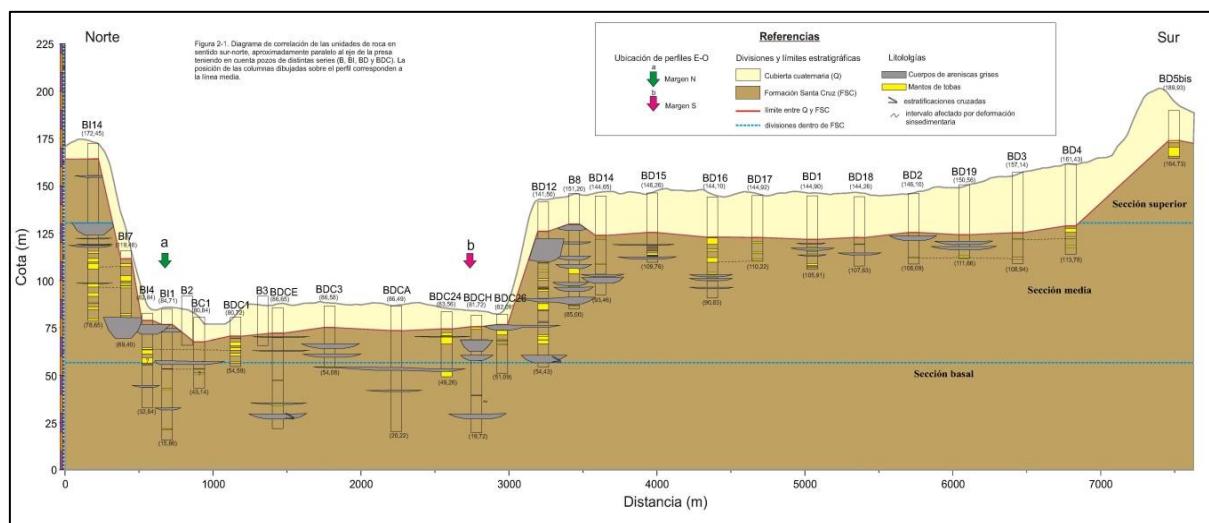


Figura 6.2. Perfil norte – sur del valle del Río Santa Cruz en la zona de emplazamiento de la presa Jorge Cepernic. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015).

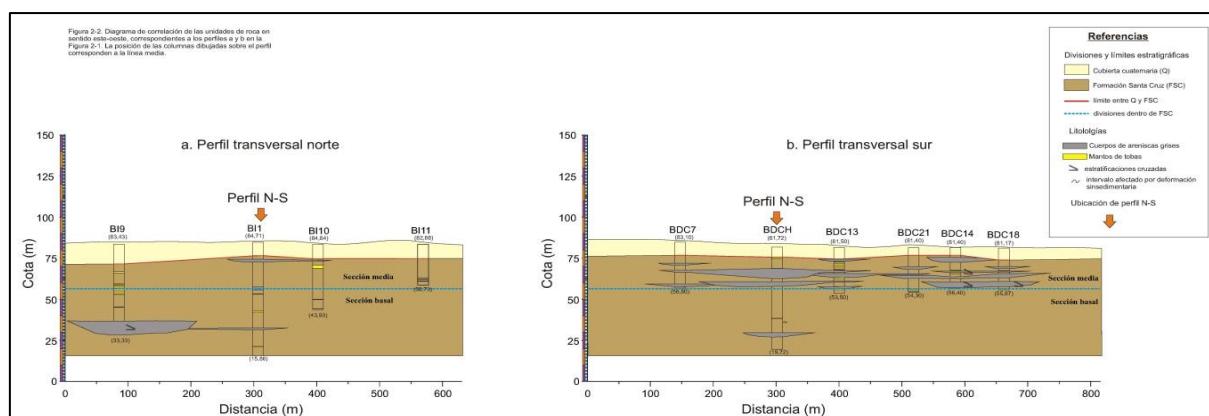


Figura 6.3. Perfiles este - oeste de la zona de emplazamiento de la presa Jorge Cepernic. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015).

Siguiendo en orden cronológico, aparecen los depósitos glacifluviales 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 glaciaciación, se generó esta nueva planicie glacifluval, 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 hábito 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 abanicós 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 arenolimosas. 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 6.4.

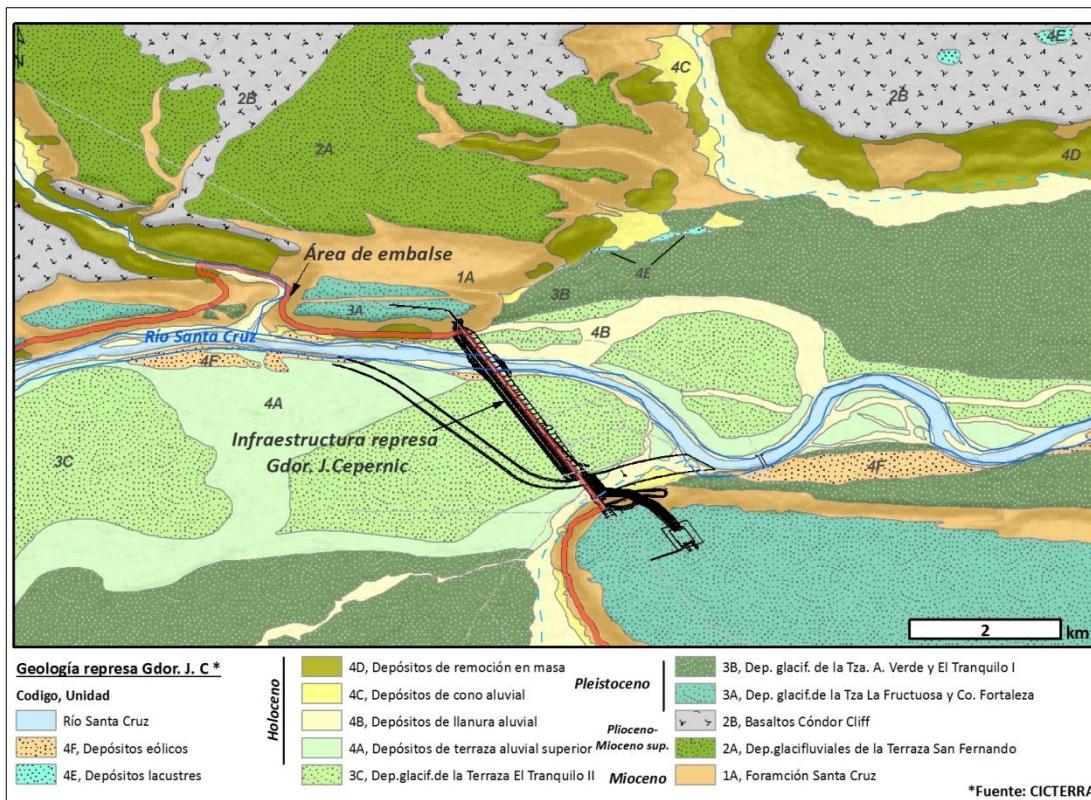


Figura 6.4. Mapa geológico de la zona de emplazamiento de la represa Gdor. Jorge Cepernic. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz - Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015)

7 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 relicticas.

7.1 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 monocanal 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 glacifluviales. 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 glacial

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 geoformas fueron retrabajadas por la glaciación Cerro Fortaleza.

Luego de la glaciación Estancia La Fructuosa se produjo un estadio interglacial 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 glacifluviales 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 interglaciarios con profundización vertical y cauces monocanal. 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 epivolcánicas 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 basalto, que son causadas debido al empinamiento de la pendiente y al alto grado de

diacasamiento, 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 glacifluviales, 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 Fructuosa.

Morfología Eólica

Se distinguieron pequeñas dunas parabólicas, grandes hoyas de soprido, 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 7.1.

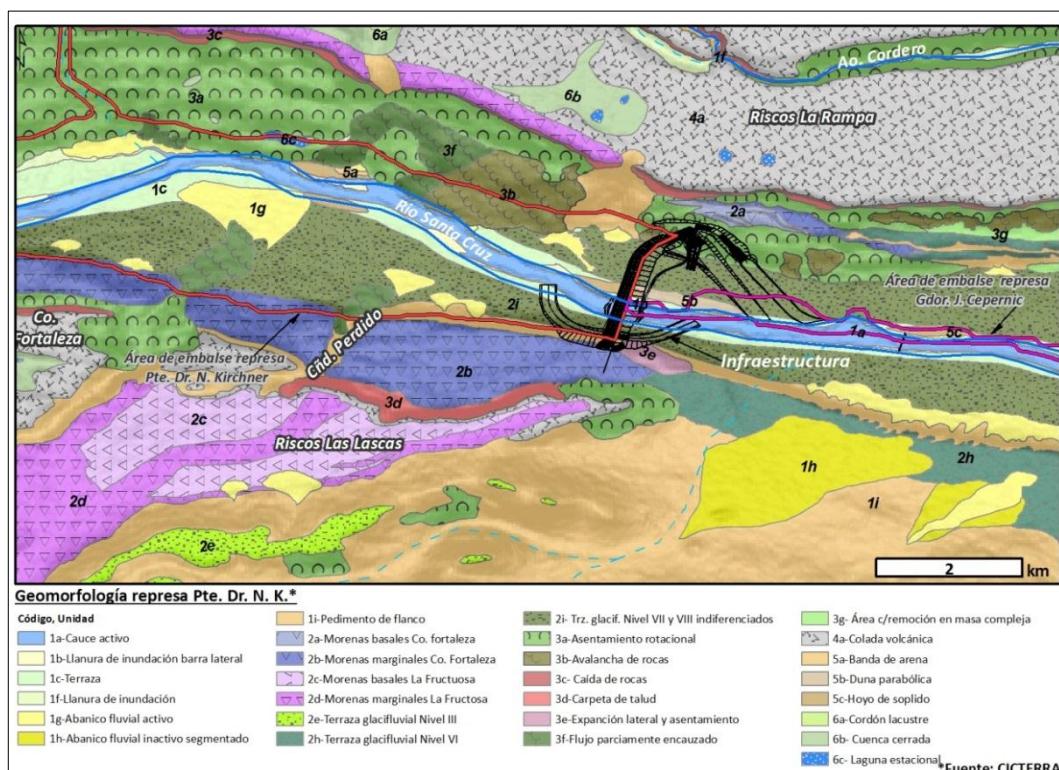


Figura 7.1. Mapa geomorfológico de la zona de emplazamiento de la represa Pte. Dr. N. Kirchner (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz - Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015)

7.2 Geomorfología del sector represa 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 glaciaria

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 estadío interglacial.

En la zona de la presa JC se hallaron 4 terrazas principales, de las cuales dos de ellas abarcaban 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 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

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 soprido. 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 glacifluval 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 7.2.

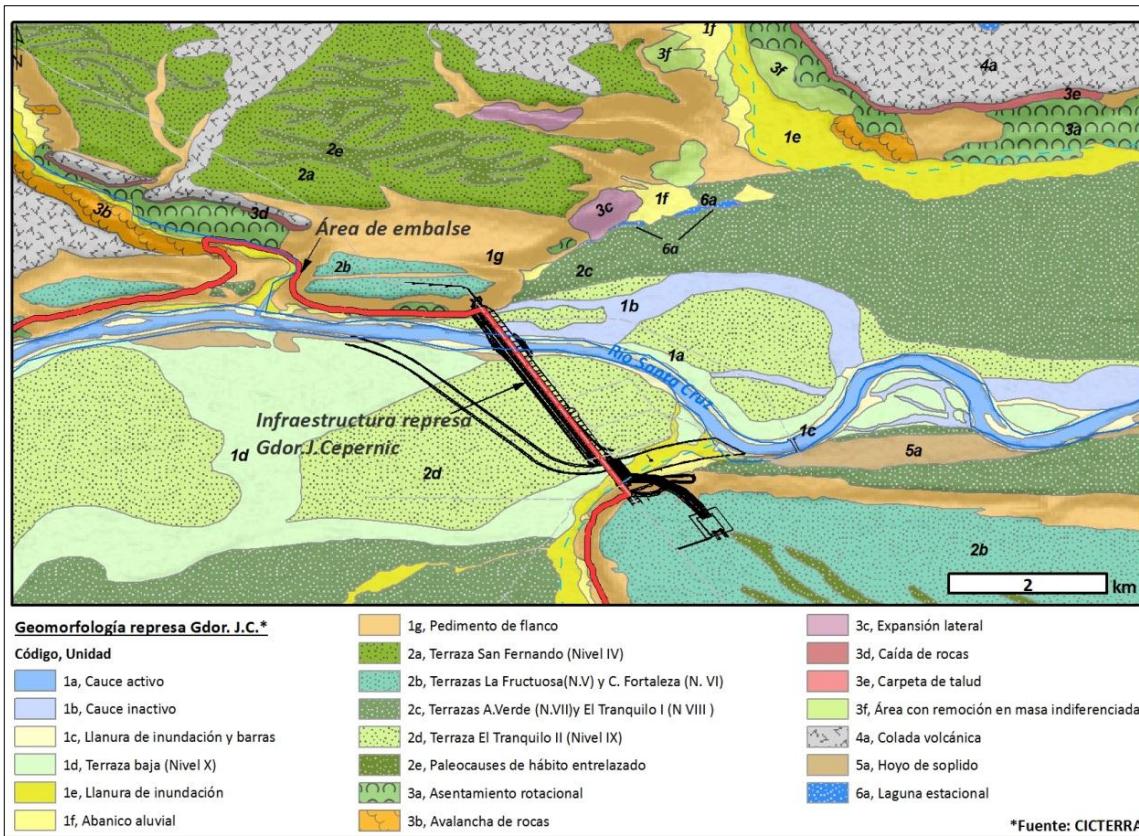


Figura 7.2. Mapa geomorfológico de la zona de emplazamiento de la represa Gdor. Jorge Cepernic. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015)

8 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 (íturraspe y Sotfíní, 2005), ver Figura 8.1.

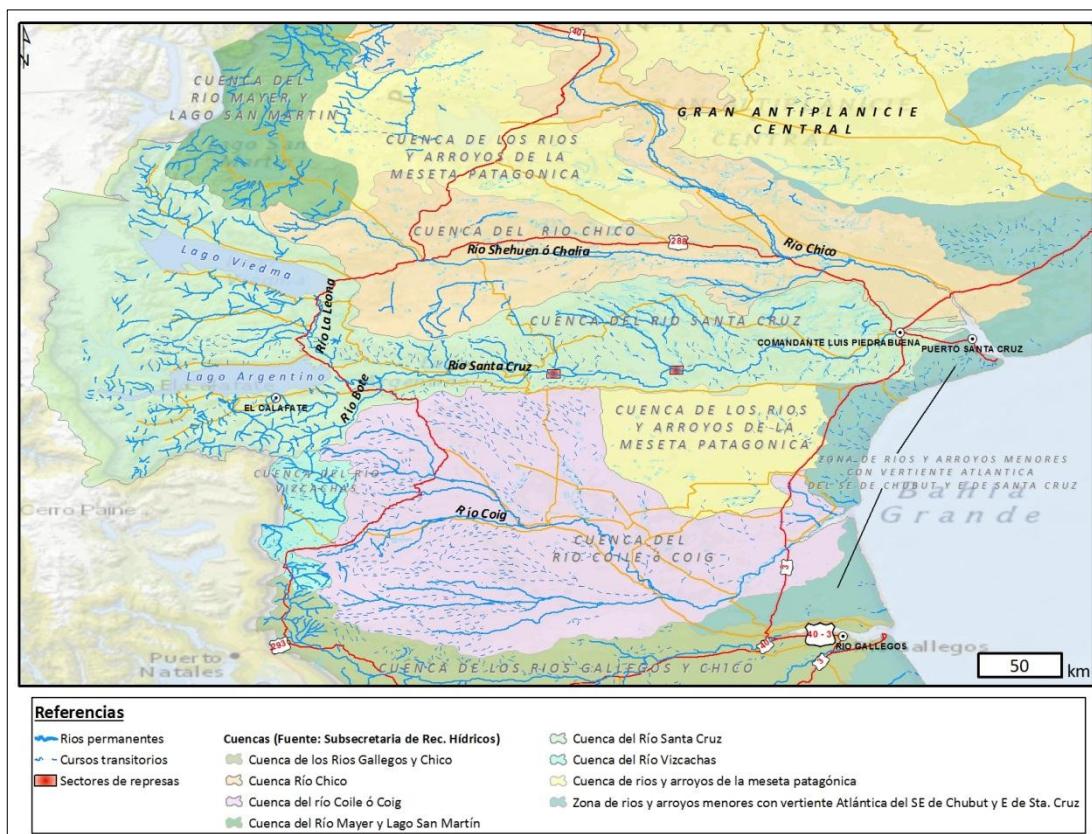


Figura 8.1. Cuenca del río Santa Cruz y aledañas.

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/.

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 8.2).

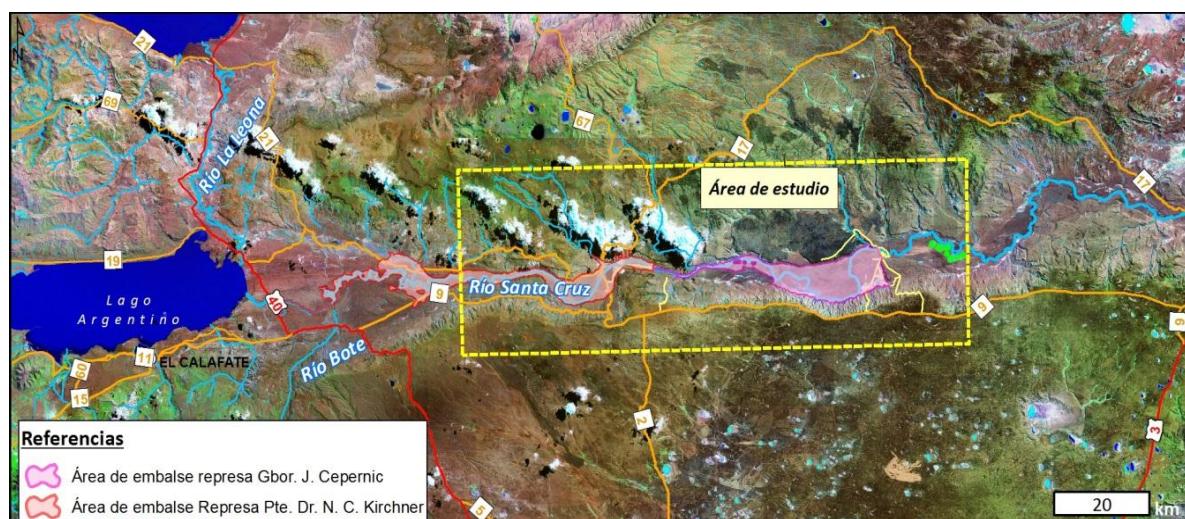


Figura 8.2. Imagen general del área general de estudio relevada, lagos y cursos hidrológicos principales.

8.1 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 Sotfíní, 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 8.3.

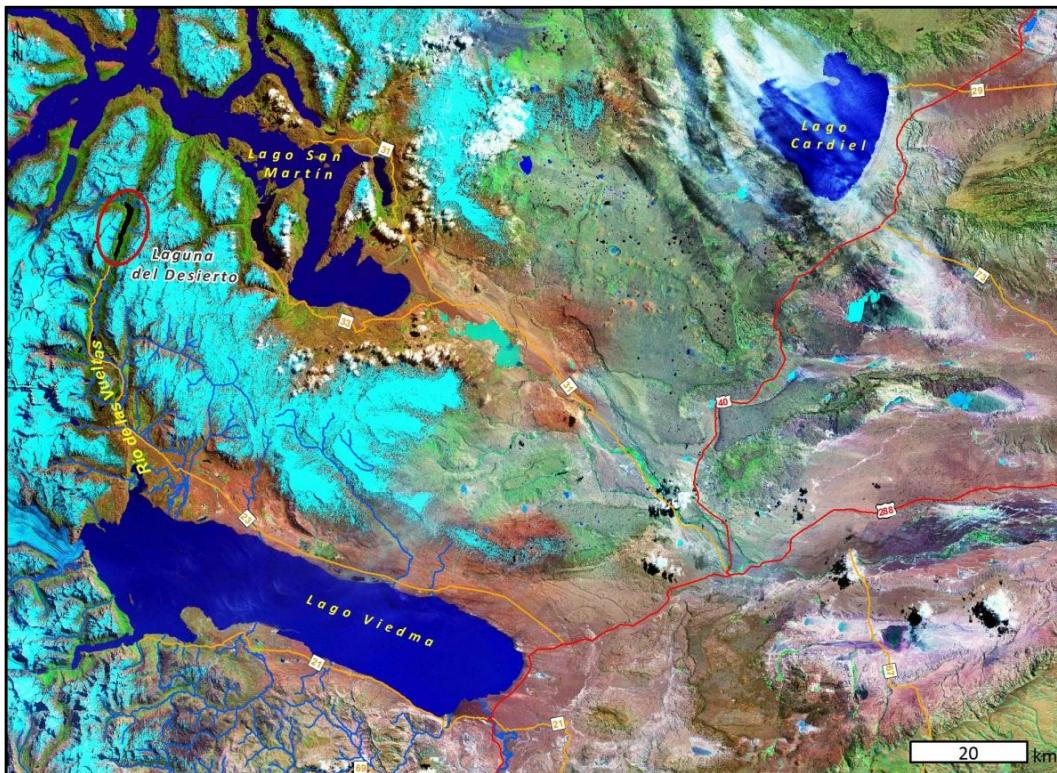


Figura 8.3. Imagen del lago del Desierto, Viedma y río de Las Vueltas.

Por la margen oeste del lago Viedma, descienden lengüas glaciares y aguas de fusión que forman ríos como el Túnel, emisario del lago homónimo. El glacial 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 (Íturraspe y Sotfíní, 2005; Valladares, 2004).

8.2 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 fluvioglaciado. 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 8.5. 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 fortalecerse. En la Figura 8.6 se puede observar los aumentos del nivel del nivel del brazo previo a la ruptura.

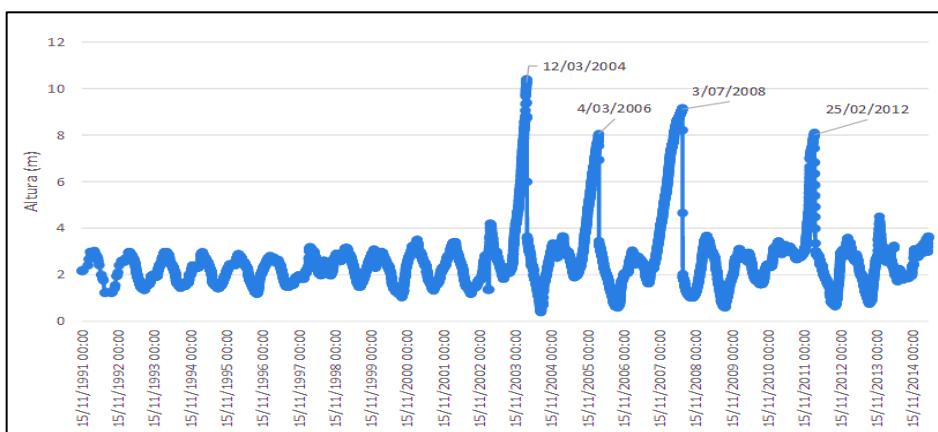


Figura 8.6. Altura del brazo Rico período 9/11/1991-29/04/2015. Estación Parque Nacional Los Glaciares (50° 25' 34,00"S -72° 44' 52,20"O). Los datos fueron tomados de la página de la Subsecretaría de Recursos Hídricos <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmFiltro.aspx>.

Los principales tributarios de brazo Rico son el río Mitre con un módulo medio igual a 4,61 m³/s (1991-2013). Fuente: 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), fuente: 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 Sotfíní (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 8.7 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 chico registran mayores niveles.

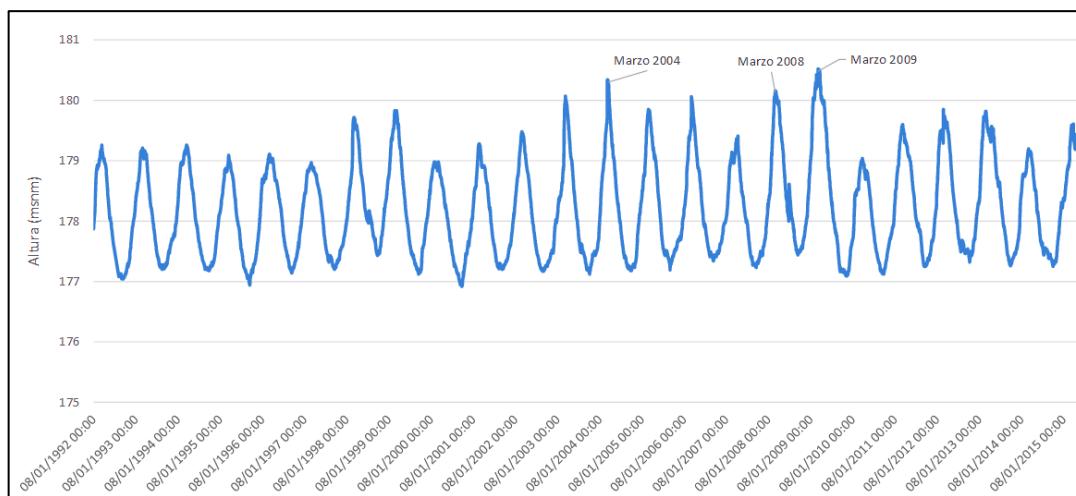


Figura 8.7. Altura del Lago Argentino período 8/01/1992-30/04/215. Estación El Calafate (50° 19' 12,00"S -72° 15' 39,60"O). Los datos fueron tomados de la página de la Subsecretaría de Recursos Hídricos. <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmFiltro.aspx>. Se consideró la altura de la estación 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 Figuras 2-8a,b y c), 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 8.8a, b y c, especialmente en el gráfico 7.8c se aprecia una regularidad en el régimen, lo que configura un contexto históricamente predecible para la vida acuática.

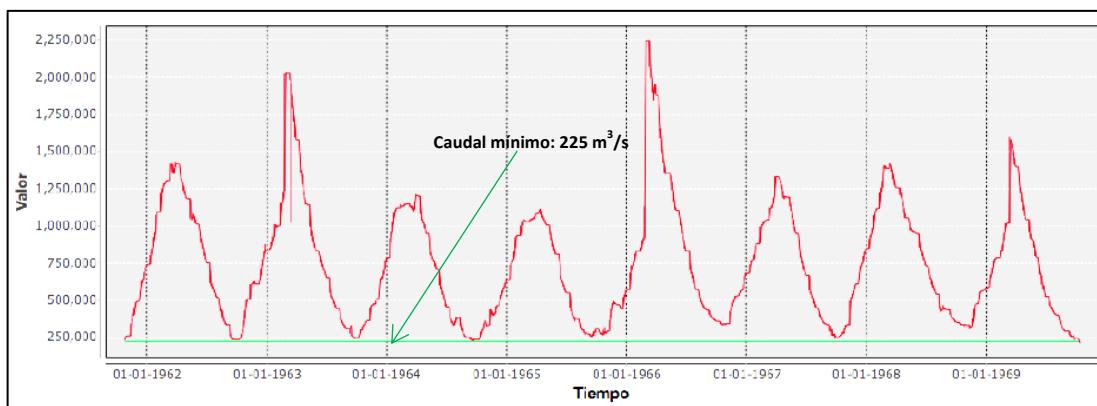


Figura 8.8a. Curvas de caudales del río Santa Cruz (lts/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

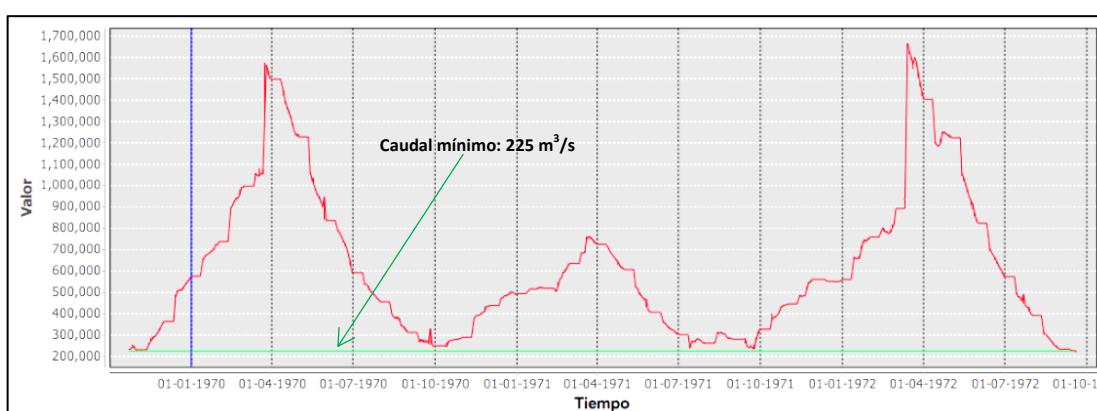


Figura 8.8b. Curvas de caudales del río Santa Cruz (lts/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

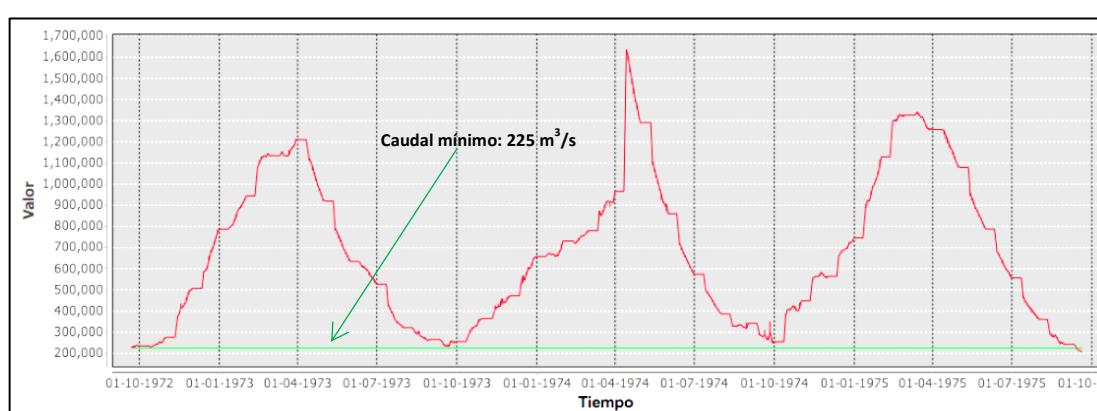


Figura 8.8c. Curvas de caudales del río Santa Cruz (lts/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

A partir de los datos antecedentes, se adoptó como nivel de referencia al que corresponde a un caudal mínimo de $225 \text{ m}^3/\text{s}$ (línea verde en las Figuras 2. a, b y c).

En la Figura 8.9 se presentan el régimen hidrológico del río Santa Cruz en Charles Fuhr ($50^{\circ} 15' 07.60''\text{S}$ - $71^{\circ} 54' 28.10''\text{O}$).

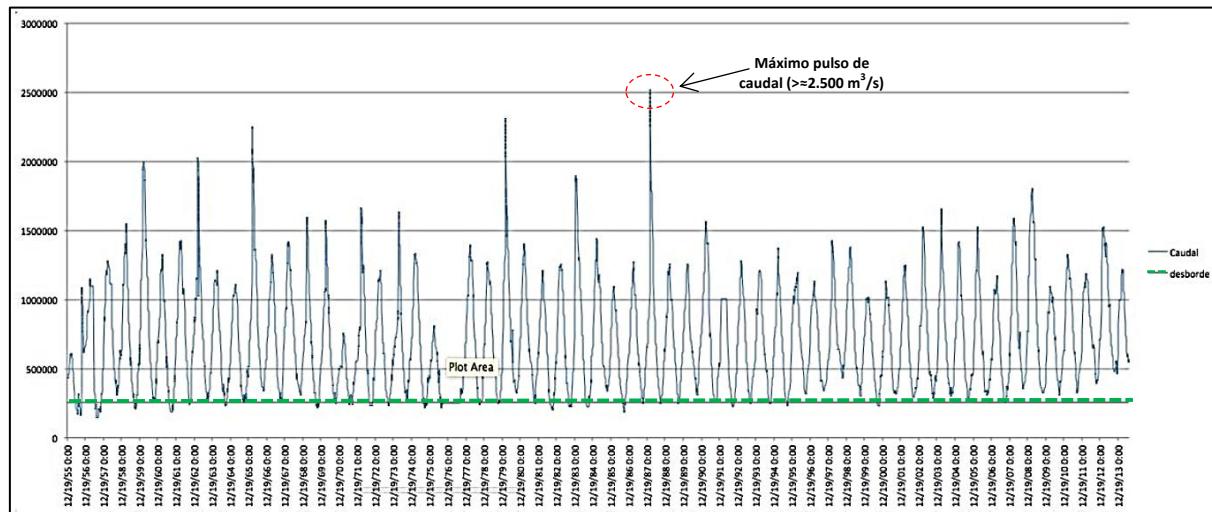


Figura 8.9. Régimen hidrológico del río Santa Cruz en Charles Fuhr ($50^{\circ} 15' 07.60''\text{S}$ - $71^{\circ} 54' 28.10''\text{O}$). Caudales expresados en lts/s. Período: 1955-2014. (Fuente: Estudio de impacto ambiental aprovechamientos hidroeléctricos del río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz)

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.

Iturraspe y Sotfíní (2005) compararon los caudales diarios medidos por el SMN 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 $14 \text{ m}^3/\text{s}$, 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.

9 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 km^2 . 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 km^2 de extensión.

9.1 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*”, 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**

9.1.1 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 8.1 – 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 del ítem.

9.1.2 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 glacifluviales y coladas lávicas.

En la zona del cierre proyectado, 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 glacifluval, cubiertas por los Basaltos fracturados (ver Figura 9.1 – gráfico A y B).

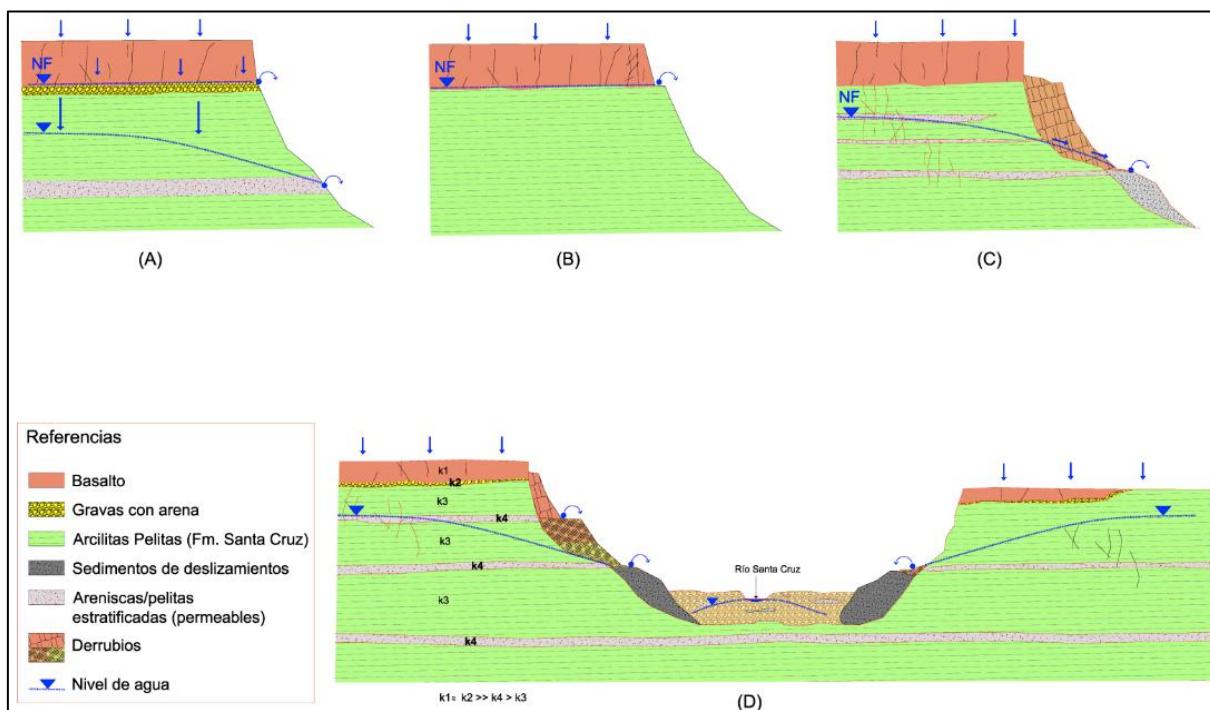


Figura 9.1. Esquema de sistema típico de acuíferos en el área de estudio.

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 sobrepuertos (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 9.1 A y ANEXO II – Registro Fotográfico.

Estas gravas no siempre presentes (Fig. 9.1 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 (Fig. 9.1 D, y ver Fotografía 9.1).



Fotografía 9.1. Manantial que aflora 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 9.1 C).

9.2 Unidades hidrolitológicas

Sobre la base de la caracterización geológica presentada en el Capítulo 6, 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

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 glaciar. 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 litologías del período Terciario (Fm. Santa Cruz y 25 de Mayo) se comportarían como hidroapoyo, debido a su baja permeabilidad.

9.3 Parámetros hidrogeológicos

Sobre la base de las características hidrogeológicas del subsuelo definidas en el ítem 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 9.2).

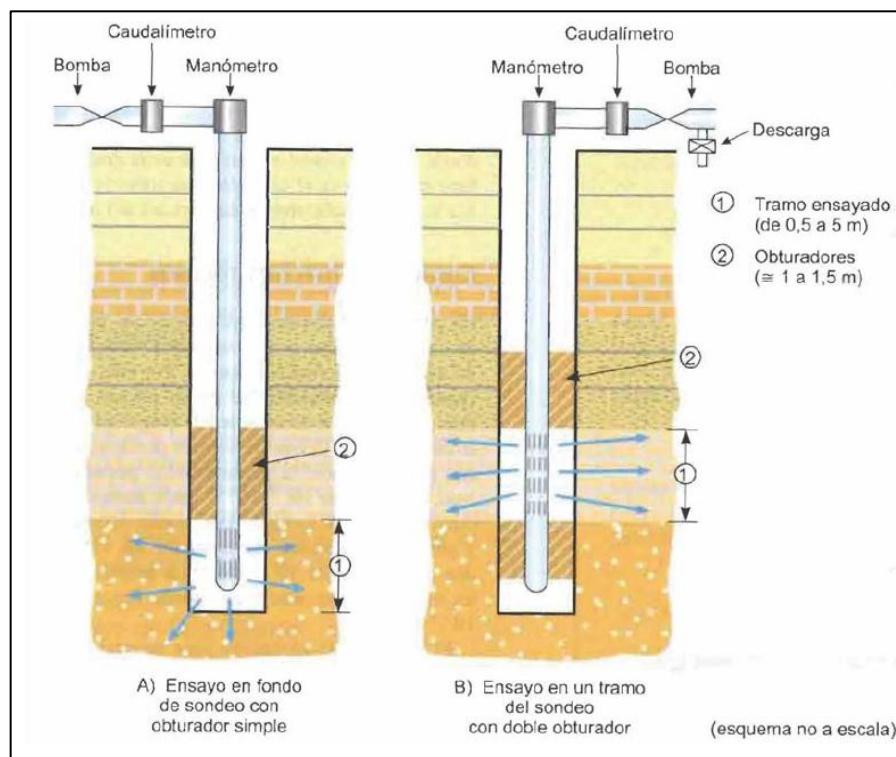


Figura 9.2. Esquema de ensayo de tipo Lugeon en un sondeo con uno o dos obturadores (González de Vallejo, et al., 2002, modif.).

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 Cuadro 9.2).

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

Cuadro 9.2. Relación de la permeabilidad de un macizo a diversas presiones de inyección, con el valor obtenido del ensayo Lugeon (Olalla y Sopeña, 1991, en González de Vallejo et al., 2002).

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.

9.3.1 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 9.3). 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.

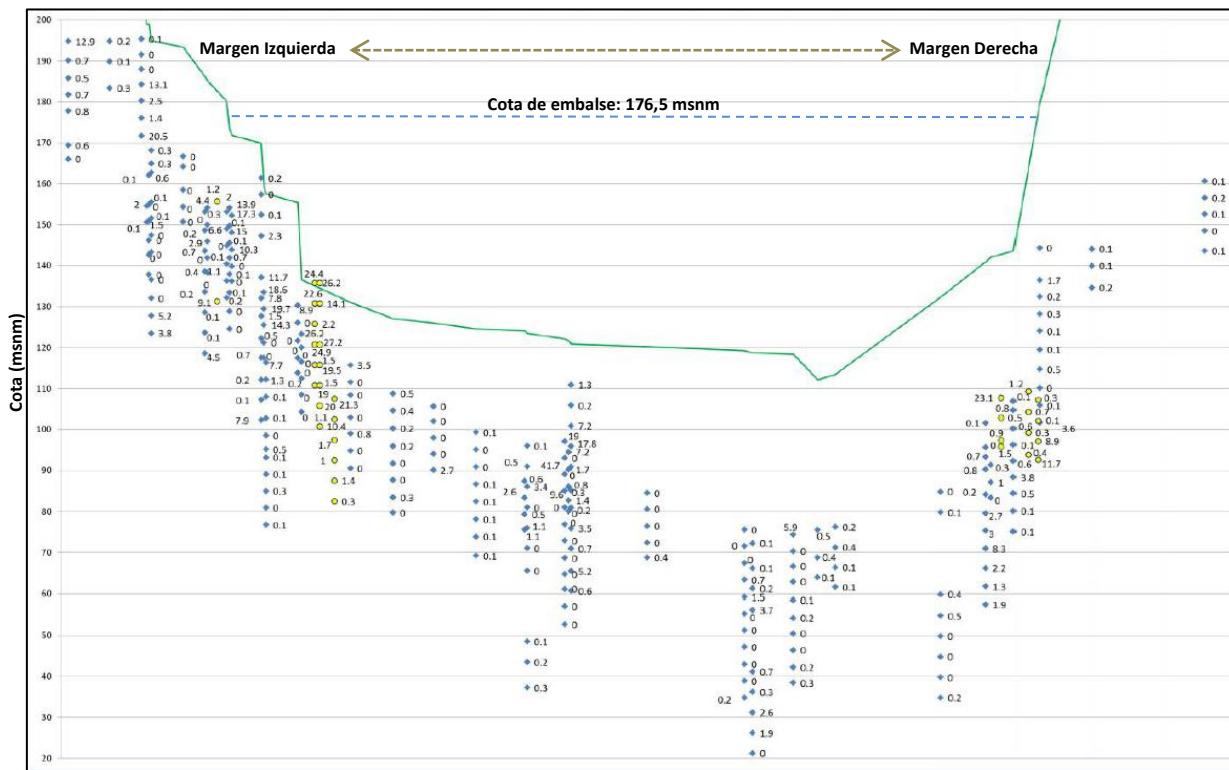


Figura 9.3. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon ejecutados en el sector de cierre de la futura presa NK.

En la Figura 9.4 se muestra el mismo croquis pero se representan únicamente los ensayos que arrojaron valores mayores a 5 UL ($K \approx 0,04 \text{ m/d}$), 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 ($K \approx 0,01 \text{ m/d}$), la cual según la clasificación de Custodio y Llamas, se correspondería con litologías permeables atribuibles a arenas finas o mezcla de arenas y limos.

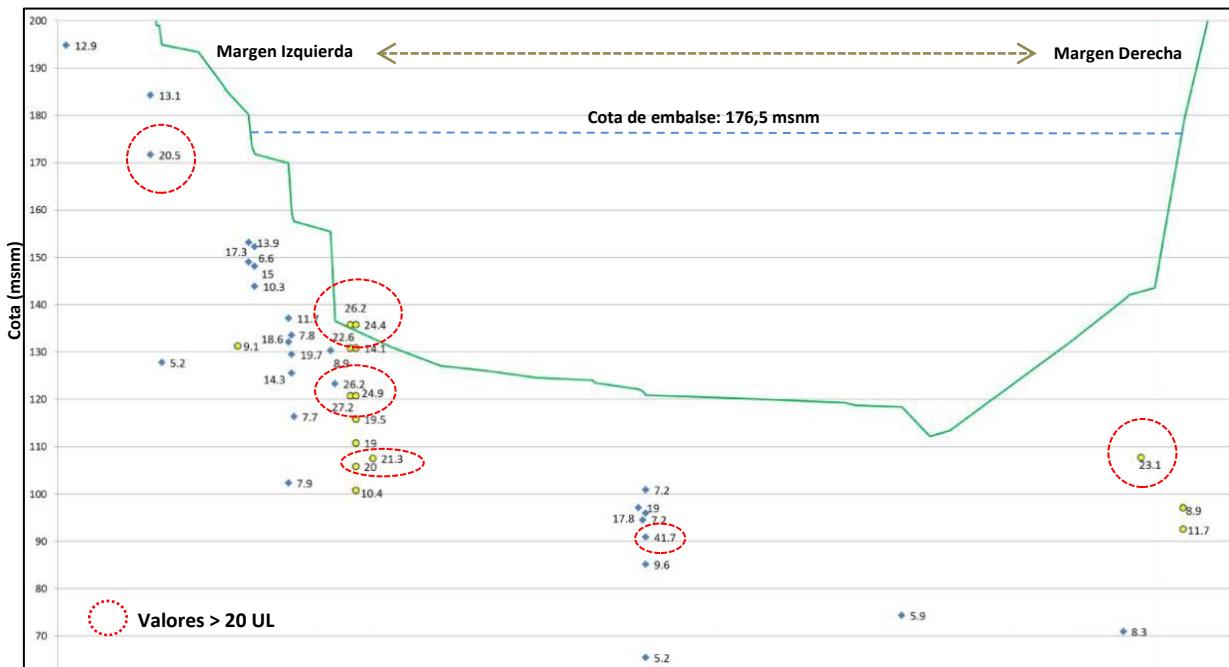


Figura 9.4. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon en eje NK, cuyos valores son mayores a 5 UL.

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.

9.3.2 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 izquierdo a margen derecho, e indicando en cada punto el valor de la UL (ver Figura 9.5). 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.

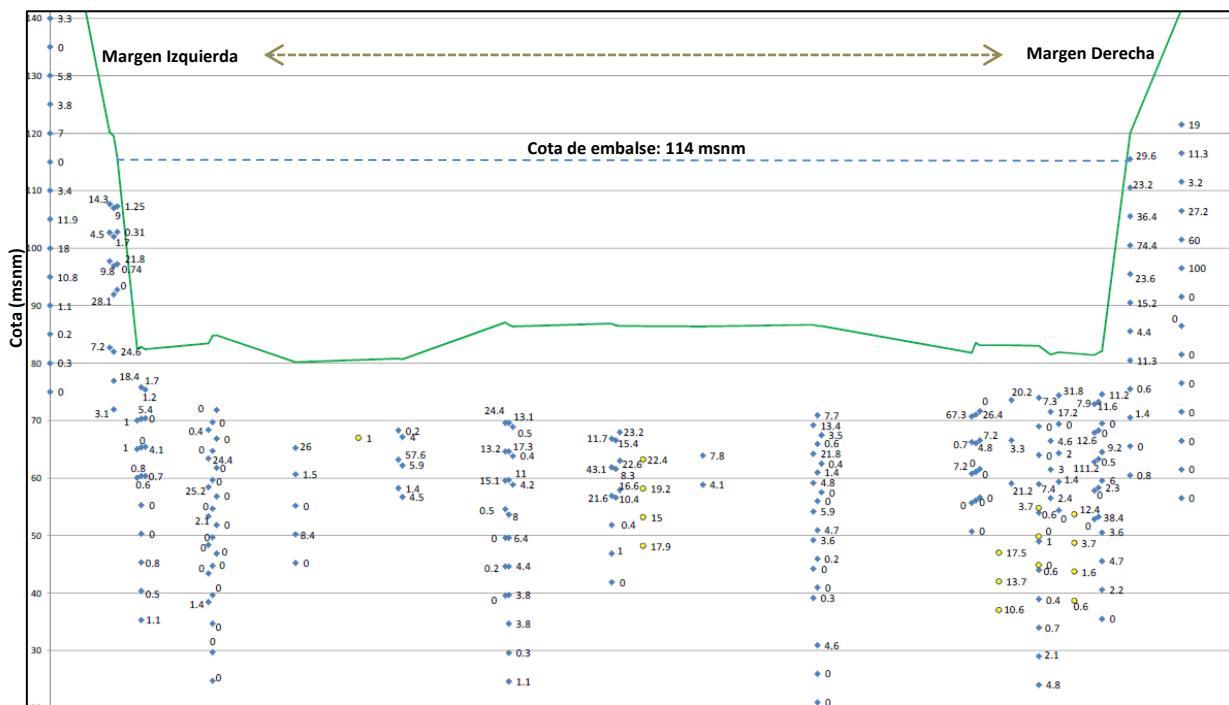


Figura 9.5. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon ejecutados en el sector de cierre de la futura presa JC.

En la Figura 9.6 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.

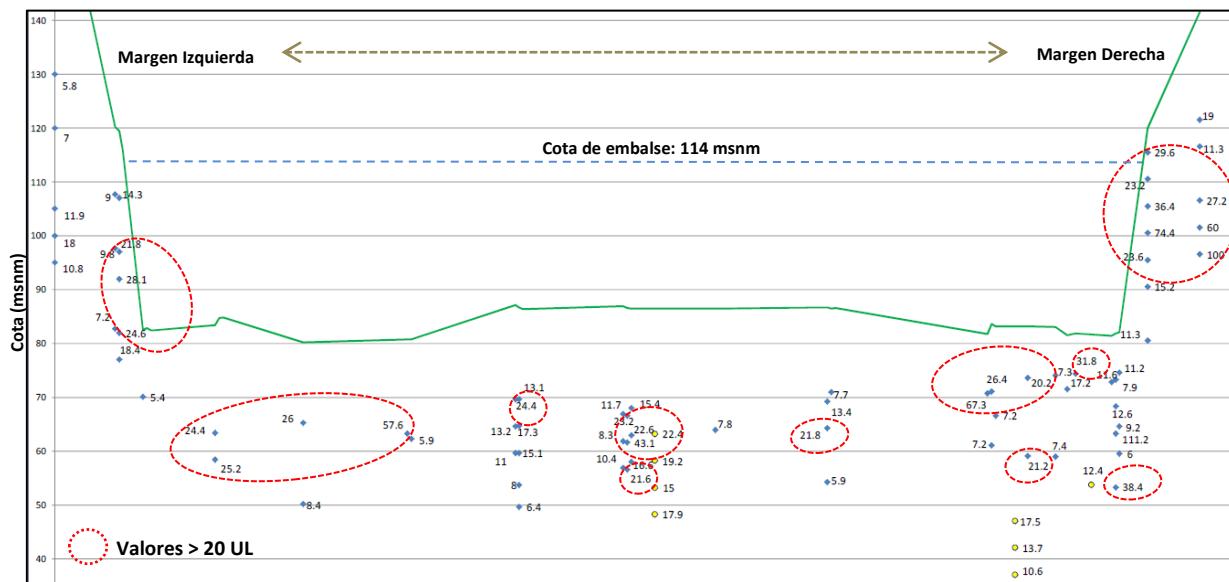


Figura 9.6. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon en eje JC, cuyos valores son mayores a 5 UL.

Se puede valuar 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.

9.4 Hidrodinámica subterránea

Según se presenta en el capítulo 8.1, 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 Fotografías 9.2 a 9.5 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 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, recurriendo 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, exiguo 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 capítulo 9.1 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 litología 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.



Fotografía 9.2. Medición de profundidad del nivel de agua en Molinos de Estancias.

Fotografía 9.3. Medición de profundidad del nivel de agua en pozos geotécnicos existentes.

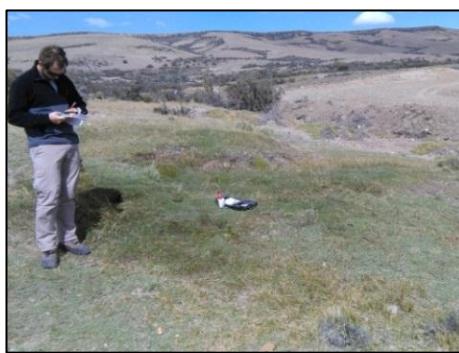


Fotografía 9.4. Relevamiento de pozos de geotécnicos con agua en margen izquierda de JC.

Fotografía 9.5. Ingreso al interior del pique existente en NK, con agua en su interior.

9.5 Hidroquímica

Los datos fisicoquímicos de aguas subterráneas y superficiales medidos in situ se corresponden a los parámetros: pH, Conductividad Eléctrica (CE) y Temperatura (Tº) ver Fotografías 9.6 a 9.8 y ANEXO II – Registro Fotográfico. En el Mapa 2a y b del Anexo, se expone la ubicación general de todos los puntos muestreados y las condiciones de los parámetros medidos según la siguiente clasificación.



Fotografía 9.6. Medición de parámetros in situ: pH, CE y Tº en mallín.

Fotografía 9.7. Medición de parámetros in situ: pH, CE y Tº en curso del cañadón El Mosquito.



Fotografía 9.8. 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 Mapas – 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 Mapas – 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 discriminaran los muestreos, según se correspondan con aguas tomadas de:

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

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

10 USO DEL AGUA EN EL AREA DE ESTUDIO

10.1 Usos actuales del agua

El área del proyecto donde se realizarán las represas 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 gente 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 situaciones económicas adversas 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 represas se encuentre en etapa de proyecto, donde la cantidad de trabajadores aumentará sustancialmente y por ende el caudal de consumo.

11 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.

11.1 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 xerófita. 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, suculencias, 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 (acuífugos 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) 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.

g) 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.

h) Mecanismos concurrentes: Como es de esperarse los mecanismos ya mencionados suelen ocurrir en forma coalesceante 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 represas 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 xerófita, 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.

11.2 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 ítem Nº 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 hidrálica 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 11.1, 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 ≈ 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 Nº 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 11.1. 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.

12 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 geoformas 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 acuífero subálveo presentaría una correlación con el sentido de flujo superficial regional, sin embargo los acuíferos 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 Piedra Buena. 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°), 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.

13 PREDICCIONES DE AFECTACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE REPRESAS.

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

13.1 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 acuíferos 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 represa NK (176,5 msnm), y los afloramiento de agua al pie de los basaltos con una cota del orden de 300 msnm. En la represa 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 represa.

El llenado de los dos embalse NK y JC y el mantenimiento del mismo occasionará aguas arriba de cada represa, 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 perlago, 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 represa JC, o bien durante su operación, podría generar una disminución de los niveles freáticos de los acuíferos de subálvexo, de los cuales se abastecen algunas estancias aguas abajo de la represa JC, zona que se recomienda 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 ($\approx 1.000 \text{ mm/año}$), 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 represas. 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.

13.1.1 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 el relevamientos la existencia de lineamientos que podrían estar asociadas 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 13.1.

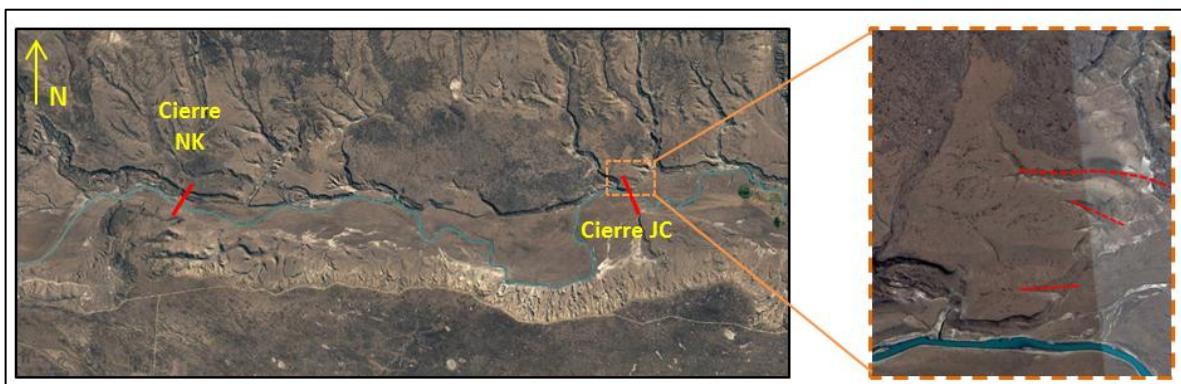


Figura 13.1. Zona a estudiar con mayor detalle en zona izquierda del eje de JC, (líneas punteadas color rojo).

13.2 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 futuro embalse. 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 represas y alcance la cota máxima de inundación del embalses, 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 subácea. Las descargas de acuíferos libres, alcanzarán una nueva condición de equilibrio, en coincidencia con el nivel del embalse. En el Cuadro 8.4, 8.5 y Mapa 5 y 6 de Anexos se expone la ubicación y ubicación respecto al peligro de cada uno de ellos.

13.3 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 represas. 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 embalse (dentro del área del peligro), originando amplias superficies de terreno que quedan al descubierto durante algunos meses (dependiendo de las condiciones hídricas y/o de operación de la represa), 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.

14 SÍNTESIS PRINCIPALES DEL ESTUDIO

- ✚ Segundo 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.
- ✚ Los valores de evaporación real medidos 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 represas 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 volcánica 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 glacifluval, 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 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 llenas, 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 (permitan la interconexión entre fracturas y circulación del agua), confieren a esta unidades localmente propiedades Acuíferas de carácter pobre.
- ✚ Los depósitos correspondientes al Holoceno y Pleistoceno conformarían la mayor parte del acuífero de subáveo. Las litologías Pliocenas – Miocenas formarán 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 marquen 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 represa.
- ✚ 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, recurriendo en esta oportunidad a la extrapolación con otras áreas cercanas de similares características geológicas e hidrogeológicas.
- ✚ Para el acuífero de subáveo 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 Tº) medidos en pozos relevados presentan CE media baja (0,58 mS/cm), pH alcalino (8,3) y Tº media igual a 11,2 ºC.

- ⊕ 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 Tº media igual a 12,7 ºC.
- ⊕ 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 Tº media igual a 12,7 ºC.
- ⊕ 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 Tº media igual a 16,0 ºC.
- ⊕ 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 Tº media igual a 10,9 ºC.
- ⊕ 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 Tº media igual a 13,7 ºC.
- ⊕ 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 represas 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 gente 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 subáльveo), 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 represa NK (176,5 msnm), y los afloramiento de agua al pie de los basaltos con una cota del orden de 300 msnm. En la represa 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 vena influenciados por la represa.
- ✚ El llenado de los dos embalse NK y JC ocasionará aguas arriba de cada represa, 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 represas. 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 el relevamientos la existencia de lineamientos y/o geoformas que podrían estar asociadas 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 futuro embalse. 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 represas y alcance la cota máxima de inundación del embalses, 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 subácea. 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 represas. 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.

15 RECOMENDACIONES

- ✚ Estudiar el sistema hidrogeológico con mayor detalle, especialmente en las zonas de cierre y aguas arriba y abajo de las futuras represas, 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 represas. La ubicación tentativa se muestra en el Mapa 7, 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 represas (tareas de depresión y/o construcción de barreras hidráulicas, etc.).
 - ✚ Realizar mínimamente 13 pozos hidrogeológicos de exploración y monitoreo en las represas, 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 represas y embalses y evaluar la calidad hidroquímica de la zona de estudio. La ubicación tentativa se muestra en el Mapa 7, 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 represas 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 la presas NK y JC y posteriormente se deberá continuar con un muestreo periódico.
- ✚ El impacto de las represas está ligado 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 ambas márgenes y lejanías de ambos embalses (aguas arriba y abajo de las represas).
- ✚ 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.

- ✚ 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.

16 SALUTACIÓN

Hidroar S.A, espera que el presente Informe denominado “*Estudio Hidrogeológico – Proyecto Represas Néstor Kirchner (NK) y Jorge Cepernic (JC)*” cumpla favorablemente con las exigencias establecidas. Por motivos de comentarios o consultas, comunicarse telefónicamente con nuestras oficinas de la ciudad de La Plata, Buenos Aires, al teléfono (0221) 451-1734 o vía mail a: scatizza@hidroar.com.

Atentamente.



Lic. Carlos Scatizza
Dirección General del Proyecto
Hidroar S.A.



Lic. Marcos Wocca
Hidrogeólogo
Hidroar S.A.

La Plata, 03 de Enero de 2017

17 BIBLIOGRAFÍA

- CHOW, V.T., D. R. MAIDMENT Y L.W. MAYS 1994. "Hidrología Aplicada". McGraw Hill Ed. Bogotá.
- CUSTODIO, E. & M. R. LLAMAS 1983. "Tratado de Hidrología Subterránea". Ed. Omega, T. I y II. (2a Ed.) Barcelona.
- ELIZABETH MAZZONI y MIRIAN VÁZQUEZ "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.
- ELIZABETH MAZZONI, 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"
- 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.
- 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, 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.
- Informe correspondiente a Presa Presidente Néstor Kirchner - campaña de investigaciones geológico-geotécnicas complementarias, año 2015 - Provincia de Santa Cruz.
- Informe "Presa Pdte. Néstor Kirchner. Obras Civiles. Obras Generales. Informe Geológico – Geotécnico. Memoria Técnica. Geotecnia", "Presa Jorge Cepernic. Obras Civiles. Obras Generales.
- Informe Geológico – Geotécnico. Memoria Técnica. Geotecnia", "Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Tercer Informe – Agosto 2015"
- Informe "Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015".

- Informe correspondiente al Estudio geológico y geotécnico presa Jorge Cepernic, año 2015 - Provincia de Santa Cruz.
- SERMAN & Asociados S.A. "Estudio de impacto ambiental aprovechamientos hidroeléctricos del río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz".
- SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS - Base de Datos Hidrológica Integrada - BDHI <http://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/rh-base.php>.