

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

**CAPÍTULO 4 – LÍNEA DE BASE AMBIENTAL**

**4.2 MEDIO NATURAL**

**4.2.4 – HIDROLOGÍA e HIDROSEDIMENTOLOGÍA**

**ÍNDICE**

4.2.4.1.	INTRODUCCIÓN .....	1
4.2.4.2.	CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SANTA CRUZ .....	3
4.2.4.3.	SISTEMA LACUSTRE .....	6
4.2.4.4.	SISTEMA FLUVIAL .....	10
4.2.4.5.	RÉGIMEN HIDROLÓGICO .....	19
4.2.4.6.	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA REGIONAL .....	20
4.2.4.7.	ANÁLISIS DE PULSOS EN EL SISTEMA FLUVIAL .....	25
4.2.4.8.	RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO .....	28
4.2.4.9.	CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA FLUVIO-LACUSTRE.....	36
4.2.4.9.1	Régimen de Niveles en el Lago Argentino .....	36
4.2.4.10.	RANGO DE CAUDALES EN EL RÍO SANTA CRUZ .....	39
4.2.4.10.1	Curva Clave en Charles Fuhr.....	41
4.2.4.11.	CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA DE INTERACCIÓN CON EL ESTUARIO .....	44
4.2.4.12.	BIBLIOGRAFÍA .....	69

**ANEXO FIGURA AMPLIADA**

Figura 1: Cuenca Hidrográfica del río Santa Cruz



#### 4.2.4.1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo se centra en la caracterización a nivel de línea base del régimen hidrosedimentológico en condiciones naturales del río Santa Cruz, en el marco de su rol clave como eje transmisor de los diversos mecanismos físicos que operan en la cuenca y que a su vez son responsables del sustento de las diversas dinámicas ambientales que deben preservarse en el escenario futuro con obras. Es decir, la línea base debe tener por objeto la evaluación de la interacción de los forzantes hidro-climáticos con el medio en la situación natural de manera de servir luego de sustento al análisis de impactos como consecuencia de la construcción, puesta en funcionamiento y operación de las presas objeto del proyecto.

Resulta fundamental proyectar el análisis de línea base en el entendimiento que dichos forzantes operan sobre un territorio moldeándolo y definiendo un conjunto de servicios hidro-ecológicos a nivel de cuenca y en particular del corredor fluvial. La ejecución de intervenciones estructurales implica cambios (espacio-temporales) de dichos forzantes y por ende impactos potenciales sobre todo el espectro de geformas y hábitats naturales.

En particular, la ejecución de obras que implican un represamiento del agua, como las represas, generará un impacto puntual singular alterando la dinámica natural del corredor fluvial comprensiva no sólo de flujos líquidos y sólidos a lo largo del río, sino también del vital traslado de nutrientes y organismos vivos hacia aguas arriba y aguas abajo del sistema.

La caracterización del presente punto en estudio (Hidrología e Hidrosedimentología) de la línea de base se realizó en base a la siguiente perspectiva conceptual:

- Se plantea un concepto de cuenca en el tratamiento de la información en el entendimiento que el curso fluvial representa el eje estructurante de la misma en cuanto a dinámica de acople y transferencia con el paisaje circundante. Esto se traduce en diversos grados de interacción con los ambientes naturales; a saber:
  - Dinámica con dos ambientes naturales de cabecera de singular importancia: el sistema lacustre de los lagos Argentino y Viedma aguas arriba, el estuario con el Mar Argentino aguas abajo, y el complejo planicie de inundación y diversas terrazas glacifluviales a lo largo del curso;
  - Dinámica del curso con el sistema de planicies y terrazas circundantes, que se expresa mediante procesos de dinámica vertical y lateral.

- Un abordaje integral que analice la interacción hidroclimática-geomorfológica (paisaje) como condicionante del desarrollo y preservación de los hábitats y especies de la cuenca.
- Finalmente, un abordaje de continuidad espacial expresado en la necesidad de realizar toda la caracterización, y del consecuente análisis de impactos y gestión futura, en todo el corredor fluvial del Río Santa Cruz, desde su embocadura hacia el estuario.

El desarrollo de la línea de base contempló al análisis de los siguientes aspectos:

- Caracterización hidrográfica de la cuenca del Río Santa Cruz
- Descripción del sistema fluvial
- Caracterización del régimen hidrológico
- Caracterización del régimen sedimentológico
- Caracterización de la dinámica de interacción en condicionales naturales con ambas cabeceras del corredor fluvial: el sistema lacustre y el estuario.
- Caracterización de dinámicas específicas: aquellas que son fruto de procesos localizados en la dinámica del corredor fluvial.

Se ha recurrido al análisis de antecedentes y estudios disponibles, como así también a la integración de la información de los estudios complementarios específicos, algunos de ellos aún en ejecución; a saber:

- Estudio de impacto ambiental Aprovechamientos hidroeléctricos del río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor c. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz, Serman & asociados, 2015
- Evaluación de la influencia del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner sobre los niveles de agua del Lago Argentino, Lara, Ascencio; 2016
- Determinación de la función "altura-caudal" del río Santa Cruz a la salida del Lago Argentino, Farías, H., 2016
- Modelación hidrosedimentológica del Río Santa Cruz bajo el efecto de las represas patagónicas, Ménendez, A., Badano, N. y Kazimierski, L., 2017
- Influencia del llenado de los embalses en el estuario del río Santa Cruz, Universidad Nacional de La Plata, 2017
- Simulación de Operación de Embalse y Despacho de Energía, Universidad Nacional de La Plata, 2017

- Funcionamiento del sistema Lago Argentino – Río Santa Cruz – Embalse Néstor Kirchner, Universidad Nacional de La Plata, 2017
- Estudio de caudal ecológico - Aprovechamientos hidroeléctricos del Río Santa Cruz- Argentina Informe de Avance -1, Grupo de Ecohidrología Fluvial, Universidad de Valladolid, España
- Modelación Hidrodinámica, Dispersión y transporte de sedimentos, Informe de Avance, Ezcurra & Schmidt S.A. (ESSA), 2017

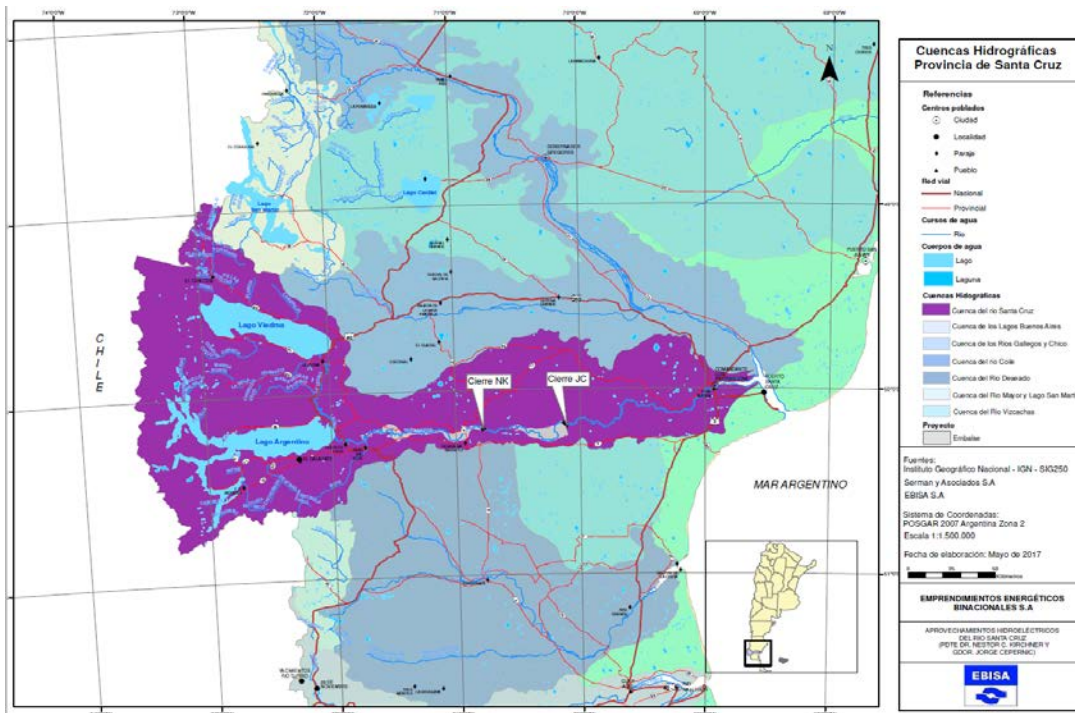
#### 4.2.4.2. CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SANTA CRUZ

El área de estudio se encuentra contenida dentro de la Cuenca del río Santa Cruz, la cual atraviesa la provincia homónima en sentido oeste-este hasta desembocar en el océano Atlántico. La cuenca analizada constituye un sistema glaciolacustre-fluvial que debe ser visto integralmente para comprender su funcionamiento (dicho análisis se presenta en el Punto 5 Glaciares).

Esta cuenca ocupa una superficie de 25.000 km<sup>2</sup> (Iturraspe y Sotfiní, 2005). Hacia el oeste se ubica el límite internacional con Chile, conformado por el cerro Fitz Roy (3.375 m), el cordón Mariano Moreno, y los cerros Murallón (3.600 m), Bertrand (3.270 m), Bolados (2.800 m), Stokes (2.060 m) y Agudo (1.711 m). Hacia el norte la limitan la meseta del Quemado y los cerros de la Torre (1.760 m), Cangrejo (2.028 m) y Pana (1.990 m). Por último, hacia el sur su límite lo constituyen la sierra de los Baguales, los cerros Bote (1.780 m) y Mangrullo (1.805 m), la meseta de los Italianos, los cerros La Criolla (1.074 m), Grande (767 m), Pan de Azúcar (367 m) y del Puesto (367 m) (Valladares, 2004).

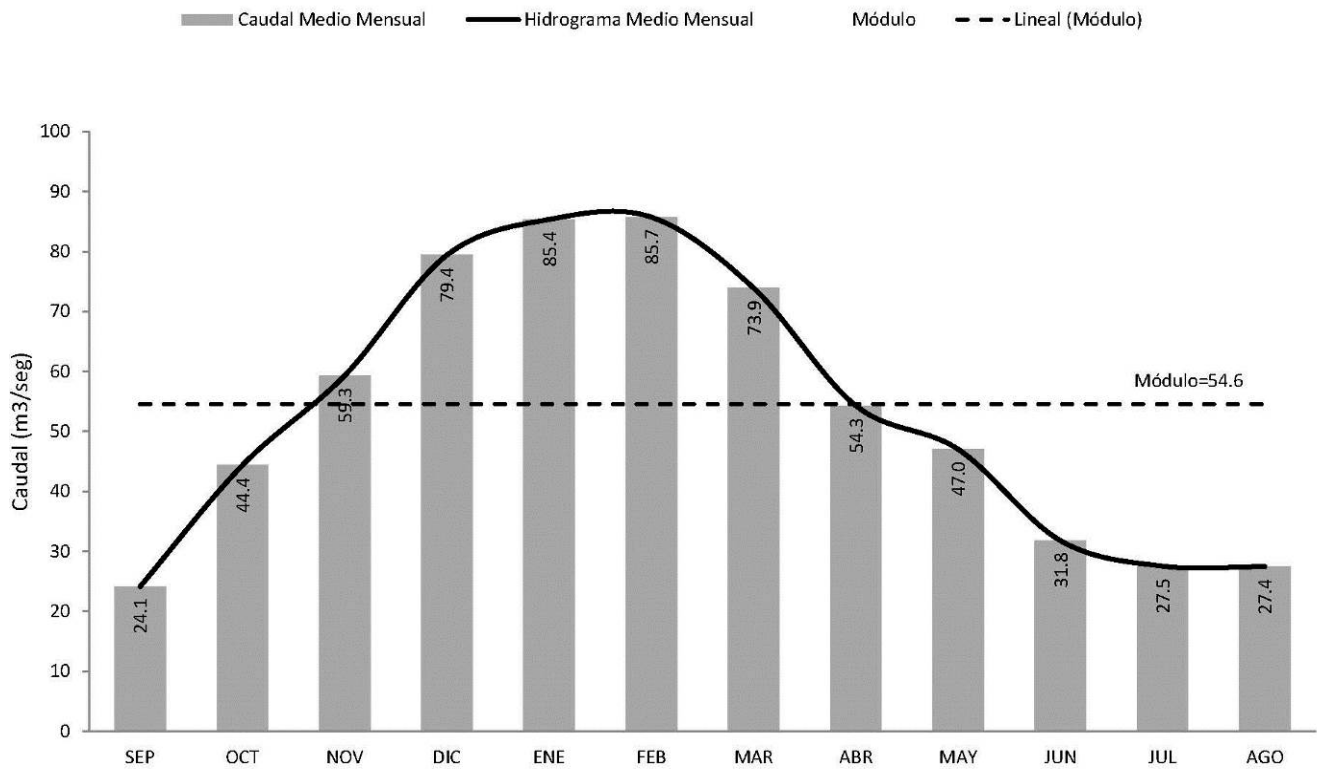
Esta cuenca tiene sus nacientes en el escudo de Hielo Patagónico, desde donde descienden lenguas glaciarias y aguas de fusión que forman ríos y arroyos que aportan a los lagos Viedma y Argentino.

El lago Argentino, ubicado al sur del sistema, 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 unos 383 km.



**Figura 2: Cuenca Hidrográfica del río Santa Cruz**  
(Ver imagen ampliada en Anexo Figuras)

El lago Viedma se ubica a una cota de 250 m y ocupa una superficie de 2.800 km<sup>2</sup> (SSRH, 2014). Este recibe por su margen norte el aporte de los ríos Cangrejo, Blanco, Barrancas (aunque cartografía de cierta antigüedad lo representa como afluente del río de las Vueltas) y de las Vueltas. Este último, que presenta el aporte de caudal más importante (Iturraspe y Sotfiní, 2005), nace en el lago del Desierto, emisario de la laguna Larga, y fluye alternativamente al sur y al sudeste, formando numerosos meandros. En su recorrido recibe el aporte de diversos cursos entre los que se destacan, por margen derecha, los ríos Eléctrico (emisario del lago homónimo) y Fitz Roy (emisario de la laguna Torre, al pie del cerro homónimo) y, por margen izquierda, el río del Bosque (emisario del río de los Portones) (Valladares, 2004).



**Figura 3: Río de las Vueltas. Estación Parque Nacional Los Glaciares (49° 20' 35,80"S - 72° 51' 38,60"O). Caudales serie 1991-2013. Fuente: SSRH (2014).**

Por la margen oeste del lago Viedma, descienden lenguas glaciarias y aguas de fusión que forman ríos como el Túnel, emisario del lago homónimo. El glaciar Viedma es el de mayor desarrollo entre los que aportan a este lago (Valladares, 2004).

Por la margen sur, vierten sus aguas los ríos Cóndor y Guanaco. En su extremo sudoriental nace su emisario, el río Leona (Valladares, 2004).

El río Leona tiene una longitud de 50 km y corre hacia el sur salvando un desnivel de 50 m. Este curso es considerado geológicamente muy nuevo 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 m<sup>3</sup>/s (Iturraspe y Sotfíni, 2005; Valladares, 2004).

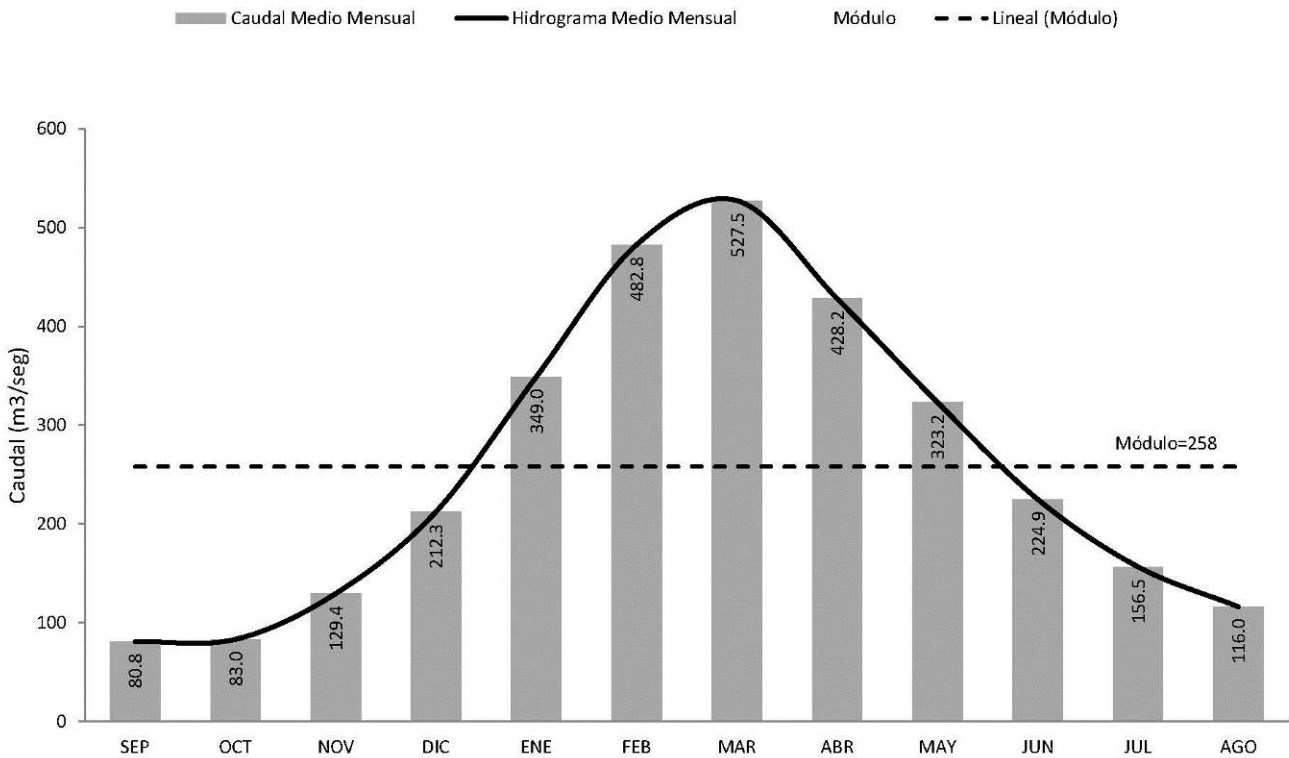


Figura 4: Río La Leona. Estación La Leona (49° 47' 49,90"S - 72° 03' 50,50" O). Caudales serie 1991-2013. Fuente: SSRH (2014).

#### 4.2.4.3. SISTEMA LACUSTRE

El lago Argentino, ubicado en el Parque Nacional Los Glaciares (ver Punto 14), por su singularidad ecológica y escénica fue declarado por UNESCO Patrimonio de la Humanidad en 1981.

Según Quirós et al. (1988) el lago tiene 1.462 Km<sup>2</sup> y 219.900 hm<sup>3</sup> y la profundidad máxima llegaría a los 500 metros, con profundidad media de 150 metros, lo que lo coloca, 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. Las unidades de prefectura naval, residentes en el lago, poseen el instrumental requerido para estos trabajos y personal altamente capacitado para la navegación con instrumentos.

El lago tiene dos áreas morfométricamente diferenciadas por la punta oriental de la Península Avellaneda. La occidental que está rodeada por cerros de 2.500 metros, 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 andinopatagónicos cuyos árboles disminuyen su altura en la medida que se



asciende, hasta tener formas achaparradas en el límite superior (*timber line*) que se encuentra entre 1.600 y 1.800 m.s.n.m.

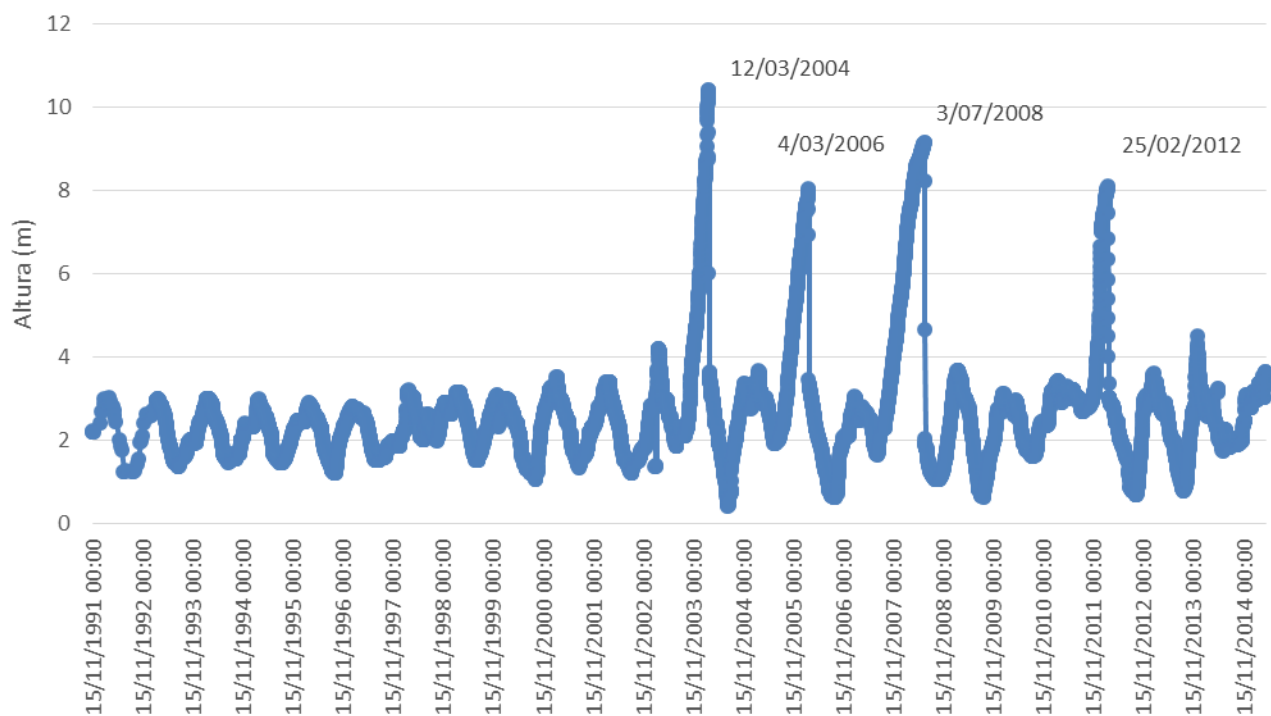
La zona oriental del lago es la más amplia, con el aspecto característico de los lagos patagónicos, con perfil vertical en forma de una "V" extendida horizontalmente, típica de la zona terminal de un lago de origen glacial. La línea de costa en esta zona es regular, poco desarrollada, circundada por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

En la primera de las zonas mencionadas, en la parte occidental, el lago se bifurca en dos brazos:

- 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 llega hasta el pie de la montaña homónima, zona que recibe los aportes del Glaciar de Mayo. Hacia el sur, el canal de los témpanos tiene una depresión por la que circulan los aportes del Glaciar Ameghino, separado del lago por un trecho de valle fluvio-glacial. El canal de los témpanos es obturado por el avance de la masa de hielo proveniente del Glaciar Perito Moreno (ver detalle en Punto 5).
- 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 Onelli. Este glaciar y el glaciar Agassiz, bordean el lago Onelli (ver detalle en Punto 5).

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) (ver detalle en Punto 5).

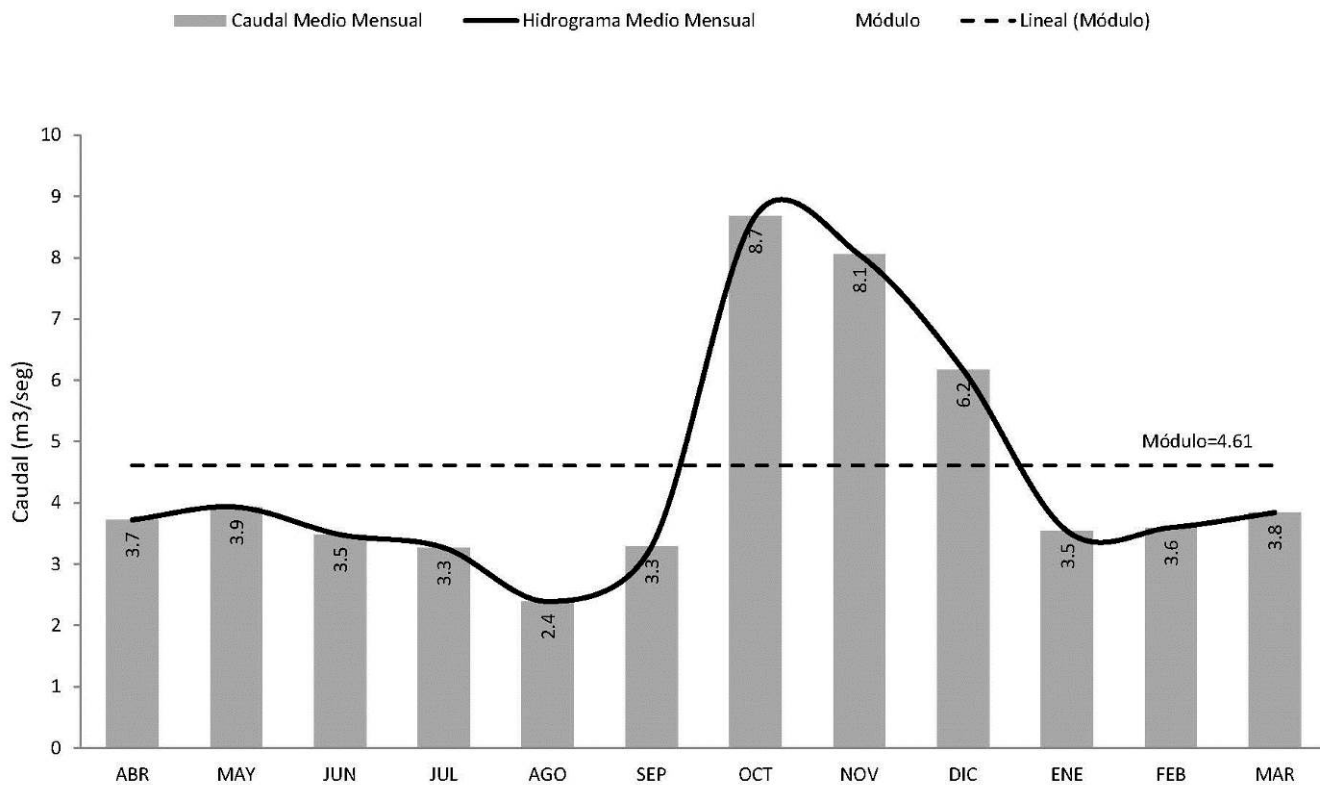
El glaciar Perito Moreno presenta una altura de 60 m sobre el nivel del lago y es famoso a nivel internacional por provocar el endicamiento de las aguas del brazo Rico. Cuando este glaciar alcanza la península de Magallanes, la salida de las aguas hacia el canal de los Témpanos queda obstruida hasta que la presión de éstas forma un túnel por debajo del glaciar, cuyo frente se desmorona tiempo después (Valladares, 2004) (ver detalle en Punto 5).



**Figura 5: Altura del brazo Rico periodo 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.**

Tal como se detalla en el Punto 5 de la presente LBA, desde el año 1991 las rupturas se registraron para los años 2004, 2006, 2008 y 2012. En el año 2013 ocurrió un nuevo endicamiento de duración muy breve que no llegó a fortalecerse. En la Figura anterior se puede observar los aumentos del nivel del brazo previo a la ruptura.

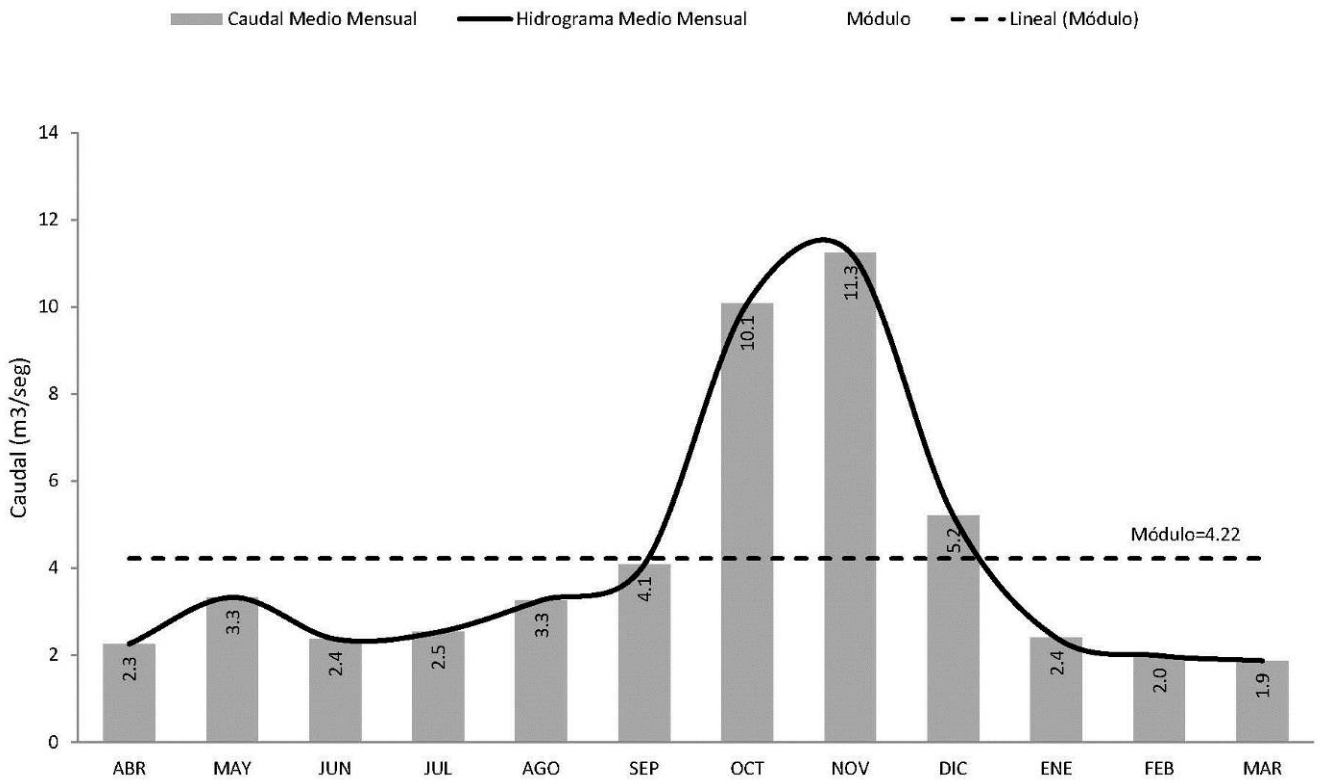
Los principales tributarios de brazo Rico son el río Mitre, que drena las sierras Cattle y Buenos Aires, y el río Rico, cuyas nacientes se ubican en la sierra de los Baguales.



**Figura 6: Río Mitre. Estación Ruta Provincial N°11 (50° 23' 59,80"S - 72° 43' 56,90"O). Caudales serie 1991-2013. Fuente: SSRH (2014)**

Por su margen norte, el lago Argentino recibe las aguas del arroyo Las Horquetas. Por la sur, hacen su aporte el río Centinela (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 del río Mitre responden a un régimen nival, razón por la cual los histogramas presentados son diferentes a los relacionados con aportes glaciares. Es este caso los caudales máximos anuales instantáneos importantes se desarrollan durante la época de deshielo (Octubre- Noviembre).



**Figura 7: Río Centinela. Estación Ruta Provincial N°70 (50° 21' 07,10"S - 72° 30' 21,40"O). Caudales serie 1991-2013. Fuente: SSRH (2014)**

#### 4.2.4.4. SISTEMA FLUVIAL

Uno de los rasgos salientes del río Santa Cruz es la de tener una dinámica de recepción fuertemente pautada por su vinculación aguas arriba con el sistema lacustre de origen glaciar que condiciona su régimen sedimentológico y, al mismo tiempo, condiciona los aportes líquidos y clásticos a otro ambiente terminal aguas abajo como es el estuario del río.

En la **Figura 7**, se muestra el perfil longitudinal del río Santa Cruz.

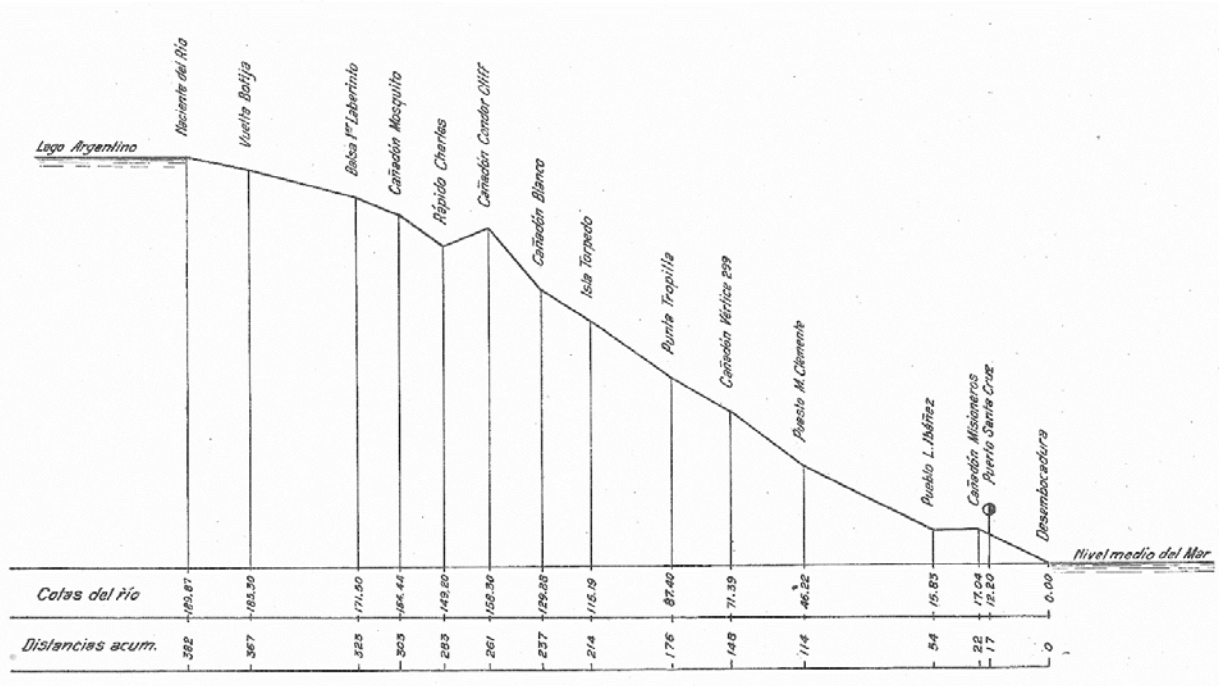


Figura 8: Perfil longitudinal del río Santa Cruz. Fuente: Soldano (1947)

Desde la naciente en Lago Argentino hasta el rápido Charles (9 Km aguas arriba del eje de la futura presa NK) la pendiente media es de 0,52 m.Km-1. Desde allí hasta el Km 54, la pendiente media es de 0,68 m.Km-1, en base a la información presentada por Soldano (1947).

A lo largo del tramo fluvial, el perfil transversal del curso tiene forma de "V" truncada, con muy escaso desarrollo del área litoral como muestran los perfiles publicados por Soldano (1947), que fueron levantados originalmente por el Ministerio de Obras Públicas de la Argentina. La información tomada en campo durante este estudio, da cuenta que sólo han ocurrido variaciones menores en la morfología del curso.

A 5-10 m del borde del espejo de agua, se alcanza profundidad de 2 metros o más con valor de velocidad del escurrimiento de 0,80 ms-1 a 1,4 ms-1 a 1 m de profundidad. Hacia el centro del cauce, en la posición correspondiente al eje de la futura presa NK, a 1 m de profundidad se registró velocidad de 3,10 ms<sup>-1</sup>.

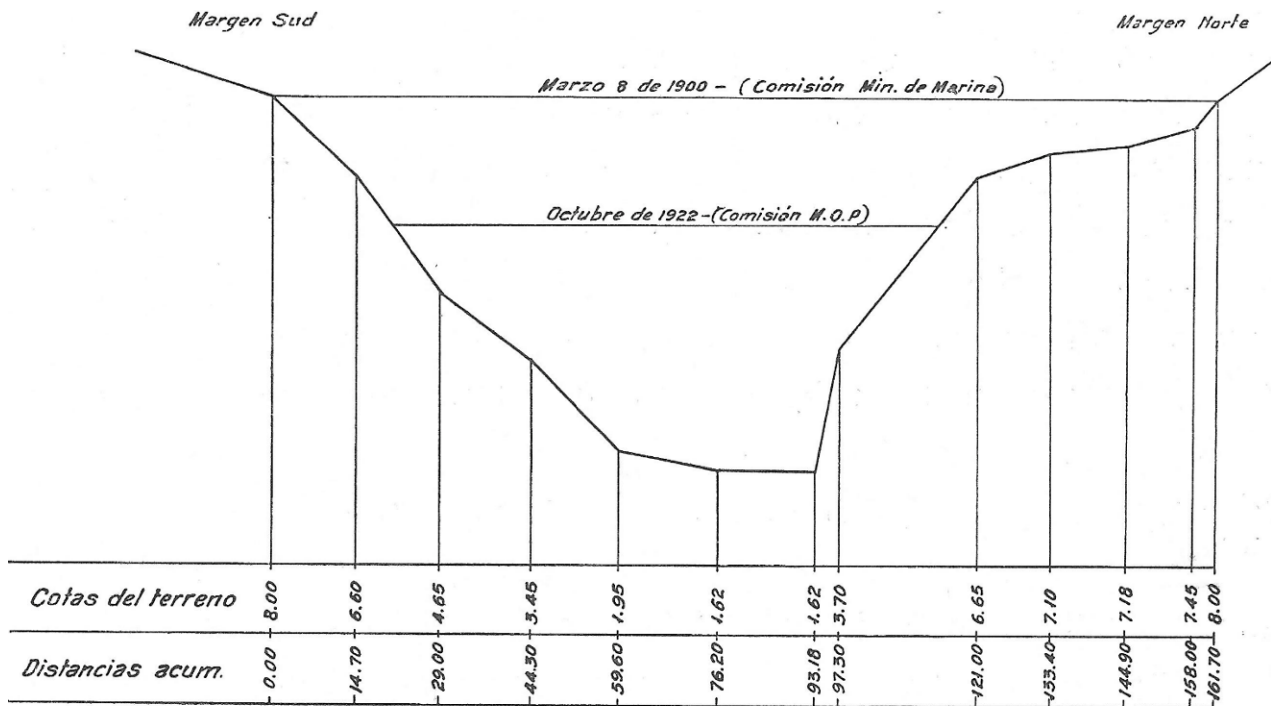


Figura 9: Perfil transversal del río Santa Cruz, aguas abajo del lago Argentino. Fuente: Soldano (1947)

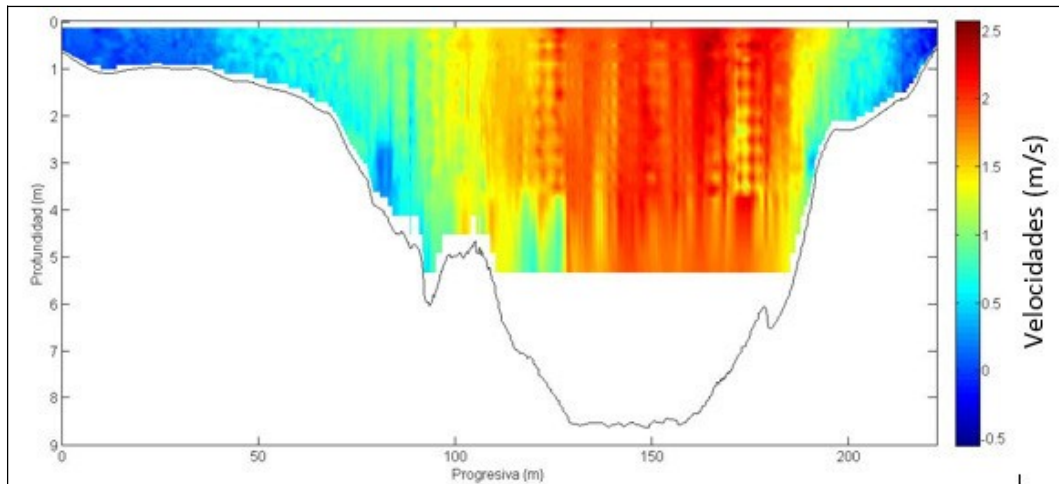
Debido a la geometría del cauce, las fluctuaciones de caudal determinan variaciones de niveles del orden de 0,5-1m.

Como consecuencia de la regularidad del flujo y de la geometría del cauce a lo largo de todo el tramo fluvial, la relación entre caudal y velocidad se mantiene relativamente constante al comparar secciones del curso.

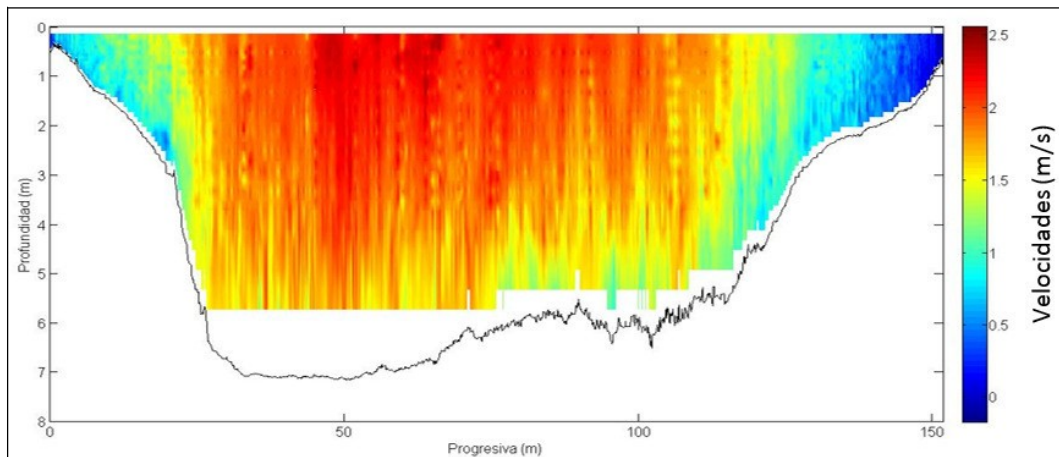


Secciones de medición de velocidad con ADCP

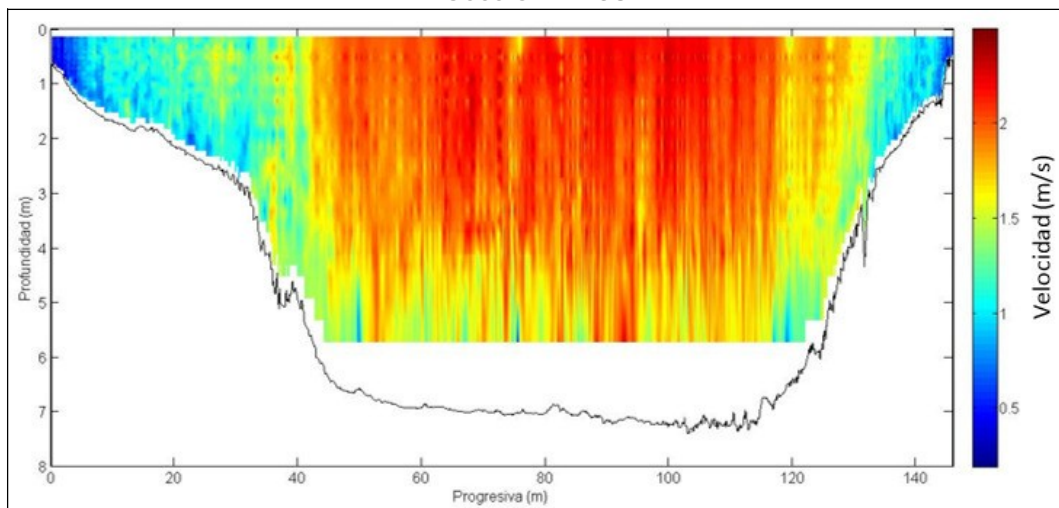
A nivel referencial se presentan las velocidades obtenidas en mediciones con ADCP (Farias, H. D., 2016) realizadas por el centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA-UNC) los días 08 y 09 de abril de 2015, que resultan del orden de 1.9m/s (en términos medios) para un caudal del orden de 1180m<sup>3</sup>/s.



**Sección EM01**

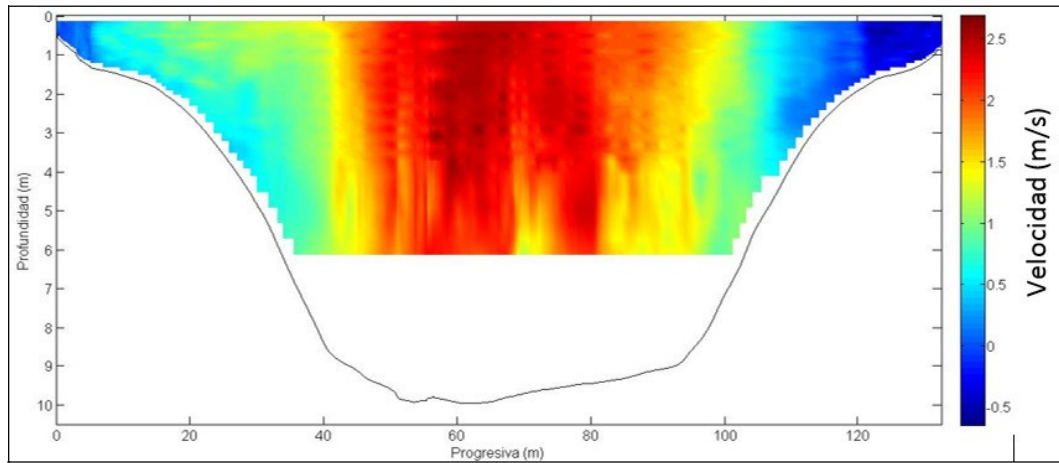


**Sección EM03**

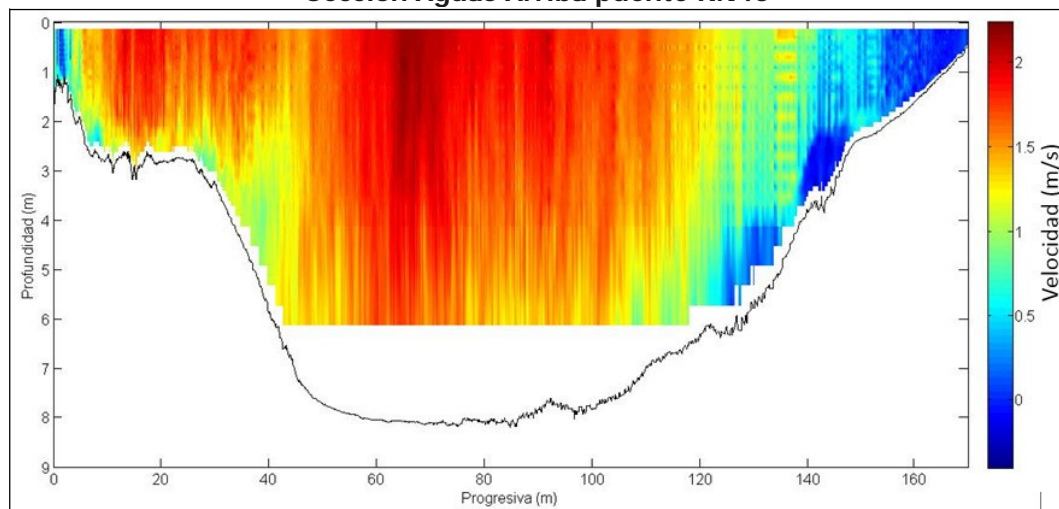


**Sección EM04 (aproximada)**

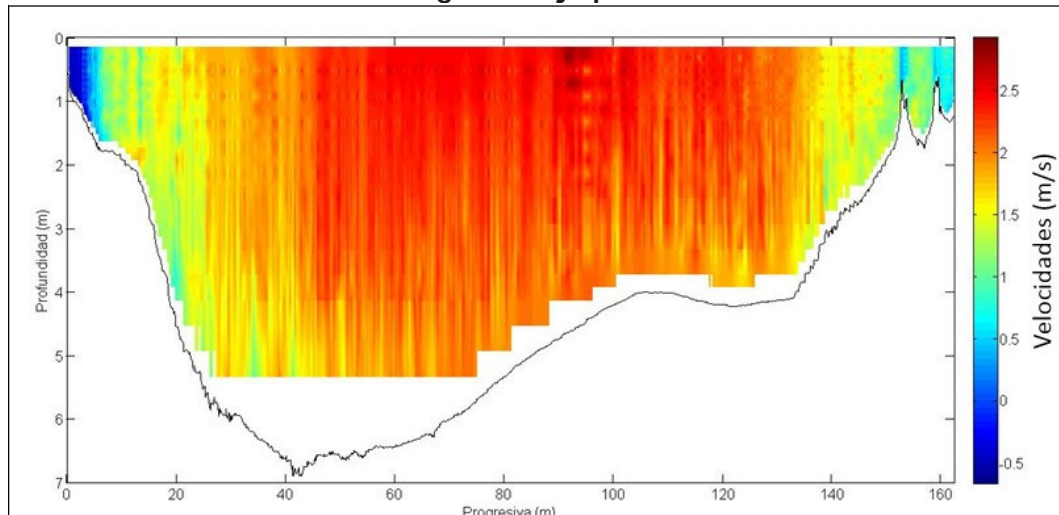
**Figura 10: Velocidades medidas con ADCP en abril de 2015 - Caudal de 1.180m<sup>3</sup>/s (1)**



**Sección Aguas Arriba puente RN40**



**Sección Aguas Abajo puente RN40**



**Sección Charles Führ**

**Figura 11: Velocidades medidas con ADCP en abril de 2015 - Caudal de 1.180m<sup>3</sup>/s (2)**



El sector superior de la cuenca se caracteriza por la presencia de una mayor sinuosidad y complejidad hidrológica que el resto del curso dado por la presencia de cauces laterales separados por islas. Este sector posee un solo afluente importante que es el río Bote y contiene las áreas conocidas como Laberinto 1 y 2 en las que se detecta la máxima complejidad ambiental, donde es posible encontrar correderas y pozones en cauces laterales.



**Figura 12: Primer y segundo Laberinto.**

El 2° Laberinto se trata de un importante meandro hacia el oeste que encierra varias islas entre las que se destaca por su tamaño la isla Silva. El extremo de esta vuelta se halla unido a la laguna Grande (Valladares, 2004). Unos 20 km aguas abajo del llamado Laberinto 1 y ya a unos 70 km de las nacientes del río el cauce se simplifica al desaparecer estos cauces laterales, la sinuosidad se torna moderada y el río comienza a correr mucho más encajonado con lo cual la velocidad de corriente y profundidad se incrementa. Este sector presenta el ingreso de afluentes o cañadones intermitentes o estacionales generados por las precipitaciones.

El río Santa Cruz recibe por margen derecha pequeños cursos que descienden de las barrancas. Por margen izquierda, hacen su aporte los cañadones del Mosquito y de Vera (provenientes del cerro Fortaleza) y el arroyo El Lechuza (que drena el cerro Catedral, 863 m). Luego confluye por la misma margen el arroyo de las Cuevas, emisario del arroyo Cordero, y los cañadones el Yaten

Guajen, el Kolian Kaike y Grande. Estos cañadones, al igual que las vaguadas que confluyen por margen derecha, hacen aportes únicamente en época de lluvias (Valladares, 2004).

El río se torna cada vez más tortuoso hasta alcanzar el rápido de las Gaviotas provocado por el estrechamiento del cauce. Aproximadamente 20 km aguas abajo, se encuentra el Rincón Chico desde el cual el cauce comienza a ensancharse (Valladares, 2004).

Alrededor de 8 km después, se encuentra la isla Pavón y el cauce alcanza los 700 m. Este se torna cada vez más ancho hasta alcanzar los 4.500 m en Punta Beagle, donde confluye el río Chico por el brazo norte del Estuario del río Santa Cruz. Aguas abajo, entre cañadón Quemado y punta Reparó, se ubica el puerto de Santa Cruz (Valladares, 2004).

La **Figura 12** ilustra como el ancho del río aumenta en el curso superior para luego decrecer en el sector medio y alcanzar su máximo en la zona de Piedrabuena. El tamaño de sustrato muestra mayores dimensiones en el tramo medio y disminuye hacia el estuario.

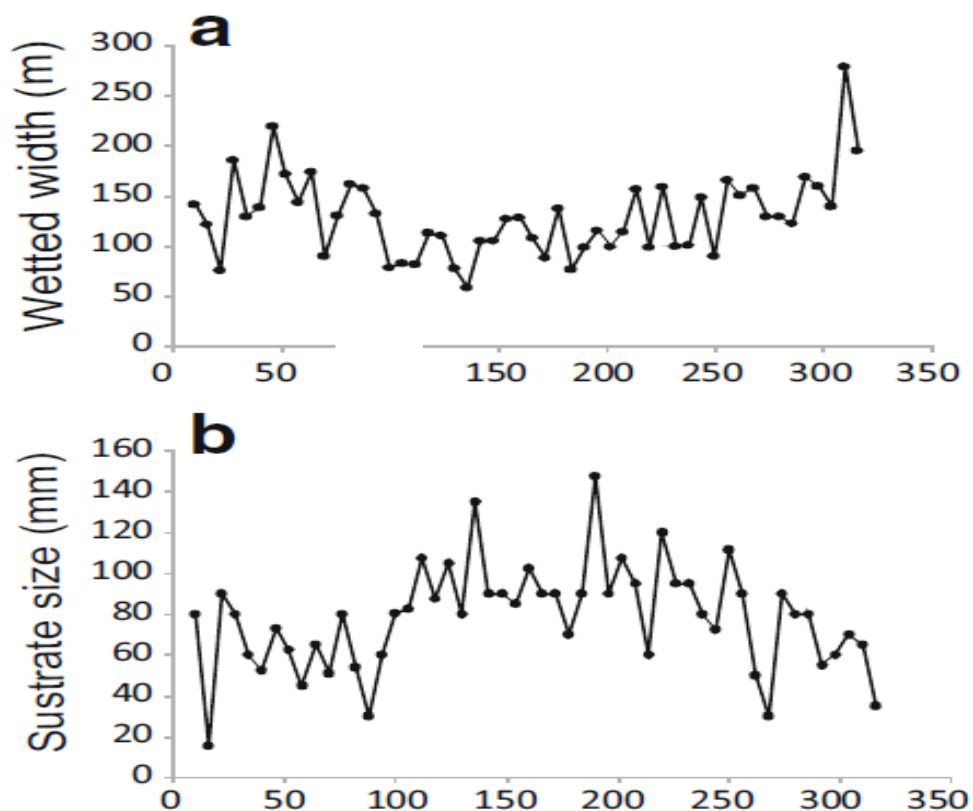


Figura 13: Variabilidad del ancho de cauce y tamaño de sustrato desde el nacimiento (km 0) hasta la zona de Piedrabuena (km 318). Fuente: Quiroga et al. (2015).

La caracterización morfodinámica de todo el río Santa Cruz se resume en la siguiente zonificación fluvial utilizando la clasificación de Rosgen (1994). Este sistema utiliza letras y números para describir el patrón, el perfil, la dimensión y el sustrato del río: las letras A y B describen cursos con pendiente más inclinada, la letra G denota cursos en procesos de incisión, la letra F corresponde a cursos relativamente anchos y poco profundos, la letra E a los cursos rectos revestidos de vegetación altamente sinuosa, la letra C a los cursos meandrosos y las letras D y DA a los anastomosados. Los números indican el tamaño del sustrato predominante en el tramo: El número 1 está asociado con la roca madre, 2 con rocas, 3 con cantos, 4 con grava, 5 con arena y 6 con limo y arcilla.

- El primer segmento superior desde la salida del Lago hasta el sitio de la futura presa NK (longitud aproximada de 130 km) es el más influenciado por las glaciaciones del cuaternario, y presenta la mayor sinuosidad y complejidad hidrológica. El cauce es mayoritariamente simple, excepto en unos pocos meandros marcados en los que se forman áreas bifurcadas o a veces incluso trezadas (2º laberinto). El río discurre relativamente tranquilo con una pendiente media del 0.261 ‰, sobre un valle muy amplio con extensas bahías, clasificado como Tipo X de Rosgen (1994). El cauce tiene una anchura en torno a 150 metros, y el material del lecho predominante son gravas (8-64 mm) con algo de cantos (64-264 mm) y material fino (limo/arena) (Quiroga et al., 2015). El curso es meandriforme no confinado (coef. de sinuosidad medio=1.55) sin un patrón claro, alternándose tramos regulares con otros tortuosos (laberintos 1º y 2º) hasta finalizar en el sector bajo con un largo meandro irregular hacia la derecha causado por el empuje de las vertientes de la margen contraria. Por su encajonamiento muy leve (ratio>2.2) y la relación anchura/profundidad alta (ratio>12), la corriente corresponde al Tipo C4c- según Rosgen. El afluente principal de este segmento es el río Bote en la margen derecha, y en la margen izquierda existen varios unos cañadones temporales con flujo en verano muy escaso (los principales Cñd. El Mosquito, Cñd. Verde). Este segmento está limitado inferiormente por el control geomorfológico que impone el estrechamiento donde se localizará la presa NK (La Barrancosa).
- En el sector intermedio entre las zonas de presas NK y JC, cuya longitud aproximada es 65 km., el río avanza con un control moderado de las vertientes, sobre todo en la margen izquierda en dirección oeste-este. El curso se vuelve algo menos sinuoso (coef.=1.34) y el patrón es irregular, probablemente debido al empuje puntual de los cañadones más potentes. La pendiente aumenta de forma marcada hasta el valor medio del 0.769‰, si bien el cauce sigue siendo relativamente muy poco encajado y muy ancho en relación a su profundidad. El tamaño del material del lecho se agranda, dominando los cantos y co-dominando las gravas. Y la anchura del cauce, disminuye, hasta un valor medio que

ronda los 125 m en respuesta a la mayor velocidad de la corriente. El sector se clasifica como C3c- según Rosguen.

- El sector bajo desde el sitio de presa JC hasta la zona en la que el valle se abre de forma marcada a unos 15 km aguas arriba de la localidad Cte. Luis Piedrabuena (Ea. Rincón Chico). Su longitud ronda los 113 kilómetros, y la pendiente media es del 0.602‰. El álveo continúa encajado entre dos mesetas, discurriendo por un nivel de terraza inferior cubierto de material aluvional de 5m-15m de altura. La disminución de pendiente causa que el cauce sea masivamente de canal único, con anchuras próximas a los 200 m, y un flujo algo más lento que determina un material del lecho dominante de gravas, con gravillas y algo de cantos (Quiroga et al., 2015). El tipo de corriente pasa a ser de Tipo C4c-, con una estructura meandriforme muy clara de sinuosidad un poco mayor que en el segmento anterior (coef.=1.47). Existe un patrón de meandros tortuosos en el sector superior, aproximadamente hasta la mitad del segmento en la zona de amplia curva a la altura de Cañadón Blanco. A partir de este punto los meandros se hacen más regulares, y el cauce se amplía.
- En el sector de transición al estuario, de longitud aproximada 22 km hasta después de la amplia curva en cuya orilla izquierda se asienta la localidad de Cte. Piedrabuena. La apertura del valle coincide con la disminución fuerte esperada de la pendiente, que se hace muy uniforme en torno al valor medio 0.173 ‰. El sustrato predominante es limo-arenoso, con acumulación de gravas pequeñas en algunas playas. Lo anterior posibilita que se formen múltiples islas de tamaño creciente aguas abajo, en las cuales se instalan parches de vegetación riparia (isla Pavón la más grande). La planforma es tipo C5c- según Rosguen, con presencia de meandros regulares de sinuosidad media 1.16. Las áreas con vegetación proporcionan un refugio valioso para la ictiofauna; y prueba de ello es la reconocida calidad de este sector para la pesca deportiva, sobre todo el área de Piedrabuena. Las condiciones ecohidráulicas están influenciadas por el efecto de la marea.
- En el sector de estuario, después de atravesar Comandante Piedrabuena, el río Santa Cruz se enfila a su desembocadura por un recorrido final de unos 18 km muy rectilíneos. El cauce es simple puro, con anchos crecientes desde 1.2 km hasta 3 km en la confluencia con el Río Chico. La morfología de este tramo es tipificada como C6c- (Rosguen), el sustrato es muy fino (limo), y la sinuosidad baja (coef.=1.06).



Figura 14: Sistema de zonificación fluvial del Río Santa Cruz (Grupo de Ecohidrología Fluvial, Universidad de Valladolid, 2017)

#### 4.2.4.5. RÉGIMEN HIDROLÓGICO

La caracterización del régimen hidrológico, a los fines de la definición de línea base ambiental, comprende distintos planos de análisis:

- Una evaluación a nivel de balance hídrico orientada a la caracterización de los flujos intervinientes en condiciones naturales, habida cuenta que serán lógicamente la materia prima fundamental de los aprovechamientos futuros;
- Una evaluación de los pulsos de caudales en términos de amplitud y desfase temporal que son los que dinamizan la sustentación de los hábitats naturales en el ámbito del corredor fluvial.

#### 4.2.4.6. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA REGIONAL

El río Santa Cruz nace del lago Argentino y desemboca en el océano Atlántico luego de 383 Km que median hasta el lago Argentino. 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.

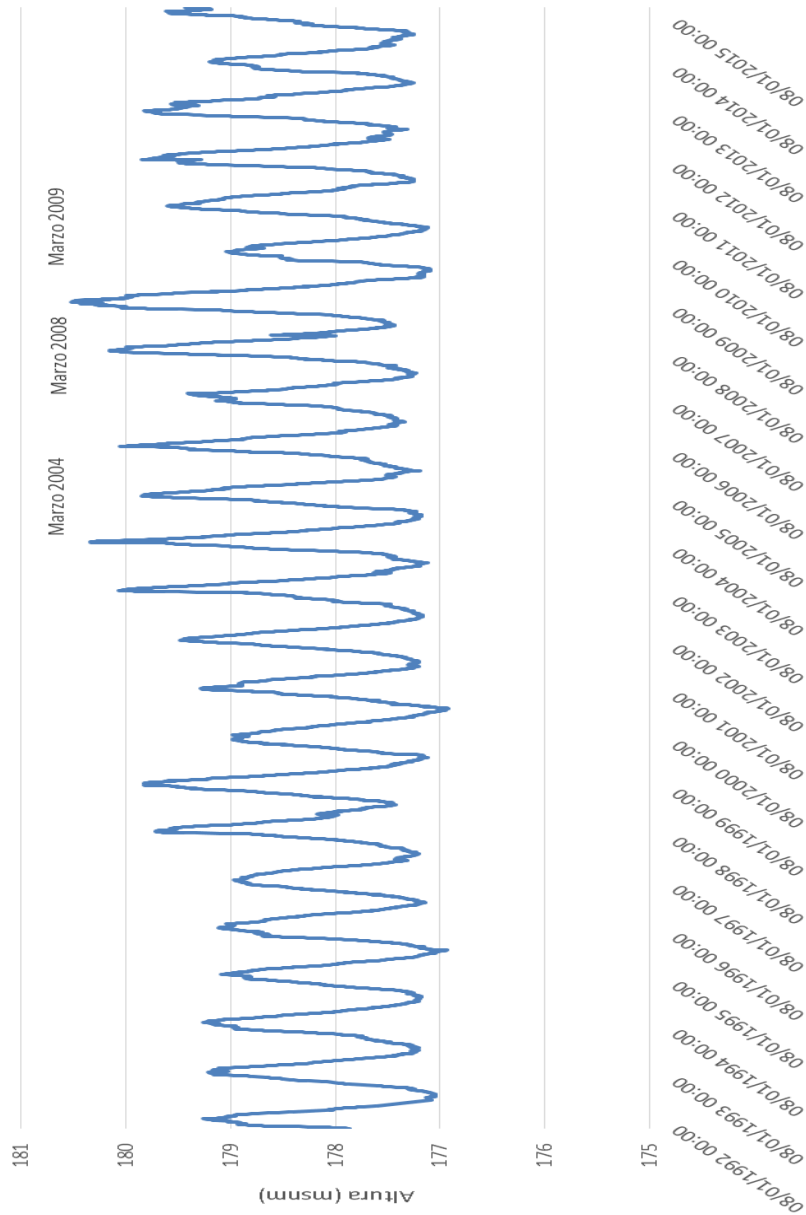
Según los datos recabados desde enero de 1992 a la actualidad en la estación hidrométrica Lago Argentino – El Calafate la altura media del lago es de 178,2 msnm siendo el máximo de 180,5 y el mínimo, para este período de 176,92 msnm. No obstante, Iturraspe y Sotfíni (2005) informan una mayor variabilidad de los niveles del lago Argentino, identificando una fluctuación entre cotas 184 y 189 según datos de IECI (1978)<sup>1</sup>.

Como puede observarse en la **Figura 14** 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.

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

---

<sup>1</sup> El Estudio del río Santa Cruz en Relación con su Aprovechamiento Integral, 1978, de nivel de prefactibilidad, contratado por Agua y Energía al consorcio IECI, considera caudales de proyecto basados en la serie de caudales 1946/47 - 1975/76. Estos registros fueron recabados en principio por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), luego por Agua y Energía que contrató al consorcio ETIA-STIG para la ejecución de estudios climáticos e hidrológicos en la cuenca que dieron lugar a la compilación de la información existente, la instalación de puestos climáticos e hidrométricos de observación y a una primera evaluación de la función reguladora de los lagos. Esta información fue posteriormente recopilada y actualizada por el consorcio IECI (Iturraspe y Sotfíni, 2005).



**Figura 15: Altura del Lago Argentino periodo 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.**

Nota: Se consideró la altura de la estación El Calafate informada por SSRH (2014), siendo la misma 175 msnm.

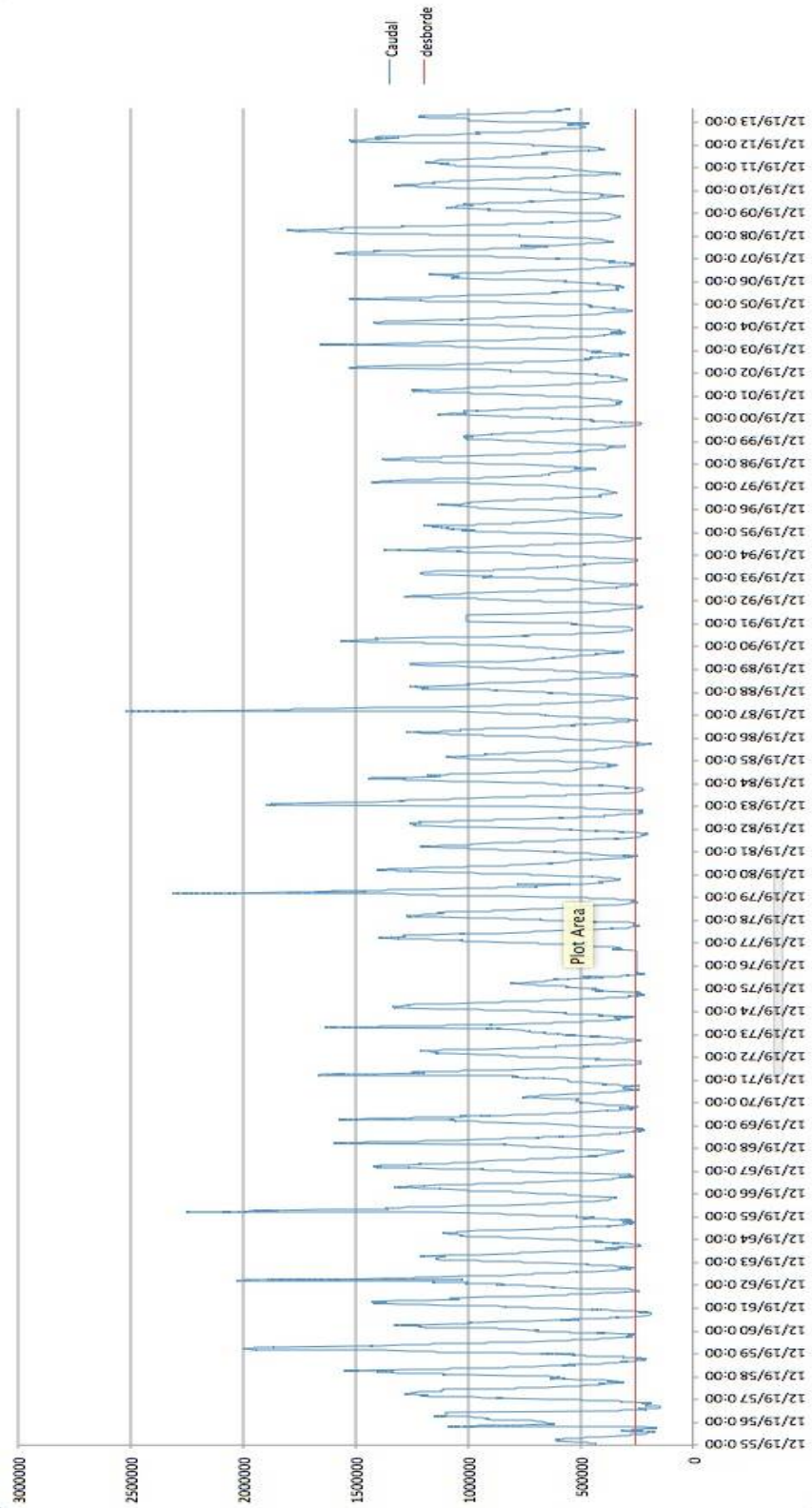


Figura 16: Régimen hidrológico del río Santa Cruz en Charles Fuhr (50° 15' 07.60"S - 71° 54' 28.100). Caudales expresados en litros/s. Período: 1955-2014.



El análisis estadístico de los caudales medios diarios en la estación se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1: Valores estadísticos del caudal diario del río Santa Cruz (Período 1955-2014)**

<b>Función</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de Asimetría	0,818172505
Curtosis	0,385664246
Desviación Estandar	421,045 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Máximo	2519,93 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Mínimo	180,00 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Media de las Máximas	899,39 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Mediana	628,65 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Moda	1002,85 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Promedio	707,58 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Sesgo	0,818172505

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. Al respecto, Íturraspe y Sotfíni (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 m<sup>3</sup>/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.

Se muestra a continuación una síntesis del procesamiento hidrológico presentado en el avance de estudio de caudales ecológicos contratado por la UTE, en el que se presentó una serie de indicadores con significación ecológica para caracterizar el hidrograma natural de modo resumido y sistemático cuya descripción se indica a continuación:

- Índice de Caudal Base BFI ("Base Flow Index"): caudal mínimo en 7 días anual dividido entre el caudal medio anual  $Q_{mín7}/Q_{medio}$ .
- Caudales Bajos son aquellos iguales o menores que el caudal mediano anual Q50.
- Caudales Altos son los que superan el percentil Q75.

- El Coeficiente de Dispersión es la diferencia entre Q75 y Q25 dividido entre Q50.
- La Predictibilidad es una medida de la variabilidad entre años y tiene dos componentes: constancia y contingencia. La constancia se refiere a la variabilidad de un mismo evento en los diferentes años, mientras que la contingencia expresa la periodicidad de un evento en un periodo concreto del año, conforme al sistema de Colwell (1974) con 11 clases de caudal basadas en una escala logarítmica de base 2 en el rango desde  $<0.125 \cdot Q_{\text{medio}}$  hasta  $>64 \cdot Q_{\text{medio}}$ .
- El índice de Richards-Baker (Baker et al., 2004) refleja la frecuencia y rapidez de los cambios de caudal a corto plazo (efimeridad- "flashiness").
- El índice Fre3 consiste en la frecuencia de crecidas cuya magnitud excede el triple del caudal mediana ( $Q > 3 \cdot Q_{50}$ ). Este caudal actúa según Clausen y Biggs (1997) como una crecida de lavado, la cual en ríos de Nueva Zelanda explica la variabilidad de la comunidad de macroinvertebrados y de perifiton. Los autores encuentran que al aumentar el Fre3 se reduce la riqueza y la biomasa de perifiton, y se incrementa la densidad de invertebrados.

**Tabla 2: Indicadores hidrológicos del hidrograma de aporte natural del río Santa Cruz (Período 1955-2014)**

<b>Rango hidrológico</b>	<b>Variable</b>	<b>Promedio 1955-2014</b>
Caudales Medios	Q medio anual (m <sup>3</sup> /s)	714.1
	Q mediana anual (m <sup>3</sup> /s)	641.8
Caudales Bajos	Q <sub>mín</sub> 1 día (m <sup>3</sup> /s)	246
	Q <sub>mín</sub> 3 días (m <sup>3</sup> /s)	248
	Q <sub>mín</sub> 7 días (m <sup>3</sup> /s)	253
	Q <sub>mín</sub> 30 días (m <sup>3</sup> /s)	265
	Q <sub>mín</sub> 90 días (m <sup>3</sup> /s)	313
	Índice BFI (Q7/Q <sub>medio</sub> )	0.38
	Duración Q <sub>bajo</sub> [Q < Q <sub>50</sub> ] (días)	146
Eventos Q <sub>bajo</sub> /año	1.42	
Caudales Altos	Q <sub>máx</sub> 1 día (m <sup>3</sup> /s)	2519
	Q <sub>máx</sub> 3 días (m <sup>3</sup> /s)	1343
	Q <sub>máx</sub> 7 días (m <sup>3</sup> /s)	1339
	Q <sub>máx</sub> 30 días (m <sup>3</sup> /s)	1277

Rango hidrológico	Variable	Promedio 1955-2014
	Duración Qalto [Q>Q75] (días)	59.0
	Eventos Qalto/año	1.15
	Tasa $\uparrow$ Q (m <sup>3</sup> /s.día)	6.89
	Tasa $\downarrow$ Q (m <sup>3</sup> /s.día)	6.39
	Inversiones $\uparrow\downarrow$	61
Índices	Coef. de dispersión (m <sup>3</sup> /s) (Q75-Q25)/Q50	0.522
	Predictibilidad	0.77
	Constancia	0.52
	Constancia/Predictibilidad	0.68
	Richards-Baker	0.01
	Fre3 [Frec. Q>3*Q50]	0.12

#### 4.2.4.7. ANÁLISIS DE PULSOS EN EL SISTEMA FLUVIAL

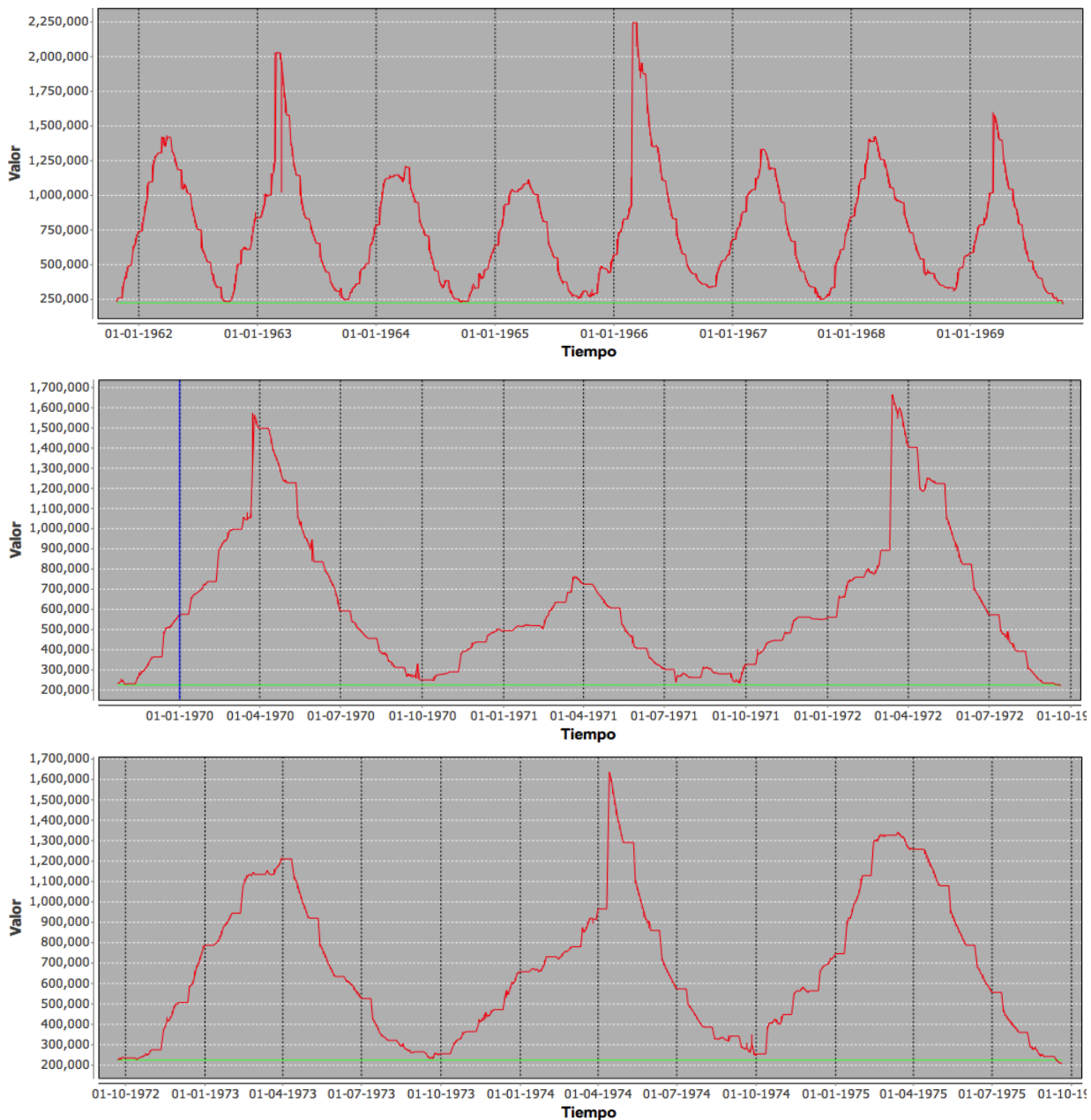
Al igual que el lago Argentino, el río Santa Cruz debe la mayoría de sus aportes al deshielo estacional de los glaciares que se encuentran en el Campo de Hielo Patagónico, lo que explica su régimen unimodal, con un período de aguas altas (potamofase) de septiembre a fin de marzo y un período de aguas bajas (limnofase) el resto del año.

Estos pulsos anuales (potamofase+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 900-1000m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. 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. También puede deberse a la desobstrucción del Canal de los Témpanos, con liberación brusca del agua embalsada en el brazo del lago Argentino, como menciona Hilson Foot (1992).

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

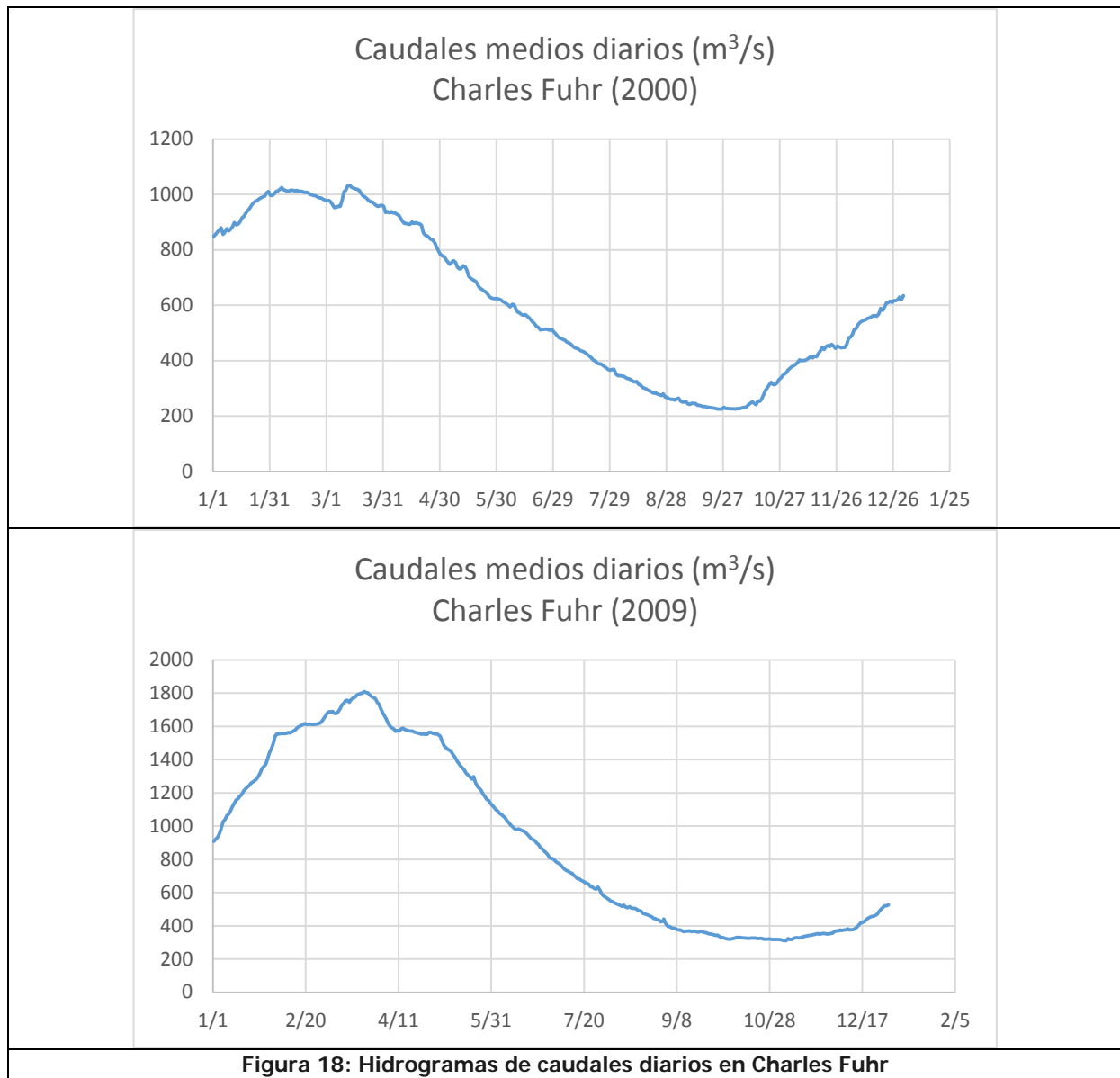
dependiendo del clima regional, en el que existen secuencias de años más cálidos, que alternan con períodos de años más fríos.

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 16**, especialmente en el gráfico de la parte inferior se aprecia una gran regularidad en el régimen, lo que configura un contexto históricamente *predecible* para la vida acuática.



**Figura 17: Curvas de caudales del río Santa Cruz. 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 nivel de pulsos diarios e intradiarios se presenta a continuación el hidrograma de caudales diarios, para algunos años en particular para observar su estacionalidad:



Del análisis de los registros diarios y horarios a la salida del Lago Argentino, se pueden las siguientes consideraciones:

- Las variaciones diarias de caudal son menores a 20m<sup>3</sup>/s en más del 95% del tiempo; esto brinda una idea de la amplitud de pulsos que ingresa al Río Santa Cruz;

- Las variaciones intradiarias (estimadas a partir de tres lecturas hidrométricas diarias) son muy pequeñas; en el 95% del tiempo, el gradiente horario no supera los  $2\text{m}^3/\text{s}$ .

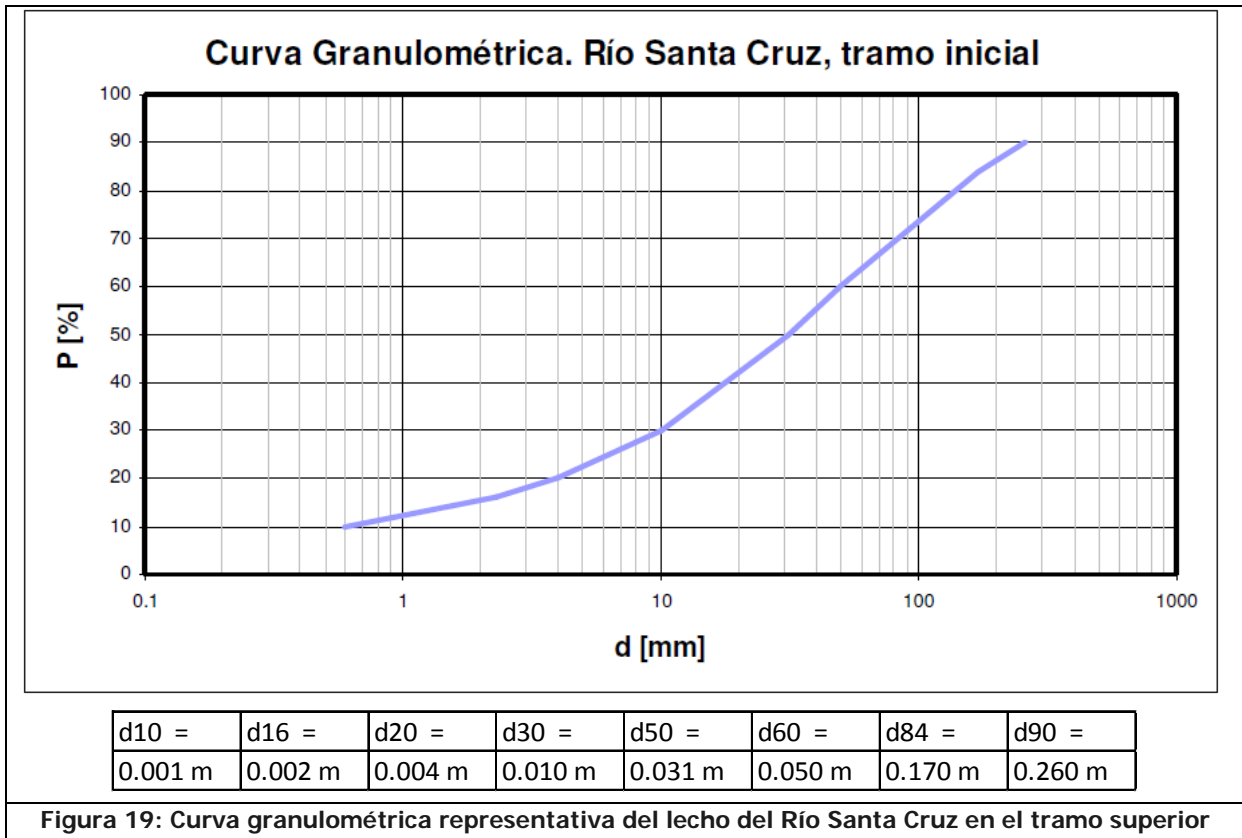
#### 4.2.4.8. RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO

La caracterización de sedimentos del lecho del río Santa Cruz indica que la distribución granulométrica es extendida, y que bajo la acción del flujo se genera una coraza de granos gruesos que blinda las capas inferiores de sedimentos más finos.

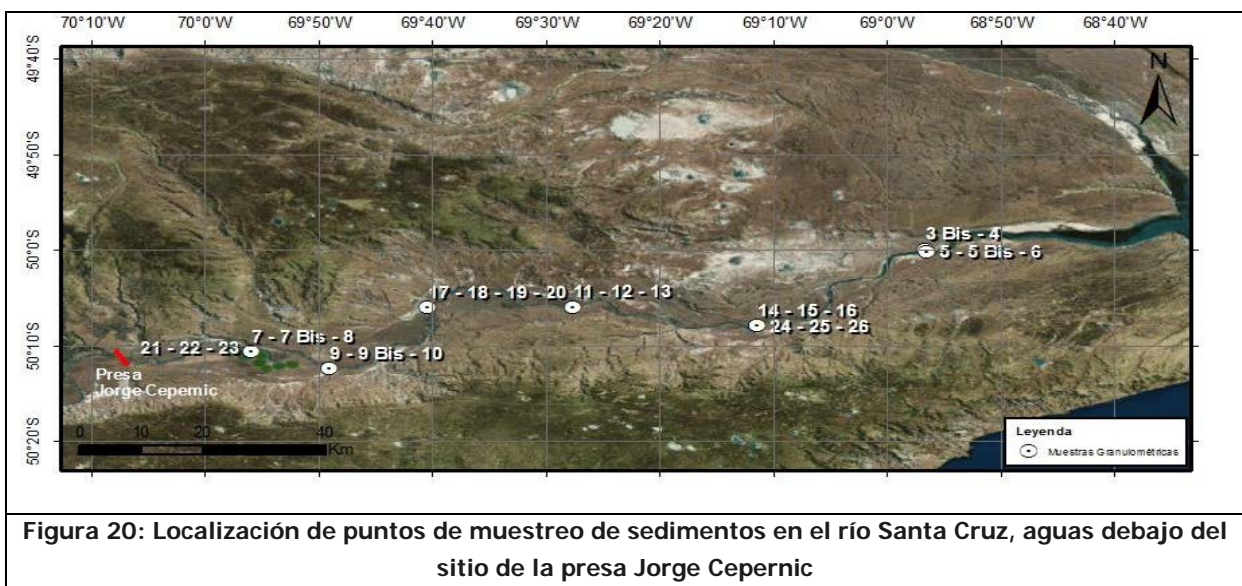
La distribución característica de tamaños del lecho del curso se explica en que la mayor parte del curso del río Santa Cruz se localiza en el cuerpo de una terraza de acumulación que acompaña al cauce activo como una faja de ancho regular y en la cual es mayoritaria la presencia de gravas gruesas e incluso bloques de gran tamaño, con muy baja participación de granulometrías arenosas (Malagnino, E., 2017).

Sobre la base una serie de muestras extractadas a lo largo del río e inspecciones visuales la granulometría del lecho fluvial en el tramo superior está representada por función granulométrica establecida en forma estimativa) y representada en la siguiente figura, que evidencia una distribución muy extendida (Determinación de la función "altura-caudal" del río Santa Cruz a la salida del Lago Argentino, Farías, H., 2016).





En el tramo medio e inferior del curso se cuenta con datos de granulometría del sedimento del cauce procedentes de 27 muestras, localizadas desde aguas abajo de la localización prevista para la presa JC hasta la zona cercana al estuario (**Figura 19**).



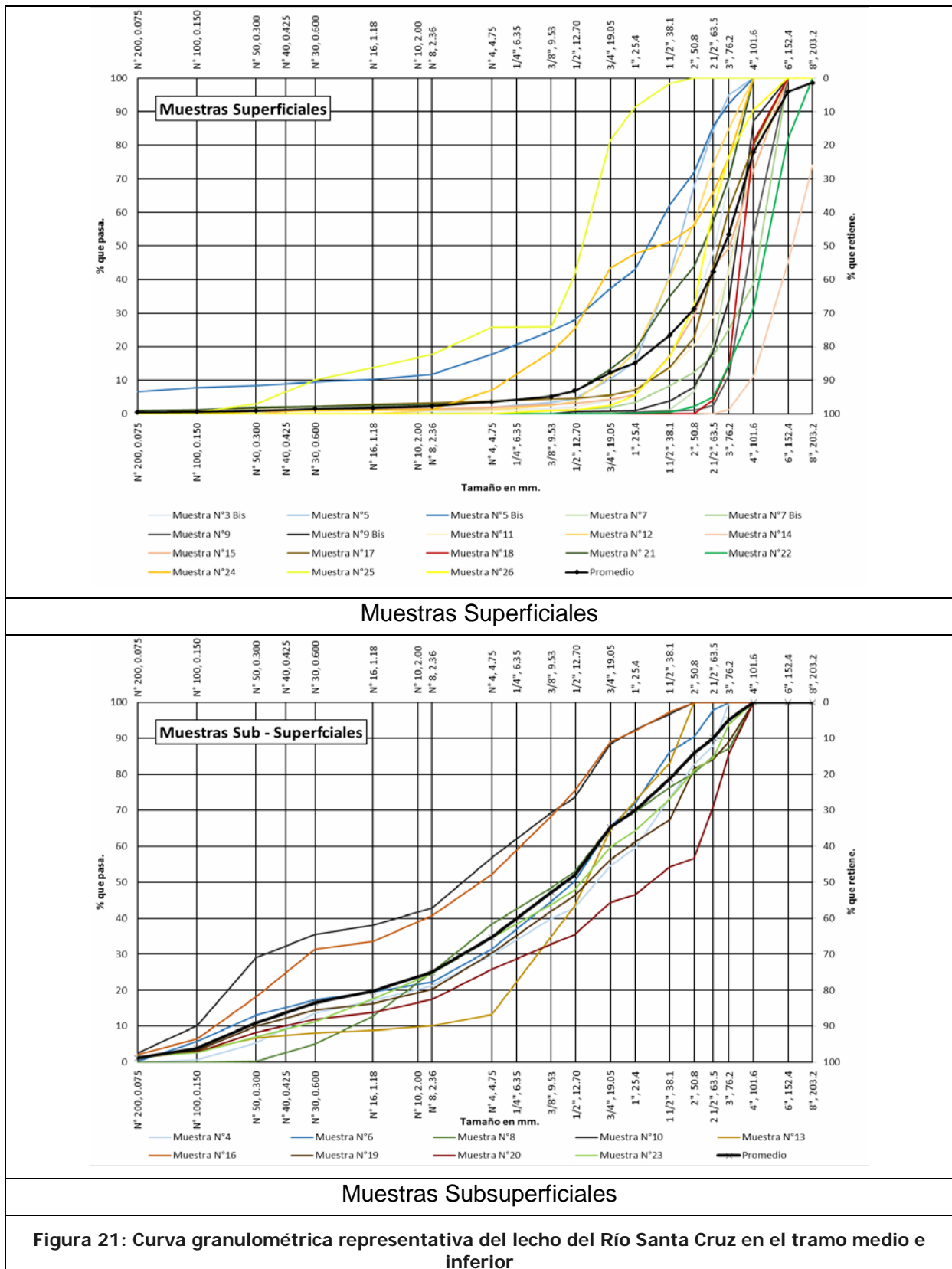
En estas muestras se efectuaron tomas superficiales y sub-superficiales sobre margen derecha, margen izquierda y centro del cauce, que se señalan en la siguiente tabla (ordenadas desde aguas arriba hacia aguas abajo) y que evidencia que en las muestras superficiales el diámetro representativo  $d_{50}$  es de 69,4 mm (bochas chicas) y en las subsuperficiales es de 13,5 mm, que corresponden a grava media.

**Tabla 3: Diámetro medio de muestras de sedimento de fondo del Río Santa Cruz**

<b>Orden</b>	<b>Muestra</b>	<b>Margen</b>	<b>Alcance</b>	<b><math>d_{50}</math> (mm)</b>
1	7	Derecho	Superficial	81
2	7 Bis	Derecho	Superficial	110.8
3	8	Derecho	Subsuperficial	10.5
4	21	Derecho	Superficial	56.7
5	22	Derecho	Superficial	120.1
6	23	Derecho	Subsuperficial	13.7
7	9	Derecho	Superficial	99.2
8	9 Bis	Derecho	Superficial	83.9
9	10	Derecho	Subsuperficial	3.6
10	11	Izquierdo	Superficial	81.7
11	12	Izquierdo	Superficial	45.5
12	13	Izquierdo	Subsuperficial	14.6
13	17	Izquierdo	Superficial	68.2
14	18	Izquierdo	Superficial	89.7
15	19	Izquierdo	Subsuperficial	15
16	20	Izquierdo	Subsuperficial	31.1
17	14	Izquierdo	Superficial	161
18	15	Izquierdo	Superficial	77
19	16	Izquierdo	Subsuperficial	4.3
20	24	Cauce	Superficial	34
21	25	Cauce	Superficial	13.9
22	26	Cauce	Superficial	58.7
23	5	Derecho	Superficial	42.3
24	5 Bis	Derecho	Superficial	30
25	6	Derecho	Subsuperficial	12.4
26	3 Bis	Izquierdo	Superficial	64.7
27	4	Izquierdo	Subsuperficial	16.5

Las curvas granulométricas de todas las muestras indican que las granulometrías de las muestras superficiales se concentran en el rango de gravas y bochas, con una presencia ínfima de material más fino, mientras que las de las muestras subsuperficiales son más extendidas, con presencia de arenas muy fina hasta gravas más gruesas, indicando la presencia de acorazamiento.





Este fenómeno se explica en que al estar el lecho constituido por una mezcla de distintos tamaños, cada uno tiene una tensión crítica diferente y el flujo puede trasladar los finos más fácilmente que los gruesos, explicándose un desplazamiento selectivo de las partículas finas que con el tiempo puede producir una mayor frecuencia de sedimentos gruesos en la superficie, estabilizando el nivel del lecho.

Mediante el uso un modelo matemático unidimensional desarrollado con el software HEC-RAS y soportado por 110 secciones transversales relevadas en el período del 12/Oct al 06/Dic de 2016, Menéndez et al., analizaron la estaticidad de la coraza considerando el ingreso al tramo aguas debajo de la presa JC del hidrograma medio mensual en la estación Charles Fuhr con suministro nulo de sedimento desde aguas arriba, condición en la que el modelo matemático indicó ausencia de transporte de fondo (Modelación hidrosedimentológica del río Santa Cruz bajo el efecto de las represas patagónicas, Ménendez, A., Badano, N. y Kazimierski, L, 2017).

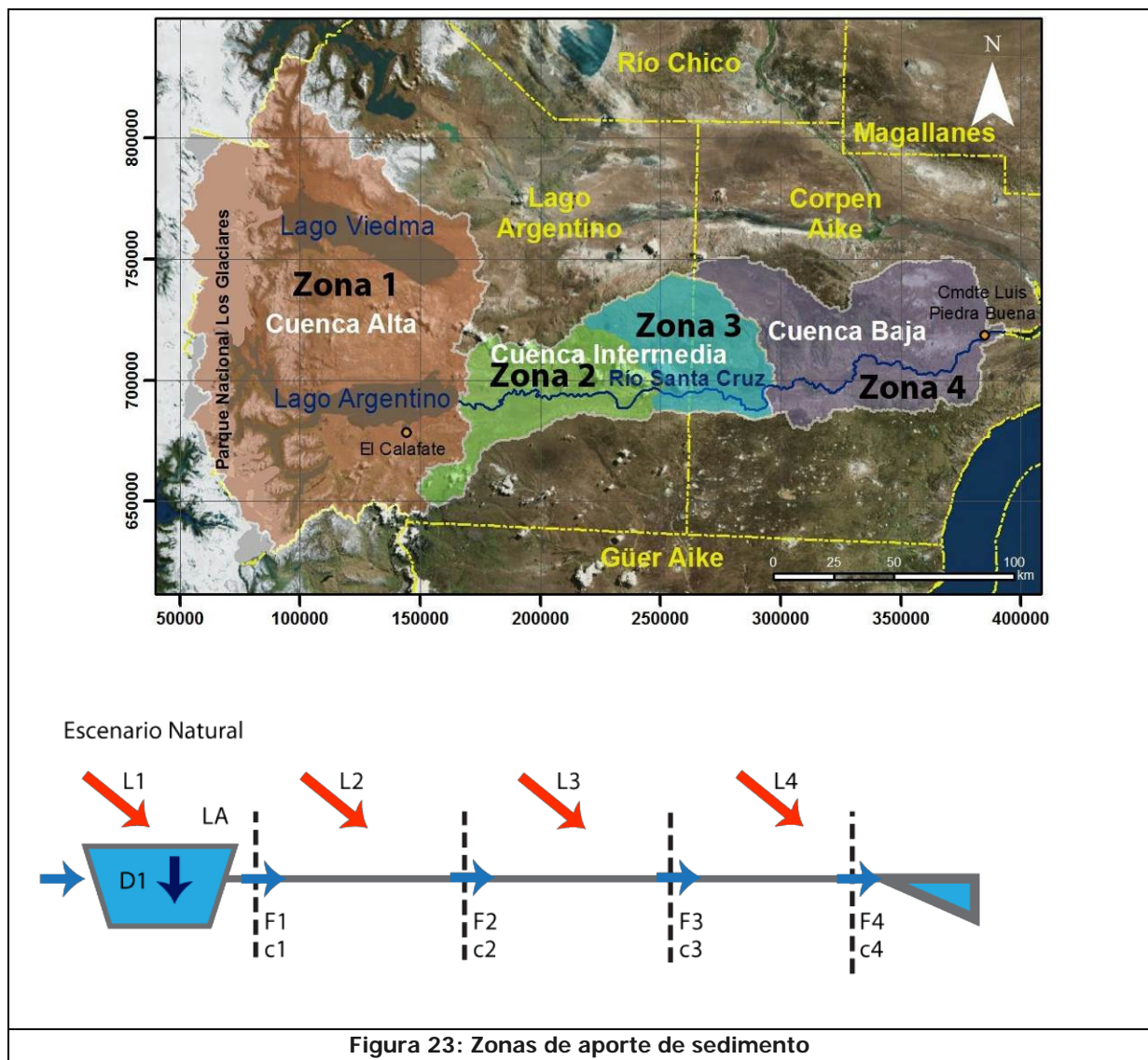
La carga de sedimentos en suspensión se relevó en diciembre de 2016 mediante una campaña de recolección de muestras de agua a lo largo del río Santa Cruz y su estuario, a partir de las cuales se determinaron concentraciones de SST. Las tres muestras representativas de la concentración sobre el río Santa Cruz indicaron valores en el rango 5 a 10 mg/l, mientras que en el estuario la variabilidad de concentración de SST es mayor.



La carga de sedimentos en suspensión del río Santa Cruz reconoce dos orígenes. Por un lado obedece a la erosión hídrica producida en su cuenca alta que es mayormente retenida en el Lago Argentino y la que le confiere el Río La Leona, proveedor de aporte clástico a través de la embocadura del Río Santa Cruz mediante corrientes de deriva generadas por el oleaje en el Lago

Argentino y por otro, por erosión eólica. Los sedimentos aportados son de granulometría fina y son transportados en suspensión o dilución dependiendo de su tamaño.

Menéndez et al. (2017) analizaron las zonas de aporte de sedimentos distinguiendo zonas de producción asociadas a las subcuencas de aporte superficial con cierre en el Lago Argentino, la sección de la presa NK, la sección de la presa JC y la de la ciudad de Luis Piedrabuena como se indica en la **Figura 22**:



**Figura 23: Zonas de aporte de sedimento**

Para una condición de caudal inferior al medio ( $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ), correspondiente al mes de diciembre de 2016 se estimó que las tasas de erosión media para las subcuencas indicadas, eran de  $400 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{día}$  ( $1,5 \text{ ton}/\text{ha}/\text{año}$ ) en la cuenca de aporte al Lago Argentino y de  $17,5 \text{ kg}/\text{km}^2/\text{día}$  ( $0,064 \text{ ton}/\text{ha}/\text{año}$ ) en las cuencas de aporte a las secciones NK, JC y estuario.

Estas estimaciones resultan de la calibración de un modelo cero dimensional que fue calibrado asumiendo un diámetro medio representativo de la fracción en suspensión de  $d_{50} = 4 \mu\text{m}$  representativo de limos y arcillas no coloidales (velocidad de caída de  $1,2 \text{ m/día}$  y valor crítico de velocidad de corte de deposición  $u^*d = 0,8 \text{ cm/s}$ ) y en la hipótesis que la fracción sedimentable constituye el 50% de los sólidos suspendidos.

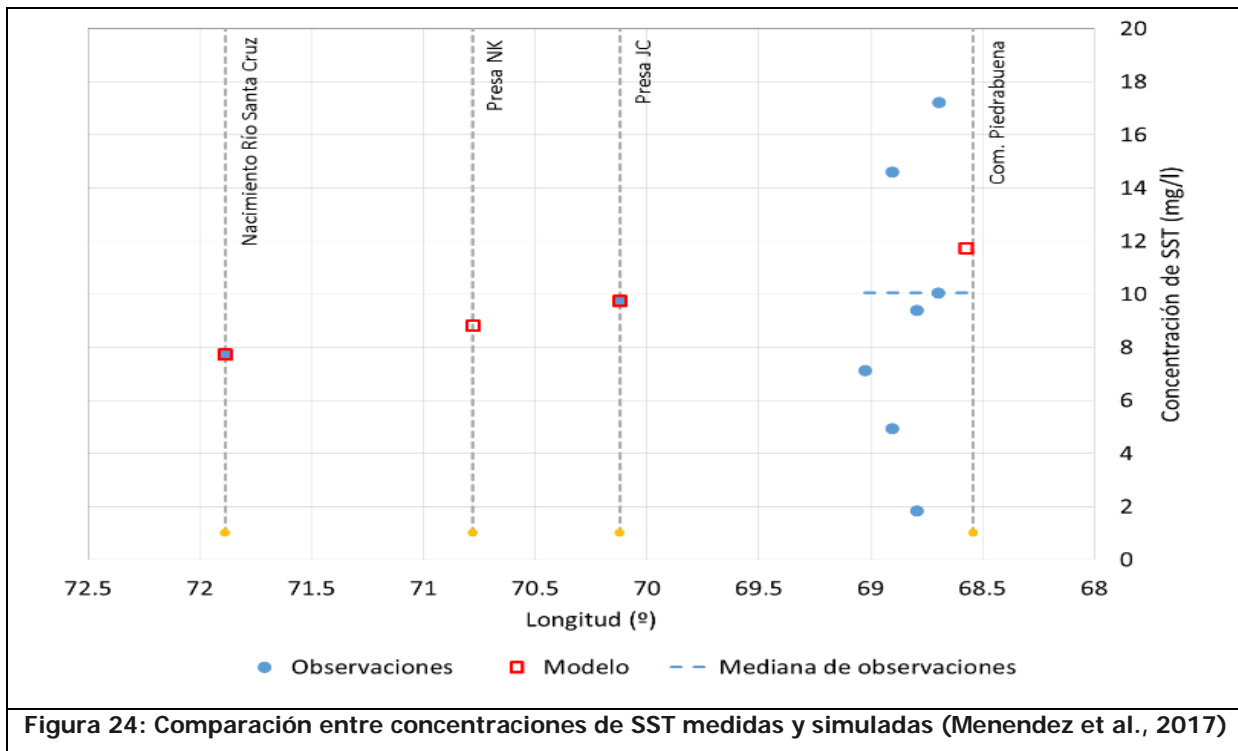


Figura 24: Comparación entre concentraciones de SST medidas y simuladas (Menendez et al., 2017)

A partir de este escenario de producción de carga de sedimentos se calculó el balance el balance medio de carga sólida discriminándose las cargas entrantes por aporte lateral, depositada por sedimentación y saliente, correspondientes a la fracción sedimentable, mientras que la carga transportada en forma coloidal no varía a lo largo del río, como se indica en la **Tabla 4** en la que también se muestran las concentraciones de sólidos a la salida de cada tramo.

Si bien estos resultados se infieren a partir de hipótesis relativas a la relación de partición (sedimentable/coloidal), se requerirán monitoreos de detalle, tal como han sido previstos en el PGA, para su determinación ajustada y calibrada con información detallada de campo. La **Figura 24** muestra la evolución anual de la concentración de SST al final de cada uno de los cuatro tramos de recepción de aportes, donde se visualiza la modulación estacional de este parámetro.

Tabla 4: Balance de carga sólida y concentraciones medias de sólidos en el Río Santa Cruz (Menéndez et al. 2017)

Balance medio anual de carga sólida para escenario natural		Sólidos Sedimentables			Sól. Coloidales
		Aporte lateral	Deposición	Carga saliente	Carga saliente
		(10 <sup>3</sup> ton/año)	(10 <sup>3</sup> ton/año)	(10 <sup>3</sup> ton/año)	(10 <sup>3</sup> ton/año)
Natural	L.Argentino	2482.0	2396.9	85.1	85.1
	Presa NK	19.8	-	104.9	85.1
	Presa JC	18.2	-	123.1	85.1
	Tramo inferior	38.0	-	161.1	85.1

Concentraciones medias anuales de sólidos para escenarios natural		Sólidos Sedimentables	Sólidos Coloidales	S. Suspendidos Totales (SST)	Variación de SST
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(%)
Natural	L.Argentino	3.85	3.84	7.69	-
	Presa NK	4.97	3.84	8.81	-
	Presa JC	6.00	3.84	9.84	-
	Tramo inferior	8.16	3.84	12.00	-

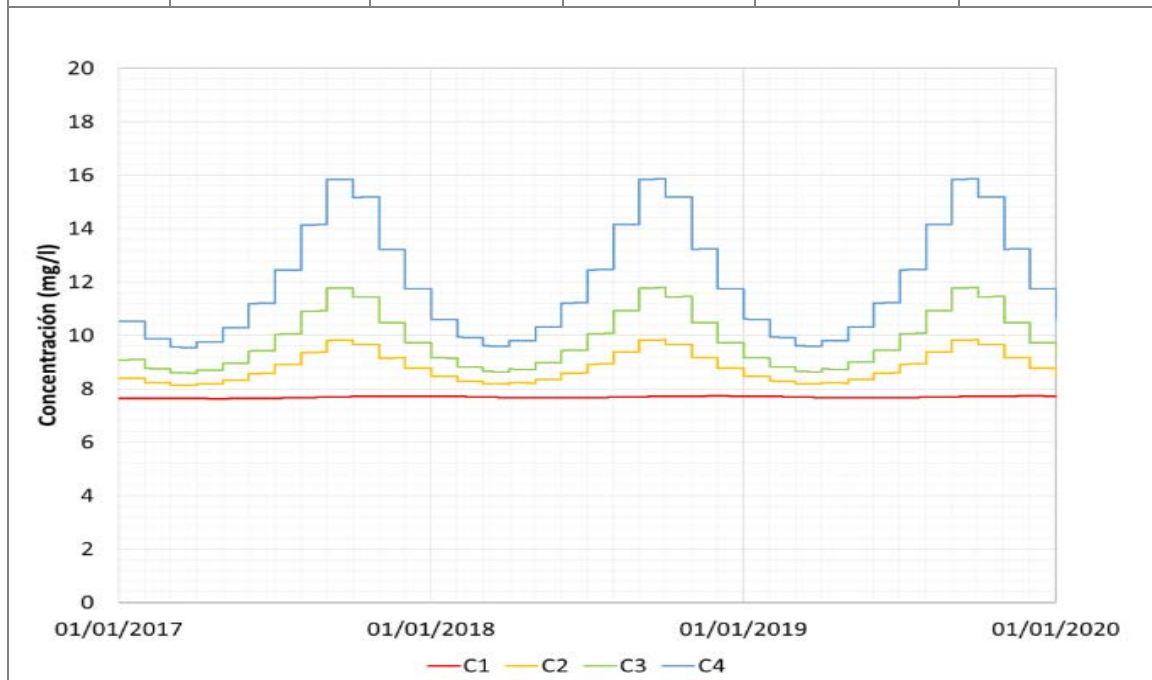


Figura 25: Concentración de SST a la salida de cada subcuenca de aporte (Menéndez et al., 2017)

#### 4.2.4.9. CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA FLUVIO-LACUSTRE

Uno de las dinámicas salientes se centra en el análisis de la interacción entre el comportamiento en condiciones naturales del Lago Argentino y el primer tramo fluvial del río Santa Cruz.

A continuación, se realiza una caracterización de dicha dinámica a partir de diversos antecedentes llevados a cabo y disponibles para este estudio, a saber:

1. Funcionamiento de Lago Argentino-Río Santa Cruz-Embalse Nestor Kirchner (UNLP)
2. Determinación de la función Altura-Caudal para el Río Santa Cruz a la salida del Lago Argentino (Ing. Héctor Daniel Farías, UTE)
3. Evaluación de la influencia del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner sobre los niveles del Lago Argentino (Ing. Ascensio Lara, 2016)

El funcionamiento del sistema en condiciones naturales se caracteriza a partir del análisis de los registros de niveles en la escala en lago Argentino y de niveles y caudales en la escala de Charles Fuhr.

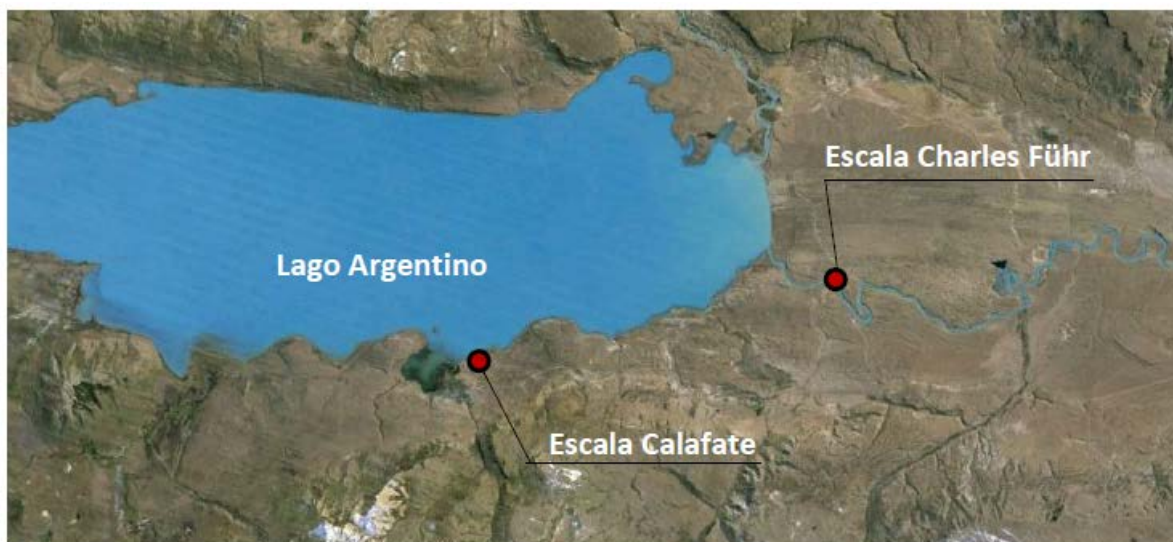


Figura 26: Ubicación de escalas hidrométricas

##### 4.2.4.9.1 Régimen de Niveles en el Lago Argentino

El cero de la escala de niveles en Lago Argentino es 174.867msnm y se disponen de registros diarios desde Enero de 1992 a la fecha.

Del análisis de la variación de niveles diarios se destacan los siguientes puntos:

- i. El valor mínimo y máximo registrado es de 176.79msnm y 180.39msnm;
- ii. A partir del registro de niveles se destaca una leve tendencia ascendente, lenta pero gradual, de niveles de agua en el Lago Argentino;

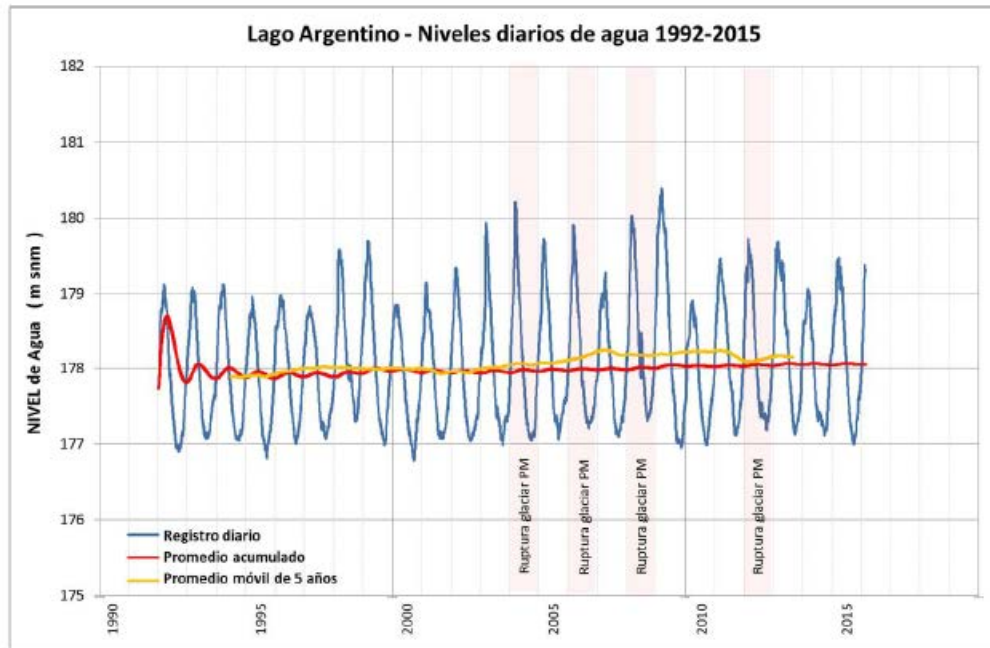


Figura 27: Lago Argentino: variación de niveles históricos

- iii. El patrón de oscilación de niveles se repite en forma armónica todos los años que se interrumpe en ocasión de la ruptura del glaciar que se manifiesta con un marcado ascenso de los mismos;

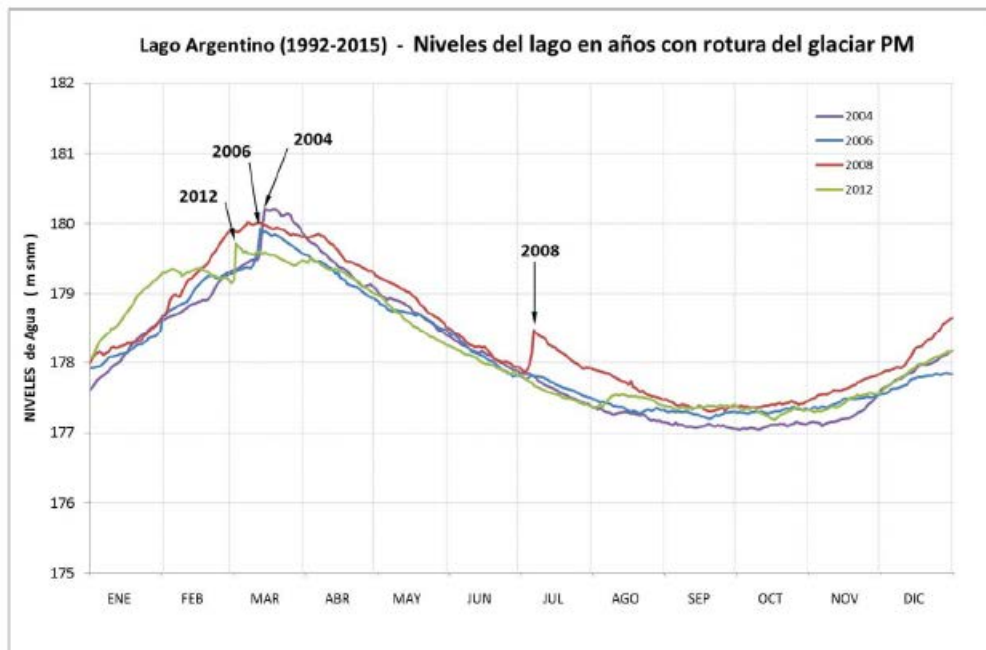
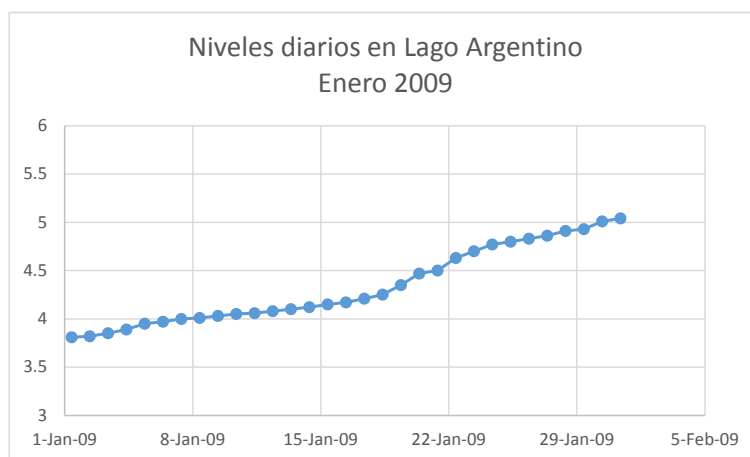
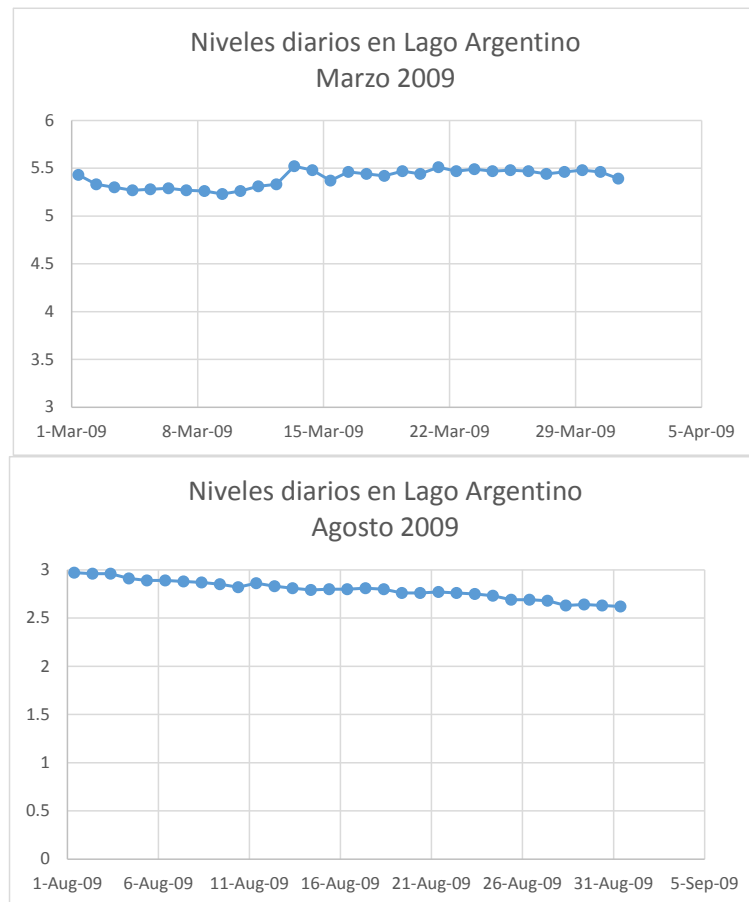


Figura 28: Lago Argentino: Niveles en correspondencia con episodios de rotura del glaciar

- iv. En términos de variaciones diarias se observa que se presentan gradientes muy suaves con diferencias de niveles que no superan los 5cm/día; las siguientes figuras ilustran la variación de niveles diarios en tres meses del año:
- v.







**Figura 29: Lago Argentino: Variaciones de niveles diarios**

vi. En términos de frecuencia de ocurrencia de niveles:

Lago Argentino: Niveles de agua para distintas probabilidades de excedencia y diversas condiciones hidrológicas									
	0%	1%	2%	5%	50%	95%	98%	99%	100%
<b>Año HUMEDO típico</b>	180,39	180,12	179,92	179,67	177,99	177,10	177,03	176,98	176,91
<b>Año MEDIO</b>	180,39	179,93	179,82	179,46	177,91	177,07	177,01	176,96	176,79
<b>Año SECO típico</b>	179,94	179,33	179,18	179,01	177,79	177,05	176,96	176,91	176,79

#### 4.2.4.10. RANGO DE CAUDALES EN EL RÍO SANTA CRUZ

El cero de la escala de niveles la estación de aforos de Charles Fuhr es 172.167msnm (luego de la corrección por relevamiento de la UTE) y se disponen de registros diarios de niveles de escala desde Enero de 1956 a la fecha con 2082 aforos desde Enero de 1958 a la fecha.

Del análisis de la variación de caudales medios diarios se destacan los siguientes puntos:

- i. Los caudales mínimos y máximos obtenidos a partir de las lecturas hidrométricas son de 990m<sup>3</sup>/s y 2440m<sup>3</sup>/s respectivamente.
- ii. La frecuencia de ocurrencia de caudales para distintos años es la siguiente:

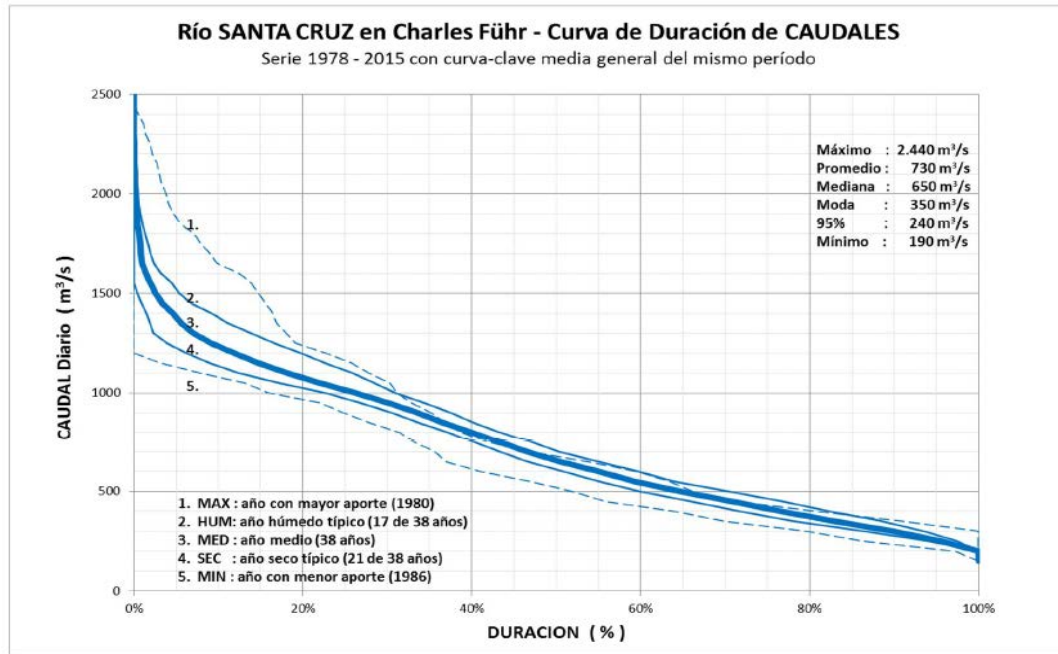
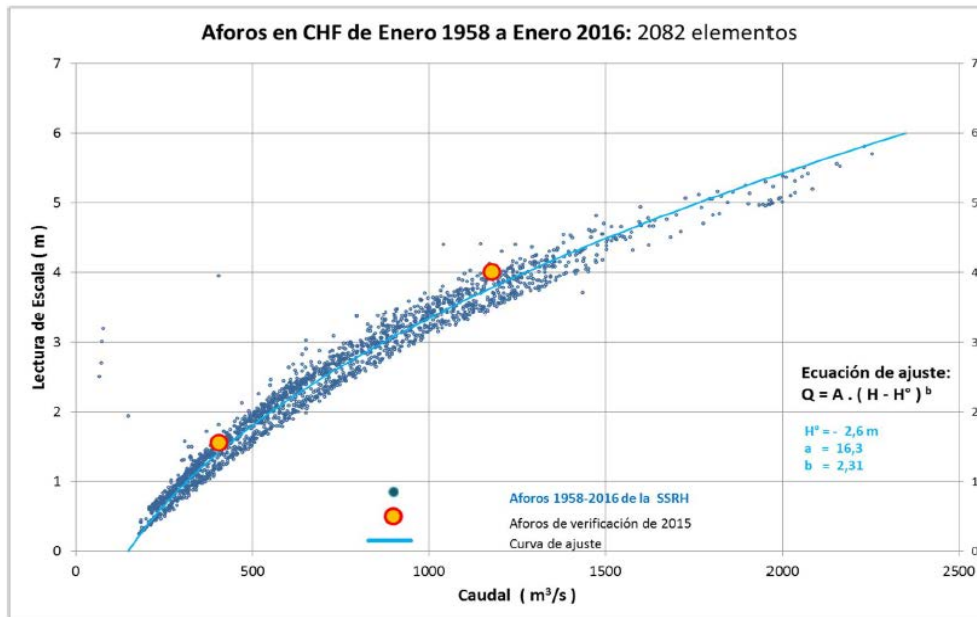


Figura 30: Río Santa Cruz: Frecuencia de excedencia de caudales

#### 4.2.4.10.1 Curva Clave en Charles Fuhr



**Figura 31: Río Santa Cruz: curva clave en Charles Fuhr**

- Confiabilidad de la escala de Charles Fuhr

Los estudios antecedentes dan cuenta de una posible modificación de cambio de escala a partir del año 1977 sustentada por un marcado cambio en las lecturas hidrométricas pre y post dicho año.

- Curva clave CFUR-LARG

Como síntesis de la dinámica hidráulica entre la desembocadura del Lago Argentino y el tramo del río Santa Cruz hasta la estación de aforo de Charles Fuhr, se presenta la denominada curva clave de funcionamiento; es decir la curva que relaciona caudales en el río con niveles en el Lago Argentino.

En primera instancia se presenta la curva-clave que resulta del ajuste de la serie de aforos históricos.

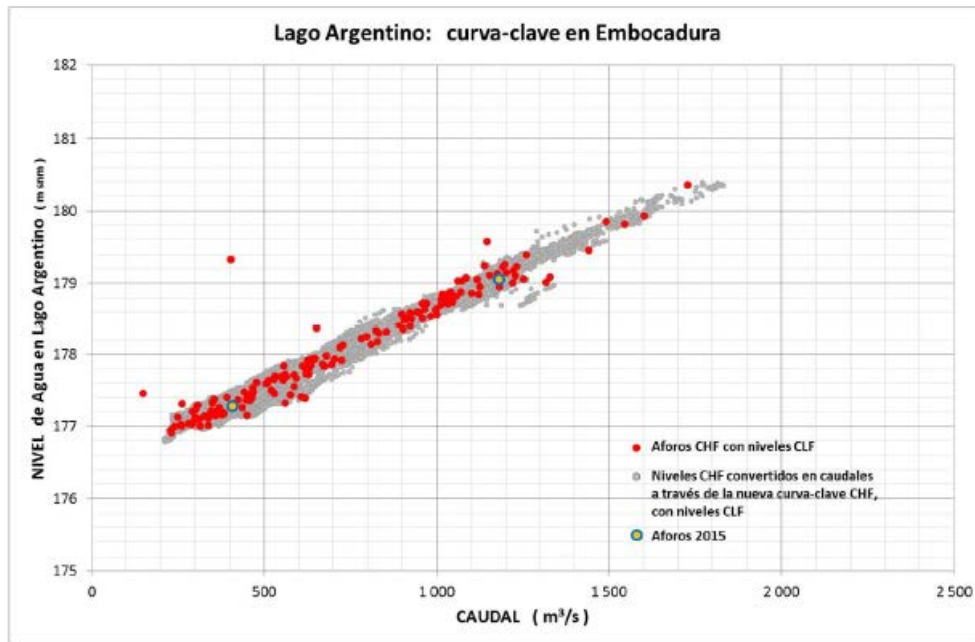


Figura 32: Lago Argentino-Río Santa Cruz: relación de caudales en Charles Fuhr con niveles en el Lago Argentino en base a mediciones y aforos

El desarrollo de una curva-clave analítica fue obtenido a partir de diversos ejercicios de modelación matemática que han permitido poner de manifiesto una serie de controles hidráulicos que operan en los primeros kilómetros de río. Se destaca como antecedente el modelo de flujo 3D elaborado por la UNLP y el modelo 1D desarrollado por Héctor Farías.

Ambos ponen de manifiesto la existencia de tres controles claros (tal como se sintetiza en el trabajo desarrollado por el Ing. Ascensio Lara): un control de tirante crítico dado por la sección sobreelevada de paso entre el Lago Argentino y el curso fluvial (régimen umbral), un control fluvial gobernado por el comportamiento friccional del curso (régimen fluvial) y un comportamiento transicional entre ambos (régimen angostura). La siguiente figura ilustra los controles hidráulicos señalados en planta.

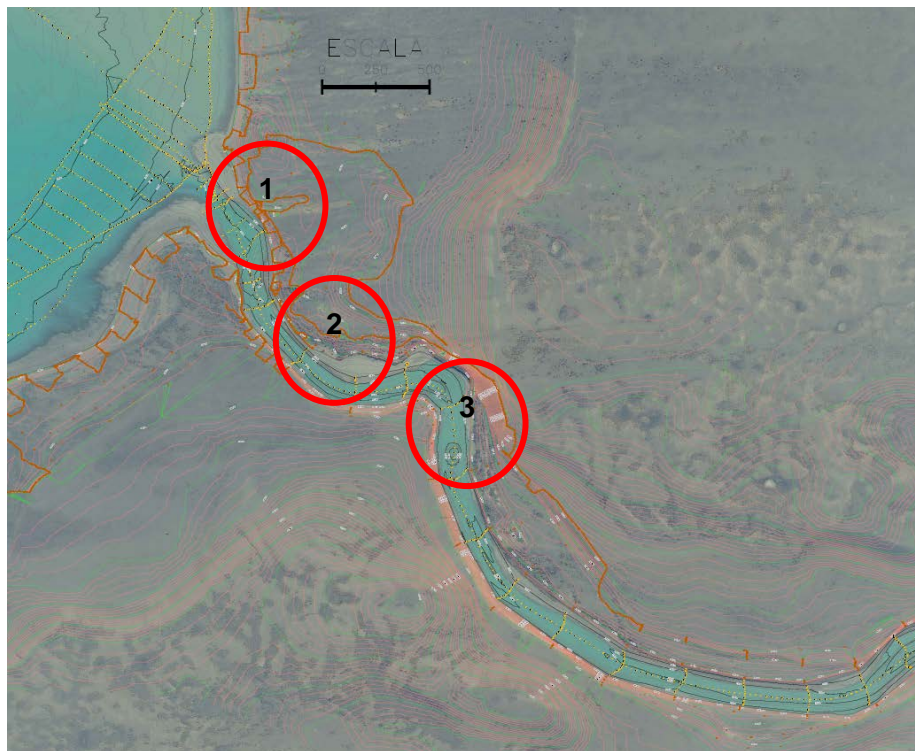


Figura 33: Río Santa Cruz: controles hidráulicos (1 – embocadura; 2 – angostura/transición; 3 – fluvial)

Se presenta a continuación la curva clave resultante del análisis, adoptando como síntesis la desarrollada en el estudio del desacople (Lara, 2016):

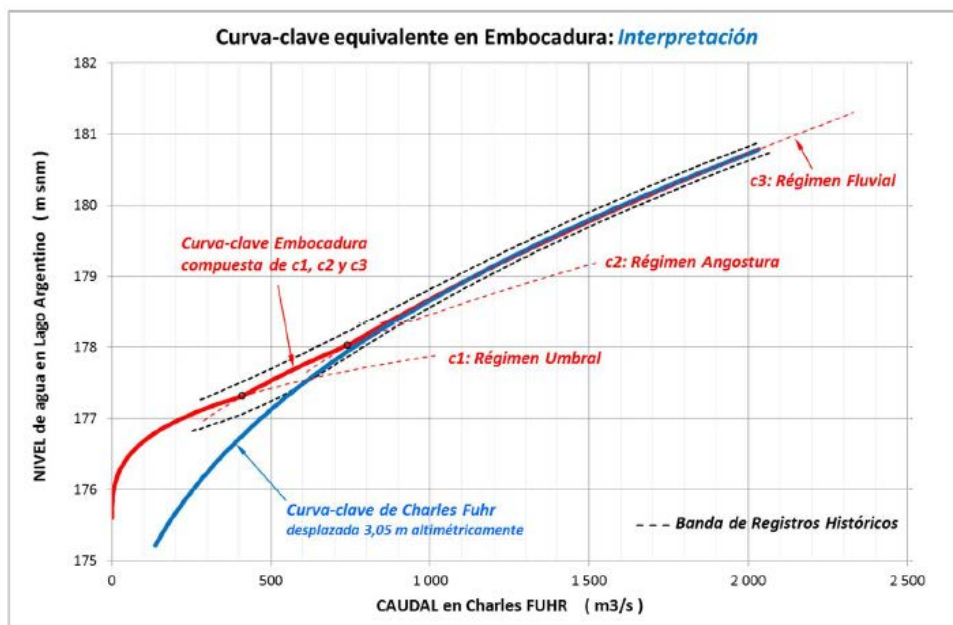


Figura 34: Lago Argentino - Río Santa Cruz: curva-clave

En términos numéricos las siguientes tablas presentan los resultados obtenidos:

Caudal (m <sup>3</sup> /s)		Niveles en el Lago Argentino (msnm)						
		200	355	750	1200	2100	3000	4100
Nivel natural	Maximo registrado (+25cm)	177.10	177.40	178.35	179.40	181.40	n/d	n/d
	Nivel promedio	176.82	177.15	178.07	179.10	181.10	n/d	n/d
	Mínimo registrado (-25cm)	176.55	176.90	177.80	178.80	180.80	n/d	n/d
	Curva-Clave (Lara 2016)	176.95	177.23	178.04	179.14	180.90	182.36	183.90

#### 4.2.4.11. CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA DE INTERACCIÓN CON EL ESTUARIO

El tramo fluvial, en su parte terminal, está gobernado por el régimen de mareas que produce una rémora del escurrimiento, generándose un estuario a partir del Km 57,5 aproximadamente desde Comandante Piedrabuena hasta el océano y que recibe también los aportes del Río Chico.

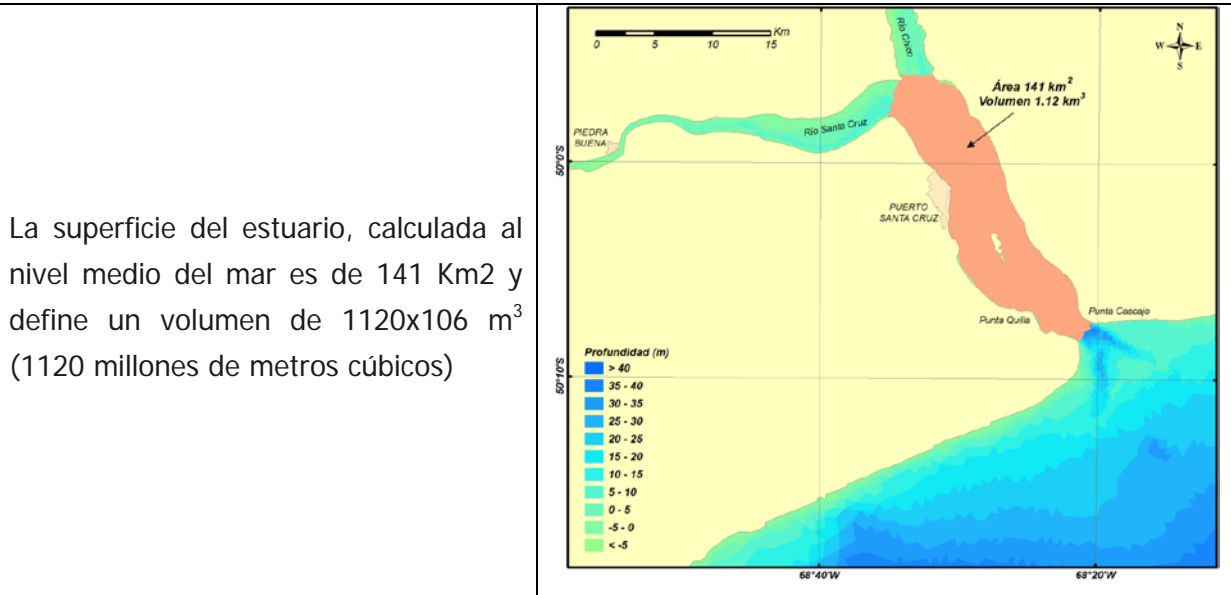
La longitud del estuario de Santa Cruz tiene entre 50 y 70 Km, dependiendo de la fase hidrológica en que se encuentre el río y de la época en que ocurren las mareas. Esta suerte de presiones parciales entre ambos centros de fuerza, determina que el agua en el tramo estuarial pueda cambiar la dirección y el sentido de la circulación hacia o desde el mar, generándose áreas de flujos equipotenciales, arremansadas hasta la proximidad de la isla Pavón.

El flujo del estuario está regido por el control hidráulico inferior impuesto por el nivel de la marea. Las mareas en Punta Quillá, a 3500 Km de Punta Entrada, tienen pleamares de sicigias que superan los 12 metros, en tanto que las de cuadraturas llegan a 7,65 metros (Soldano, 1947).

Configura un ambiente físico y químico propio, en el que el flujo oceánico originado durante las pleamares, se introduce en el estuario sobre el fondo del río, mientras que el flujo fluvial circula hacia el mar por la parte superficial del curso, debido a la menor densidad. Dentro del mismo, el agua salada que ingresa por la conexión libre con el mar abierto es diluida con agua dulce fluvial.

El régimen de marea es semidiurno con amplitudes máximas superiores a 12m (Tabla de Mareas de Punta Quilla, Servicio de Hidrografía Naval, SHN, 2016) y las corrientes de marea dominan el flujo de agua hacia dentro del estuario (creciente) y hacia el mar (bajante), produciendo el llenado del estuario y el vaciado dos veces por día.

Debido a la gran amplitud de la marea, la misma domina las corrientes en el estuario, y el viento tiene poca influencia. En las zonas con canales naturales profundos se encuentran velocidades de corrientes muy altas, del orden de 7 nudos (3,5 m/s), durante el vaciado y llenado que produce la marea.



**Tabla 5: Estimación del volumen de agua que ingresa al estuario entre la BM y la PM (prisma tidal) para distintas amplitudes de la marea (ESSA, 2017)**

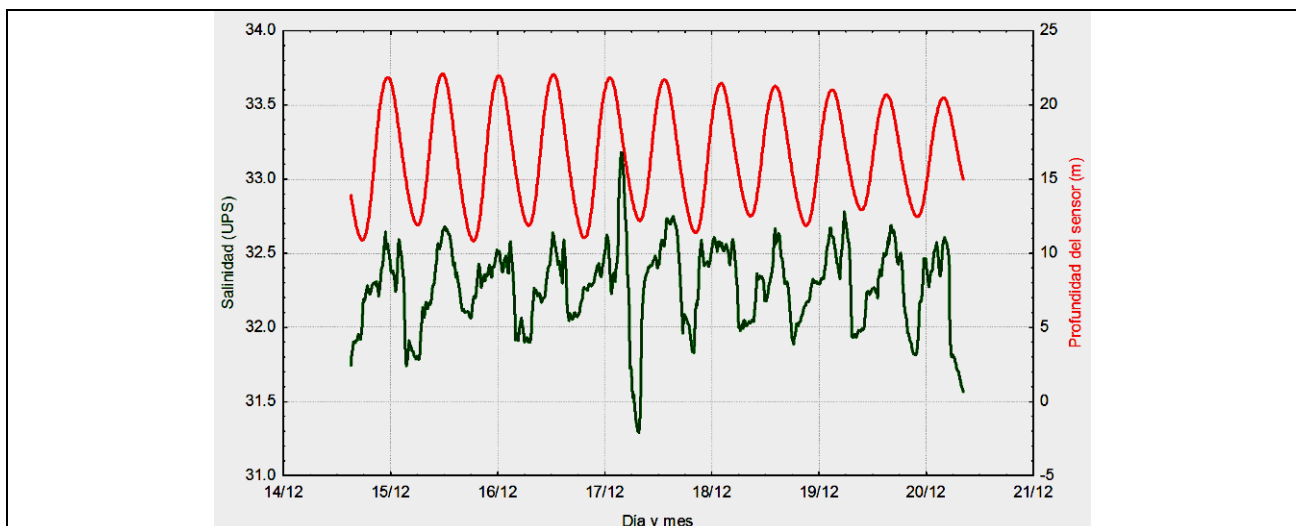
Estado de la marea	Amplitud representativa (m)	Volumen de agua que ingresa al estuario entre la BM a la PM (km <sup>3</sup> )
Marea de sicigias (mayor amplitud)	12	1.69
Mareas medias (amplitud media)	8	1.13
Marea de cuadratura (menor amplitud)	6	0.85

La dinámica de nutrientes del estuario del río Santa Cruz estaría influenciada por los flujos de marea, ya que los caudales de agua marina que ingresan diariamente al estuario son varios órdenes de magnitud superiores al aporte fluvial (ríos Chico y Santa Cruz). Un concepto que debe ser profundizado es el grado de recambio de la masa de agua del estuario con el agua de mar circundante, ya que por la importancia de los gradientes hidráulicos producidos por las mareas, se evalúa que dicho recambio puede ser de paso de tiempo lento (20 días según modelación UNLP). El aporte de sedimentos y nutrientes al estuario del río Santa Cruz, si bien resulta en inicio mayoritariamente de origen marino, por el efecto de recambio lento, podría presentar una mayor incidencia de los aportes fluviales de ambos ríos.

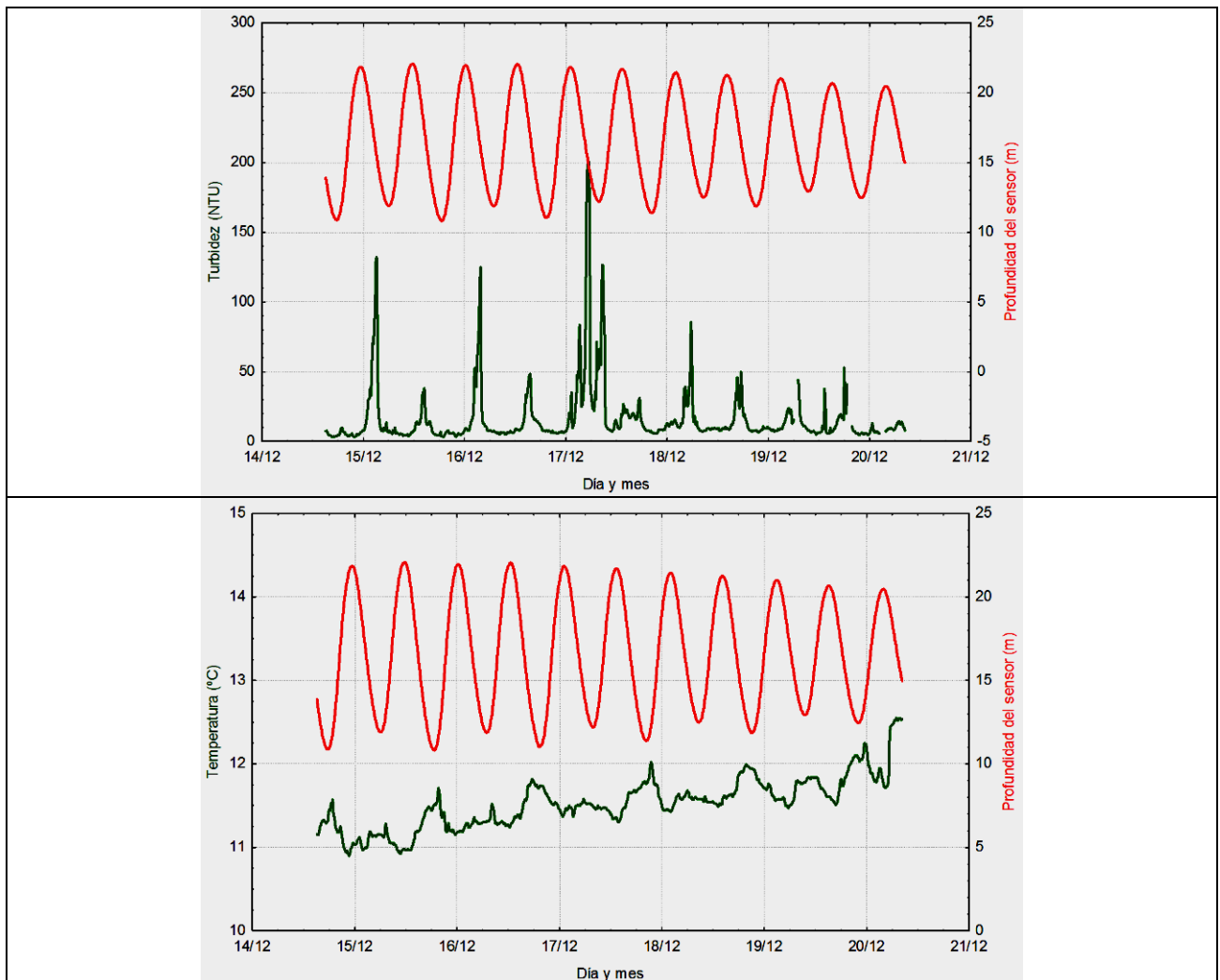
La referencia de distribución de nutrientes y sedimentos corresponde al análisis de muestras de agua superficial tomadas en marzo de 2017 en el río Santa Cruz (Frente a Piedrabuena), Río Chico (en el Puente de la Ruta N° 3) y en el Estuario Exterior Muelle de Punta Quilla en Pleamar (Aportes de Sedimentos y Nutrientes al Estuario del río Santa Cruz, Cavanna, L., Abril de 2017). Sobre estas muestras se realizaron determinaciones de sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales y sólidos nutrientes (Nitrógeno Total, Fósforo Total y Ortofosfatos) y se realizó un modelo conceptual de balance de masa en el que se calcularon las cargas máscas en base a caudales fluviales medios del mes de marzo (Río Santa Cruz:  $965,4\text{m}^3/\text{s}$  y Río Chico:  $16,7\text{m}^3/\text{s}$ ).

La relación de aportes máscicos indica que sólo el 1% de la masa de sedimentos sólidos en suspensión es aportada por el flujo de los ríos Santa Cruz y Chico (0,6% y 0,4%, respectivamente). Guarismos similares se obtienen para los aportes de nitrógeno total, fósforo total y ortofosfatos (aportes fluviales de 0,8%, 1% y 0,8%, respectivamente).

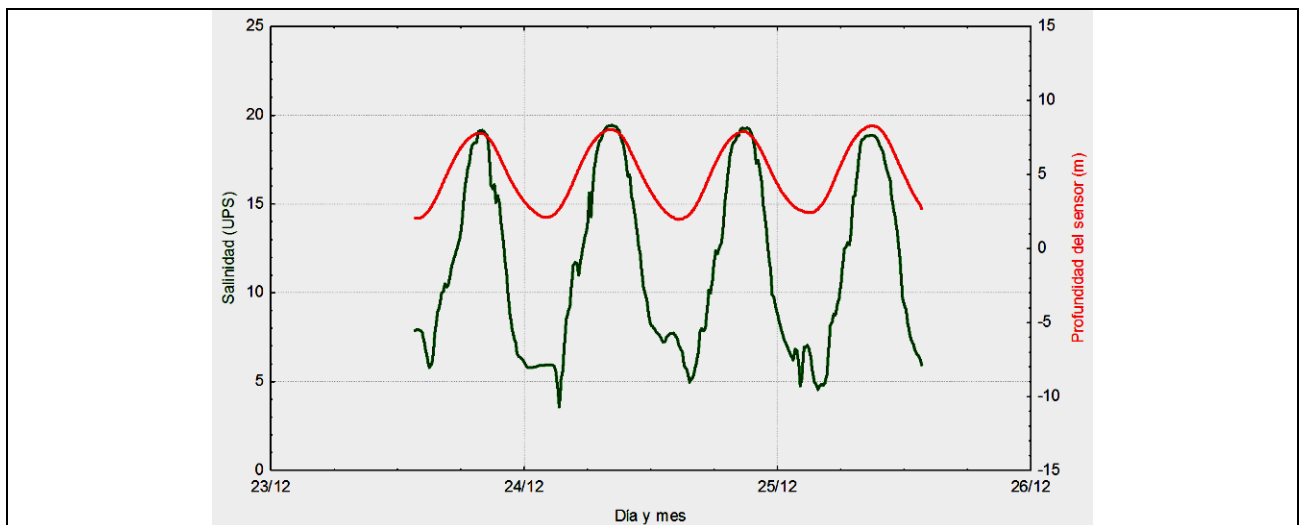
Mientras que dentro del estuario se observó una variación de la salinidad muy significativa de más de 10 UPS, perfectamente sincronizada con las pleamares y bajamares, la turbidez tuvo una muy marcada variabilidad que no depende enteramente de las mareas y la temperatura tendió a presentar un mínimo durante la pleamar y un máximo no muy regular durante la bajamar, indicando la mayor temperatura del agua del río Santa Cruz respecto al agua de mar.

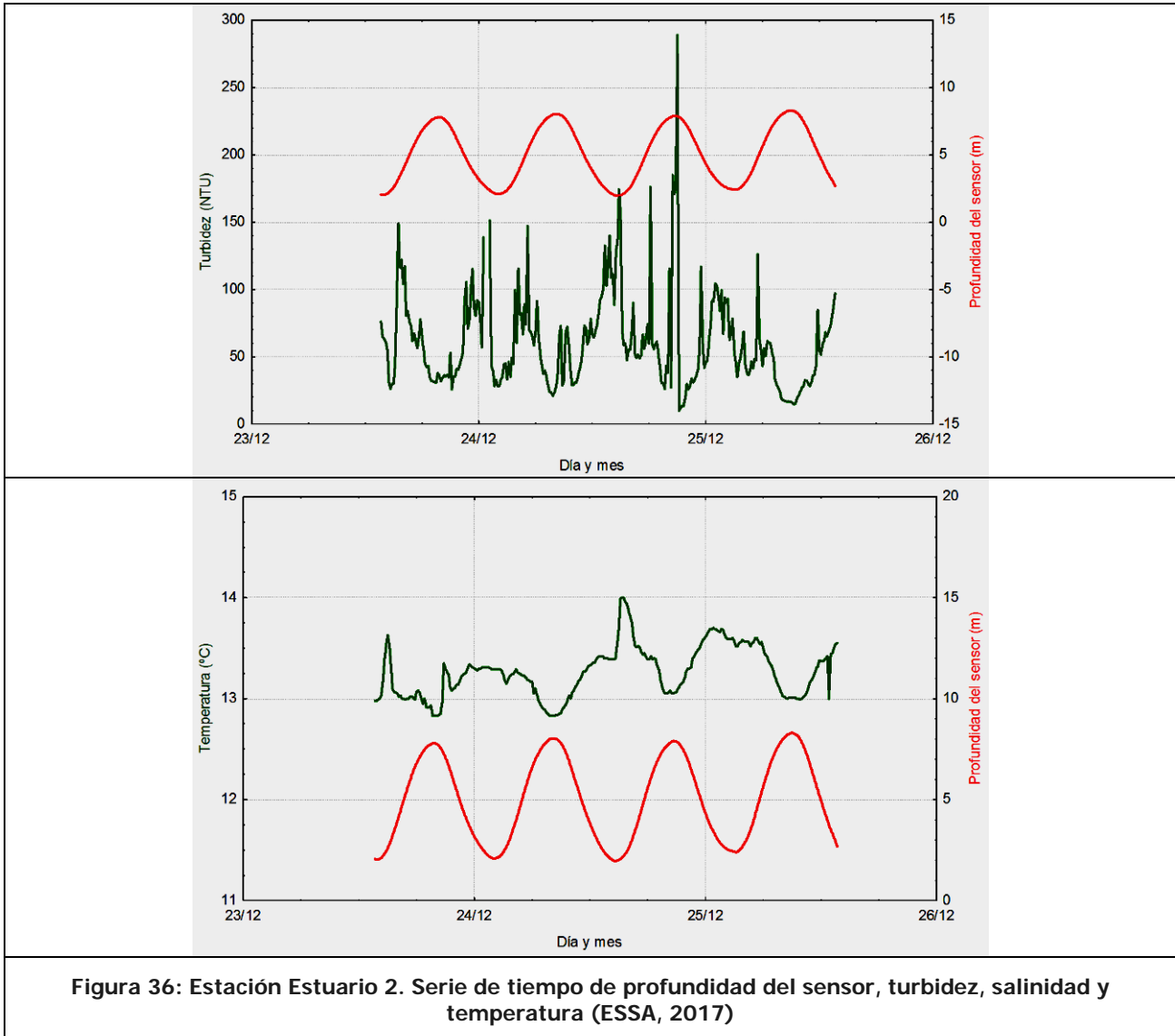






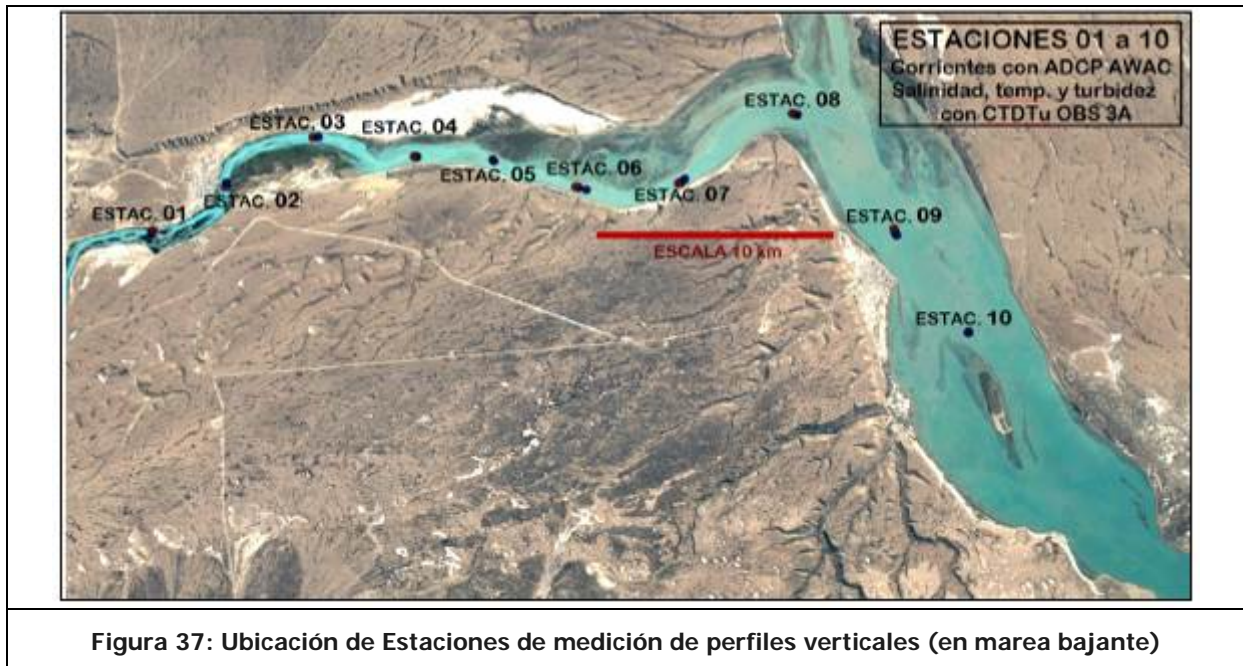
**Figura 35: Estación Mar. Serie de tiempo de profundidad del sensor, turbidez, salinidad y temperatura (ESSA, 2017)**





**Figura 36: Estación Estuario 2. Serie de tiempo de profundidad del sensor, turbidez, salinidad y temperatura (ESSA, 2017)**

Se han realizado mediciones de 20 perfiles verticales de corrientes, temperatura, salinidad y turbidez (23 de diciembre de 2016), con el objetivo de poder evaluar la intrusión salina en los 10 puntos a lo largo del estuario que se ilustran en la siguiente figura, en situación de bajante, y luego de crecida en cada punto.



- La turbidez varía en su valor y distribución vertical a medida que se recorren los puntos de muestreo hacia el mar. Típicamente, las estaciones en el río Santa Cruz muestran valores de hasta unos 10 NTU (Estación 07) y distribución vertical uniforme. A partir de allí, los perfiles de turbidez muestran valores más altos cerca del fondo (algo menores a 60 NTU) que en superficie.
- Respecto a los perfiles de turbidez en condiciones de bajante o creciente, no se observa una tendencia que indique que en creciente los valores de turbidez son mayores o menores a la condición de marea bajante.
- Los perfiles de salinidad indican cero salinidades nulas en las Estaciones 01 a 07. Las estaciones restantes muestran valores de salinidad hasta algo más de 15 UPS con valores mayores cerca del fondo, claramente en las Estaciones 09 y 10.

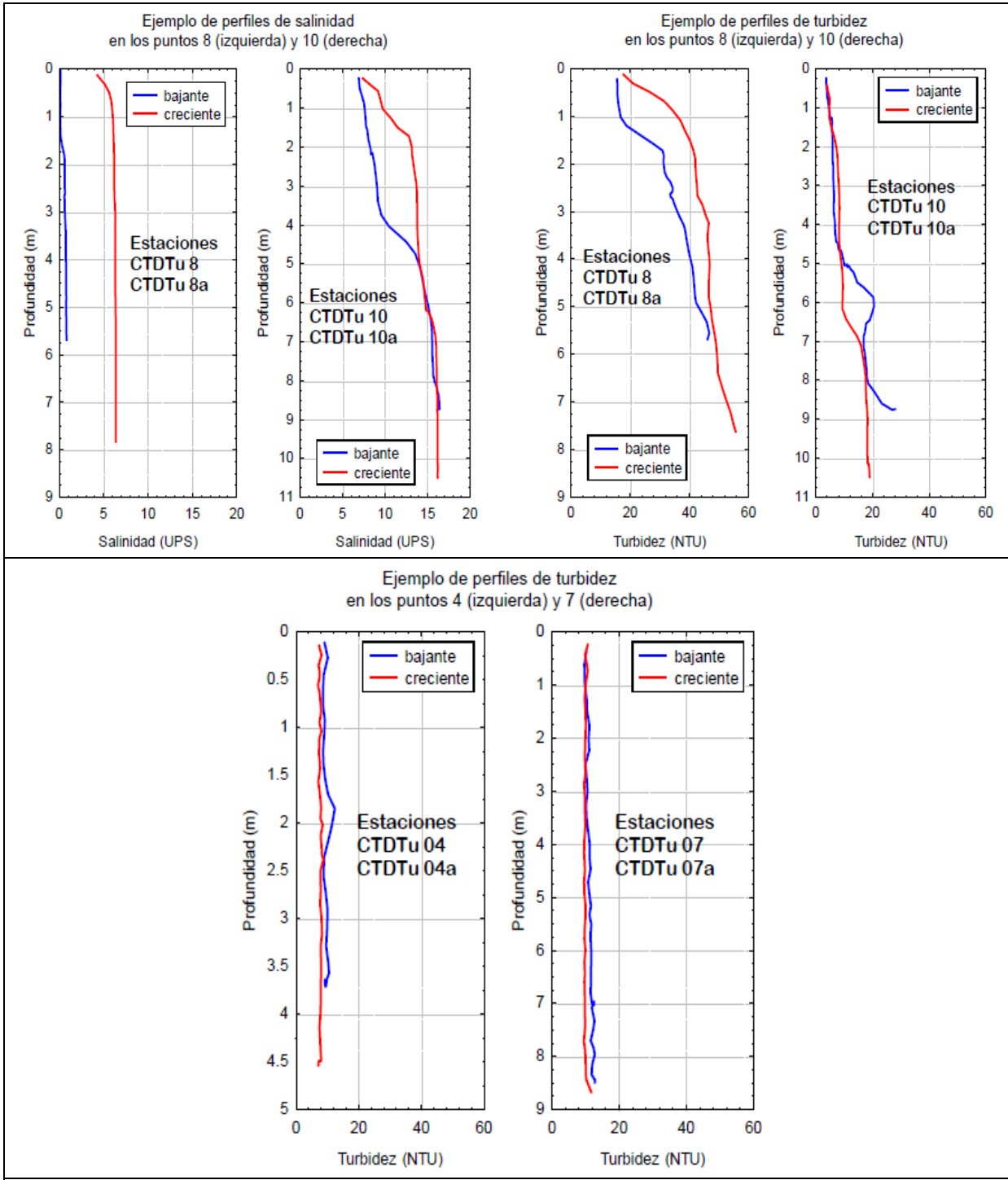
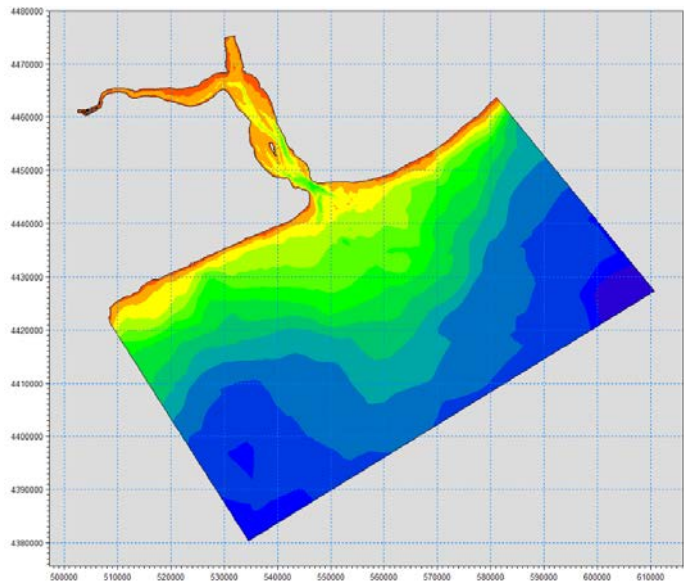


Figura 38: Perfiles verticales de salinidad y turbidez medidos

El estudio “Modelación Hidrodinámica, Dispersión y transporte de sedimentos” (Informe de Avance, Ezcurra & Schmidt S.A., 2017) presenta la caracterización hidrodinámica e hidrosedimentológica del estuario en base a la modelación hidrodinámica del sistema estuarino y la realización de mediciones de campo.

Mediante el desarrollo de un modelo numérico sobre una plataforma 3D (MIKE 3, DHI (Danish Hydraulic Institute) que utiliza los módulos HD- Hydrodynamic, AD- Advección-Dispersión y MT- Mud Transport para simulación hidrodinámica, difusión y dispersión de la temperatura y la salinidad y de transporte de sólidos, se han representado las variables hidrodinámicas niveles y propiedades de temperatura, salinidad y turbidez para diferentes escenarios temporales (incluyendo variaciones estacionales de los caudales de los ríos que desembocan en el Estuario).

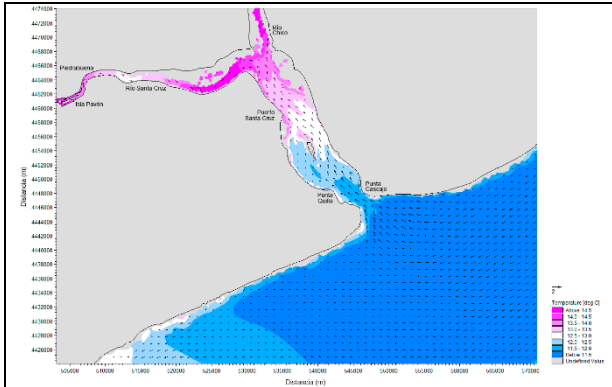
El modelo se desarrolló sobre un dominio de simulación que se sustenta sobre la batimetría obtenida a partir de Cartas náuticas del Servicio de Hidrografía Naval y relevamientos topobatimétricos realizados en el Río Chico, Río Santa Cruz y el estuario, y fue calibrado a partir de mediciones de ESSA (Vientos, temperatura y humedad) en estación meteorológica y en estaciones oceanográficas localizadas en el mar y en el estuario (nivel del mar, temperatura y turbidez) durante diciembre de 2016.



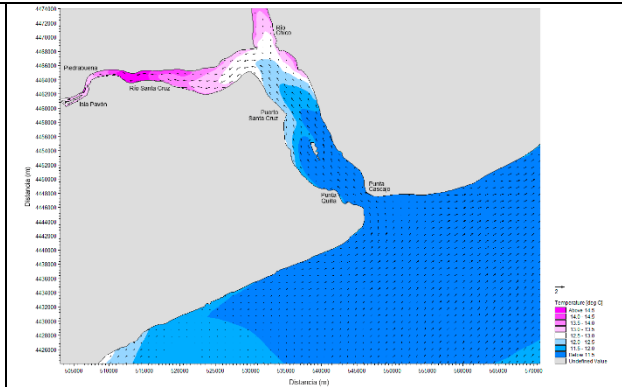
El análisis de las condiciones que se establecen en el estuario permite cuantificar las variaciones del flujo y de las condiciones de salinidad y temperatura y establecer los siguientes aspectos:

- La amplitud de la Marea domina las corrientes del estuario que presentan intensidades superiores a 1,5m/s (con caudal de 569,3 m<sup>3</sup>/s en el río Santa Cruz) durante las fases de llenado y vaciado de marea, determinando la variación de temperatura y salinidad de las aguas de mezcla entre la descarga fluvial y de origen marino.
- La mezcla de aguas dulces y salinas de diferente temperatura en origen presenta un gradiente horizontal de temperatura variable en función del nivel de marea,

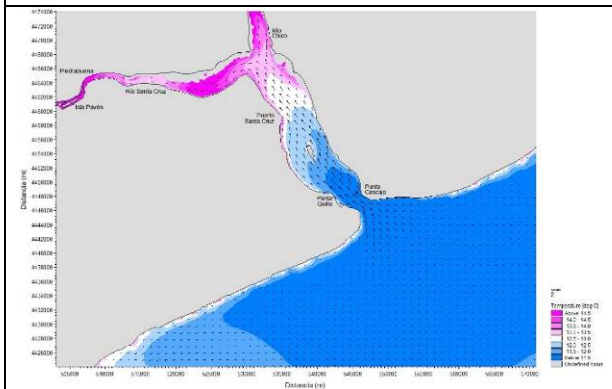
observándose que, en creciente, el agua en el interior del estuario es relativamente más fría que en bajante.



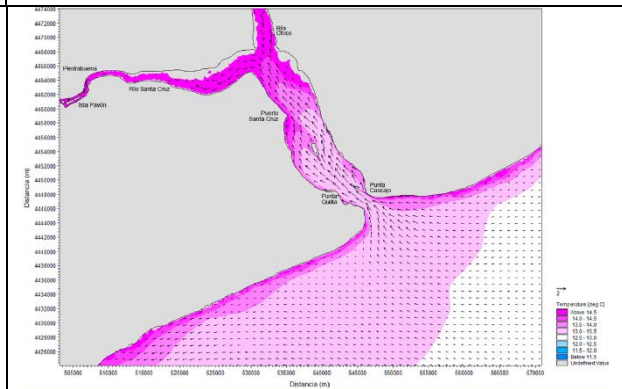
**Figura 39: Campo de temperatura y corrientes para la Condición de bajante en condiciones cercanas a la pleamar (ESSA, 2017)**



**Figura 40: Campo de temperatura y corrientes para la Condición de creciente aunque muy cercanas a la bajamar (ESSA, 2017)**



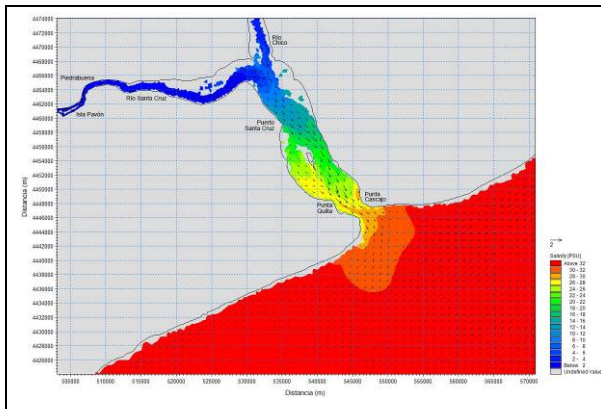
**Figura 41: Campo de temperatura y corrientes para la Condición de creciente en el fondo**



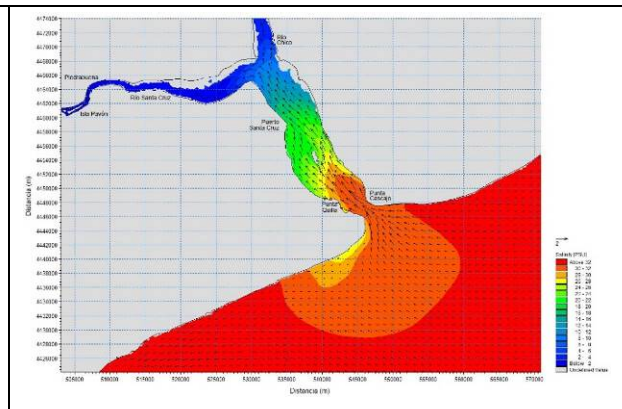
**Figura 42: Campo de temperatura y corrientes para la Condición de creciente en superficie**

- El gradiente vertical de temperaturas indica temperaturas mayores en superficie que en el fondo, como se evidencia en la figura siguiente que muestra la distribución espacial de corrientes y temperaturas en el fondo y en superficie.
- La salinidad en el estuario es variable para diferentes condiciones de marea y viento y presenta un gradiente horizontal de magnitud asociado a la condición de la marea. En el fondo y con marea creciente el agua salada en el interior del estuario es mayor que en bajante y pueden encontrarse salinidades del orden de 10 UPS hasta unos 10 km dentro del Río Santa Cruz.
- En bajante el río Santa Cruz muestra salinidad nula en toda la extensión del estuario, desde Isla Pavón hasta su desembocadura.

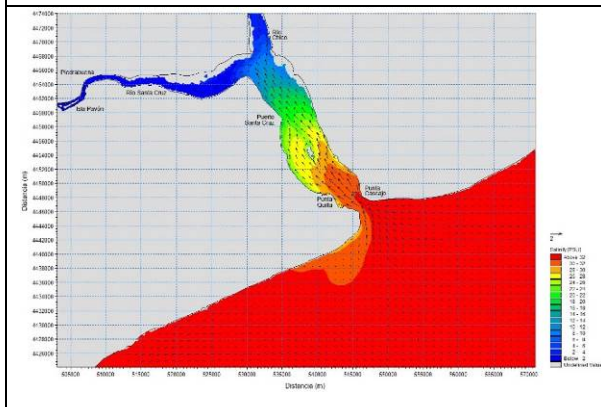
- La salinidad aumenta en profundidad con valores máximos próximos al fondo.



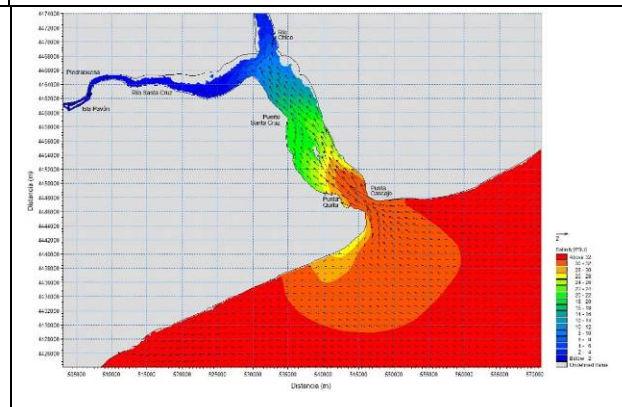
**Figura 43: Campo de velocidades y distribución de la salinidad en el estuario en condiciones de bajante. La salinidad tiene valores entre 4 UPS y 28 UPS, aproximadamente (EESA, 2017)**



**Figura 44: Campo de velocidades y distribución de la salinidad en el estuario en condiciones de creciente. La salinidad tiene valores entre 6 UPS y 28 UPS. (EESA, 2017)**

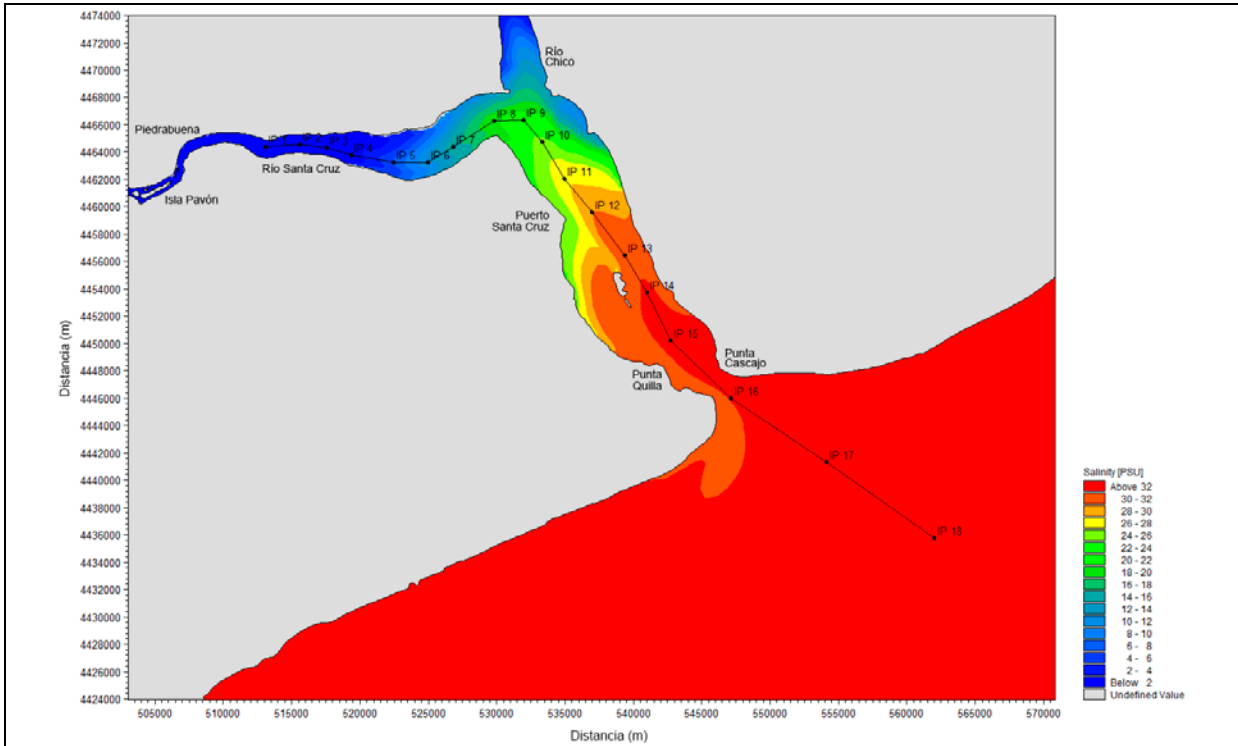


**Figura 45: Campo de salinidad y corrientes cerca del fondo para marea creciente (ESSA, 2017)**



**Figura 46: Campo de salinidad y corrientes en superficie para marea creciente (ESSA, 2017)**

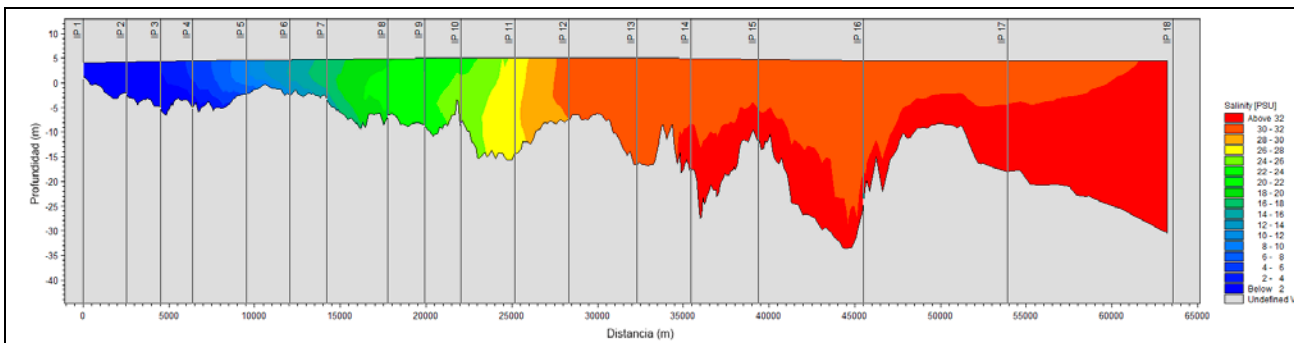
- A lo largo de una línea arbitraria longitudinal del estuario se observa que en los diferentes estados de la marea hay variaciones importantes de la salinidad espacial y temporalmente. La salinidad en el río es nula y llega hasta mar adentro donde la salinidad es la marina (mayor a 32 UPS). En la zona intermedia (estuario) la salinidad varía horizontal y verticalmente.



**Figura 47: Eje del corte vertical del campo de salinidad**

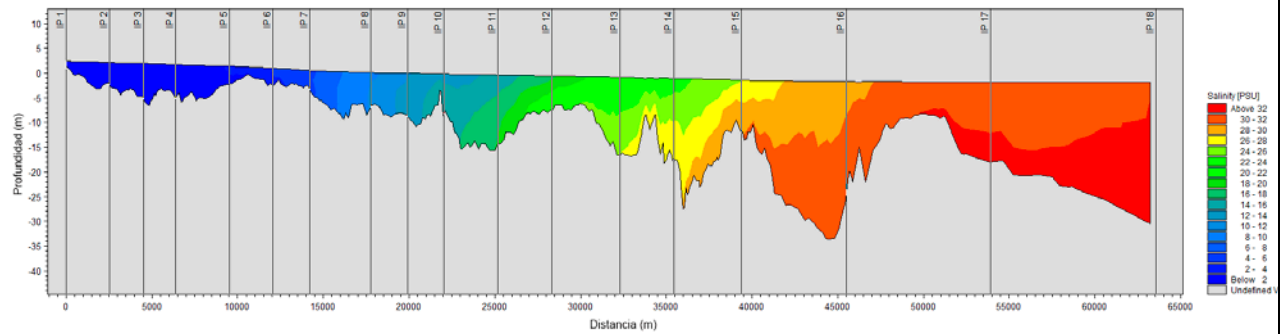
La localización del punto IP11 (km 0) se encuentra a 11 km de la toma de agua de Piedrabuena. Tomando como referencia un rango de salinidades de 26 a 28 UPS (color amarillo) se aprecia que en condición de pleamar, ésta se encuentra en el punto IP11 (25km del eje) y en condición de creciente en el IP 16 (45 km del eje x), es decir que la masa de agua con esta salinidad se ha desplazado unos 20 km en unas 6 horas, el estuario tiene unos 27 km de longitud (entre la boca y la zona del viejo frigorífico).

En cualquier condición de marea, se advierte que la salinidad aumenta con la profundidad aunque esta condición no se sostiene en el tiempo y se desarma con cada ciclo de marea.

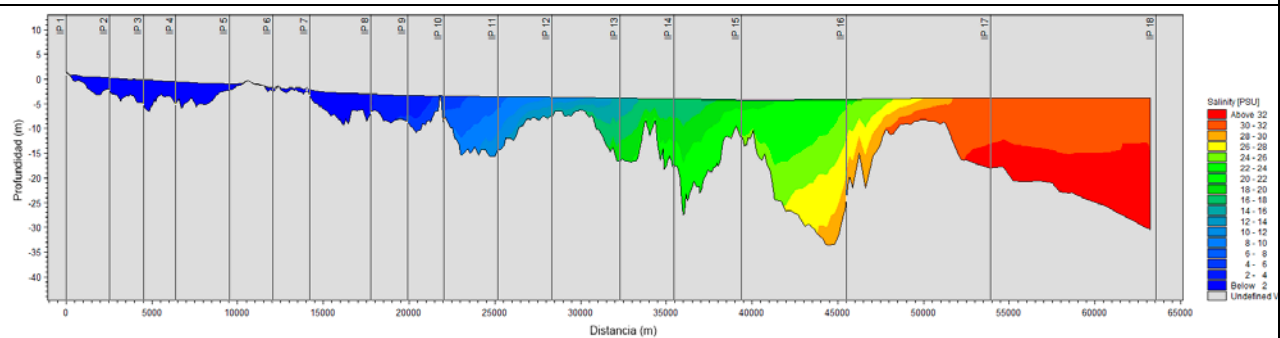




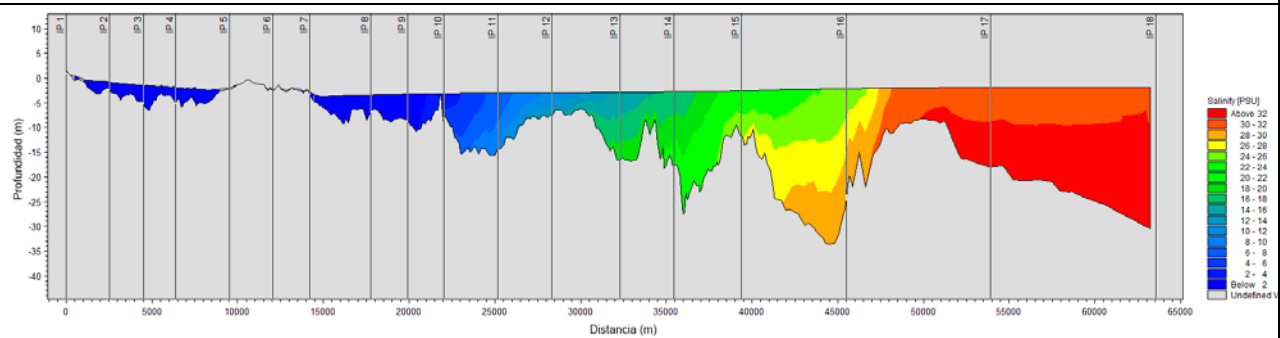
**Figura 48: Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para condiciones de pleamar**



**Figura 49: Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para condición de bajante**



**Figura 50: Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para condición de bajamar**



**Figura 51: Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para condiciones de creciente**

Se concluye que las condiciones de marea creciente definen la penetración de aguas salinas en el sector inferior del río Santa Cruz. La extensión de la pluma marina de mayor salinidad varía estacionalmente por influencia astronómica, y también por la variación de caudal del río.

El efecto de la magnitud del caudal fluvial en la extensión de la pluma salina hacia aguas arriba se analizó mediante la comparación de los campos hidrodinámicos, de temperatura y salinidad asociados a un rango de caudales bajos del Río Santa Cruz.

Se consideraron escenarios de caudales bajos característicos correspondientes al mes de junio (mínimo, máximo y medio) que resultan de interés ambiental (invernada del Maca Tobiano), que

se indican en la siguiente tabla, y bajo condiciones de temperatura constante en ambos ríos afluentes de 4°C, temperatura del agua de mar de 7,5°C y temperatura ambiente de 1.7 °C. Se asumió salinidad nula en los bordes fluviales y salinidad de 32.5 UPS en la frontera oceánica.

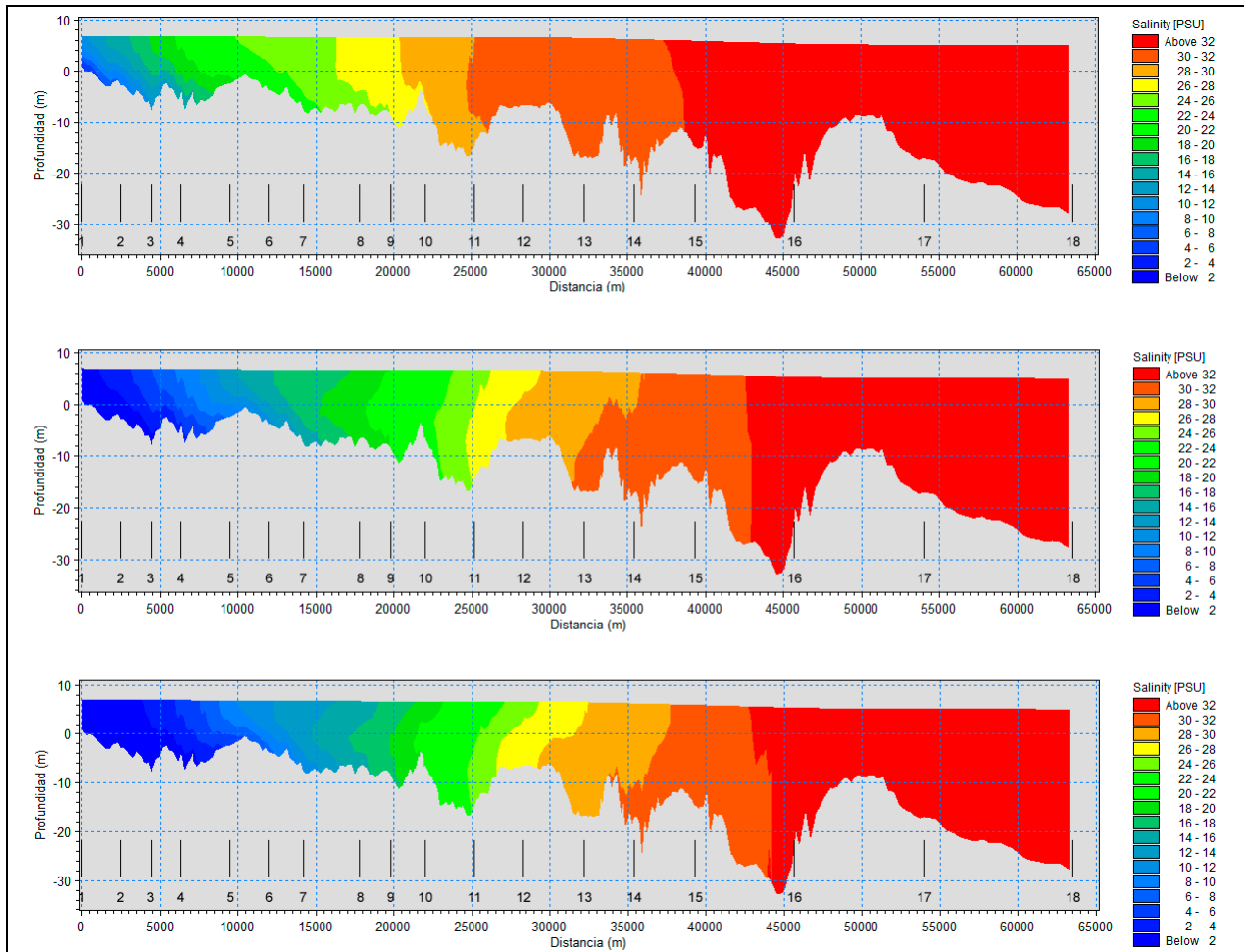
**Tabla 6: Caudales del río para el mes de junio asociados a los escenarios de interés ambiental (Subsecretaría de Recursos Hídricos (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar>))**

Caudal medio histórico para junio (1955 – 2003)	691 m <sup>3</sup> /s
Caudal Máximo observado para junio (1966)	1002 m <sup>3</sup> /s
Caudal Mínimo observado para junio (1956)	232 m <sup>3</sup> /s

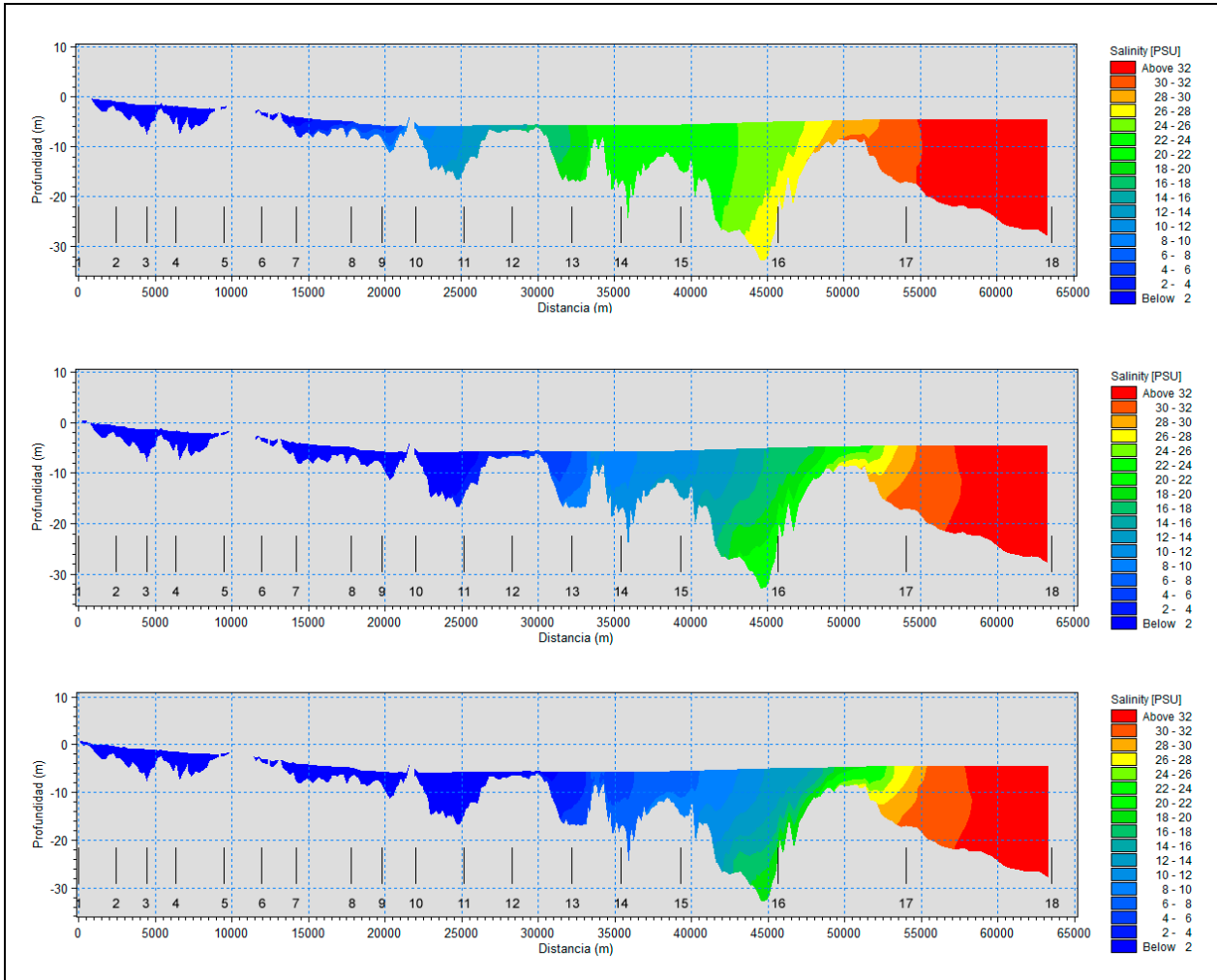
Los resultados de la modelación en términos de la altura de la columna de agua, salinidad, temperatura y velocidad de la corriente, se analizaron en los 10 puntos de referencia a lo largo del eje longitudinal que se extiende por el Río Santa Cruz desde aguas arriba de la localidad de Piedrabuena hasta el océano. Para los 3 caudales seleccionados, las simulaciones indicaron que:

- El nivel medio del río aumenta naturalmente con el caudal, pero ya a partir de la sección P8 localizada en se independiza del aporte fluvial y es dominado por la marea.
- Las velocidades medias cerca del fondo indicaron variaciones de magnitud sensibles hasta la sección P5, crecientes con el caudal, pero hacia el mar el módulo de la corriente muestra la independencia del valor del caudal y la condición de marea es dominante.
- En el tramo definido entre las secciones P1 a P3 la salinidad es nula, y en la sección P4 se advierte una salinidad de 0,7 UPS para el caudal mínimo. Para el caudal máximo, la cuña salina penetra sólo hasta la sección P6. Dentro del estuario el gradiente de salinidad es elevado. En el punto P10, los valores medios de la salinidad varían entre 26.2 y 16.1 UPS para los caudales mínimo y máximo, respectivamente. La distribución longitudinal de la salinidad para los 3 caudales considerados, es variable con la condición de marea y manifiesta variaciones importantes:
  - Condición de Pleamar: En la medida que el caudal aumenta, la salinidad se desplaza hacia el estuario. Para el caudal mínimo el agua salina llega hasta 11 km aguas debajo de Piedrabuena. Para caudales medio y máximo en ese sitio la salinidad es inferior a 2UPS. En marea creciente, la salinidad es menor a 2 UPS para cualquier condición de caudal,

- Condición de Bajamar y bajante: Para cualquier condición de caudal afluyente las salinidades son menores que 2UPS en P1 y P2. Este valor de salinidad se verifica en Bajamar hasta P8 en la condición de caudal mínimo.



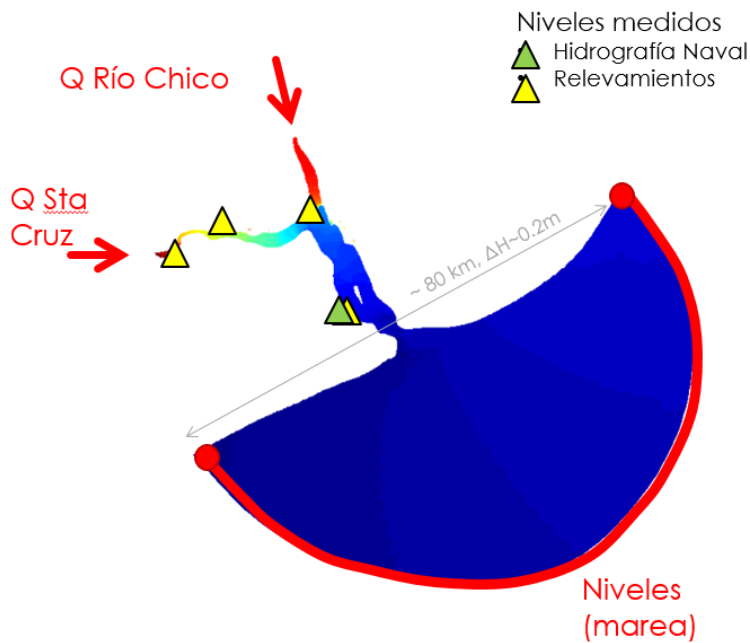
**Figura 52: Cortes verticales de salinidad para el caudal  $Q_{min} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$  (arriba),  $Q_{med} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$  (medio) y  $Q_{max} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$  (abajo) para la condición de pleamar (ESSA, 2017)**



**Figura 53: Cortes verticales de salinidad para el caudal  $Q_{min} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$  (arriba),  $Q_{med} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$  (medio) y  $Q_{max} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$  (abajo) para la condición de bajamar (ESSA, 2017)**

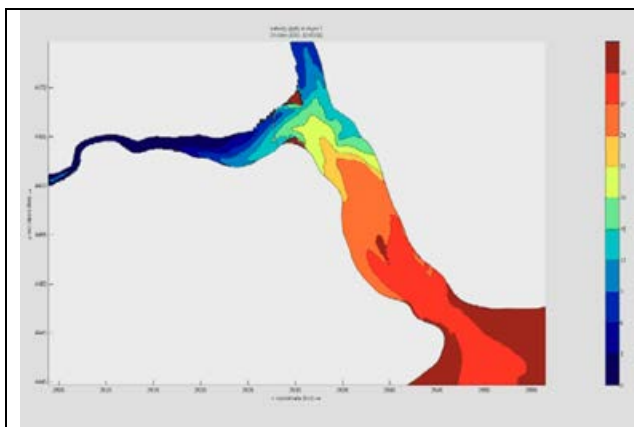
A partir de ellos se ha concluido que hasta el punto de control P2, ubicado a unos 3,5 km aguas abajo de la toma de agua de Piedrabuena, para ninguna de las condiciones de caudal y nivel se produce una afectación de la salinidad del agua a 1 metro del fondo. Recién en el punto P3, ubicado a unos 8 km de la toma de Piedrabuena, se registra un leve incremento de salinidad alcanzando un pico de 1,4 UPS a 1 metro del fondo en pleamar.

Estudios adicionales paralelos de modelación del Estuario fueron llevados adelante por la Universidad Nacional de la Plata (Laboratorio de Hidromecánica del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería), responsable de la Inspección del Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz (Influencia del llenado de los embalses en el estuario del río Santa Cruz, Universidad Nacional de La Plata, Abril de 2017).

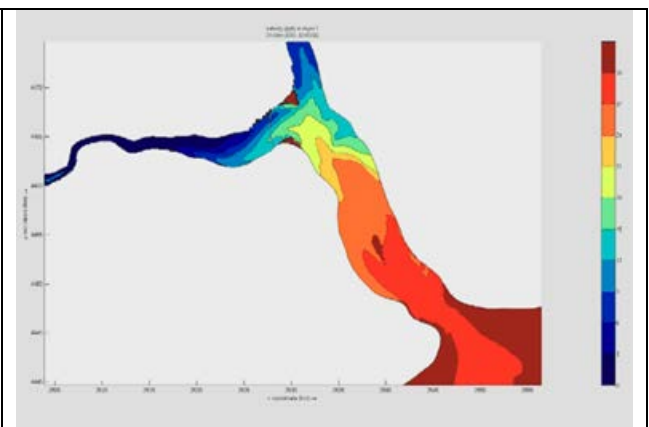


La UNLP ha desarrollado un conjunto de modelos matemáticos de simulación en todo el curso fluvial y entre ellos, ha utilizado la plataforma Delft 3D, desarrollado por la DELTARES Holanda, para implementar un modelo matemático del estuario que fue calibrado para las condiciones del relevamiento realizado el 17/10/2016 con condiciones de caudal mínimo en el río Santa Cruz y mareas con amplitudes máximas, y validado con mediciones realizadas por ESSA en seis días de medición continua de niveles y corrientes de marea, salinidad, turbidez y temperatura.

La aplicación del modelo permite conocer la evolución espacial y temporal de las variables hidrodinámicas, como se indica debajo mediante la distribución espacial de salinidad en condiciones de marea astronómica media y caudal fluvial medio y bajo y ha proporcionado resultados congruentes con los obtenidos por ESSA.



**Figura 54: Distribución de salinidad en condiciones de Caudal fluvial medio y amplitud de marea media**



**Figura 55: Distribución de salinidad en condiciones de Caudal fluvial bajo y amplitud de marea media**

El modelo se ha utilizado para realizar una primera simulación hidrodinámica de situaciones de caudales fluviales bajos, y de marea de amplitud variable entre 4m y 11,2m correspondientes al mes de Julio de 2016.

Los caudales mínimos evaluados fueron el valor mínimo "natural" de  $550\text{m}^3/\text{s}$ , correspondiente al caudal con un 50% de probabilidad de excedencia del mes de Julio (serie 1959-2014) y un caudal de  $200\text{m}^3/\text{s}$  que es inferior al mínimo registrado en el mismo período para ese mes (valor mínimo extremo). Los resultados señalan la influencia de la amplitud de marea y del caudal fluvial en la penetración de la cuña salina en el Río Santa Cruz, como se indica en las siguientes figuras.



**Figura 56:** Distribución de salinidad en condición de caudal mínimo natural y amplitud de marea de 11,2m

**Figura 57:** Distribución de salinidad en condición de caudal mínimo extremo y amplitud de marea de 11,2m



**Figura 58:** Distribución de salinidad en condición de caudal mínimo natural y amplitud de marea de 4m

**Figura 59:** Distribución de salinidad en condición de caudal mínimo extremo y amplitud de marea de 4m

El análisis mostró que para los niveles de mareas extremos no se detectan modificaciones apreciables en los niveles dentro del estuario, para las dos condiciones de caudal del río Santa Cruz.



Figura 60: Nivel de la superficie libre en pleamar para escenario de  $QSC=550\text{m}^3/\text{s}$  y  $\Delta H=11,20\text{ m}$  (UNLP, 2017)

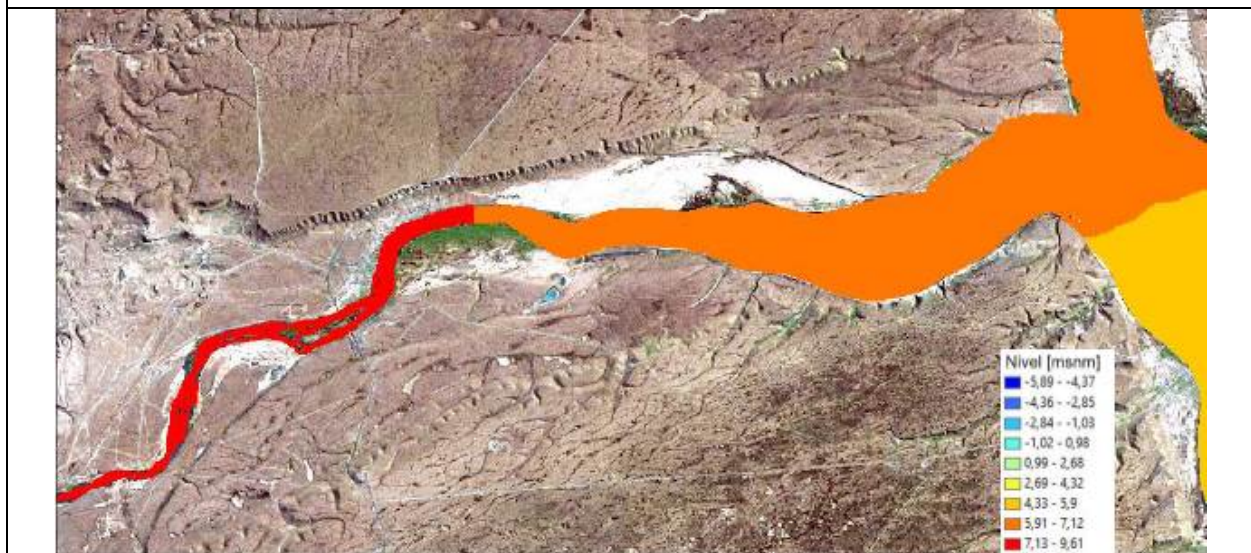


Figura 61: Nivel de la superficie libre en pleamar para escenario de  $QSC=200\text{m}^3/\text{s}$  y  $\Delta H=11,20\text{ m}$  (UNLP, 2017)

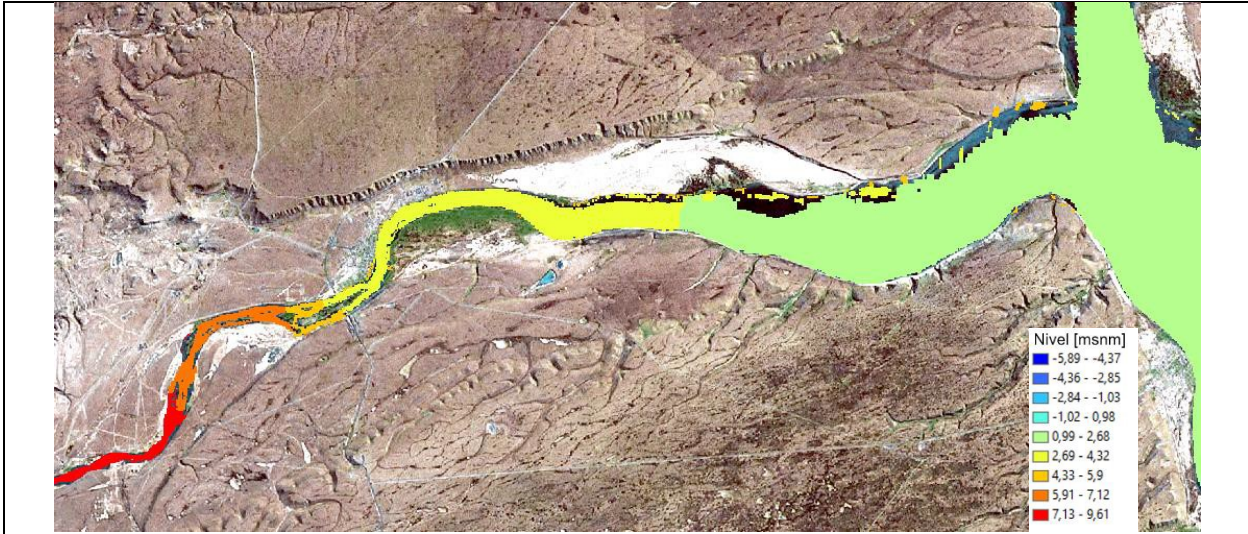


Figura 62: Nivel de la superficie libre en pleamar para escenario de  $QSC=500m^3/s$  y  $\Delta H=4$  m (UNLP, 2017)

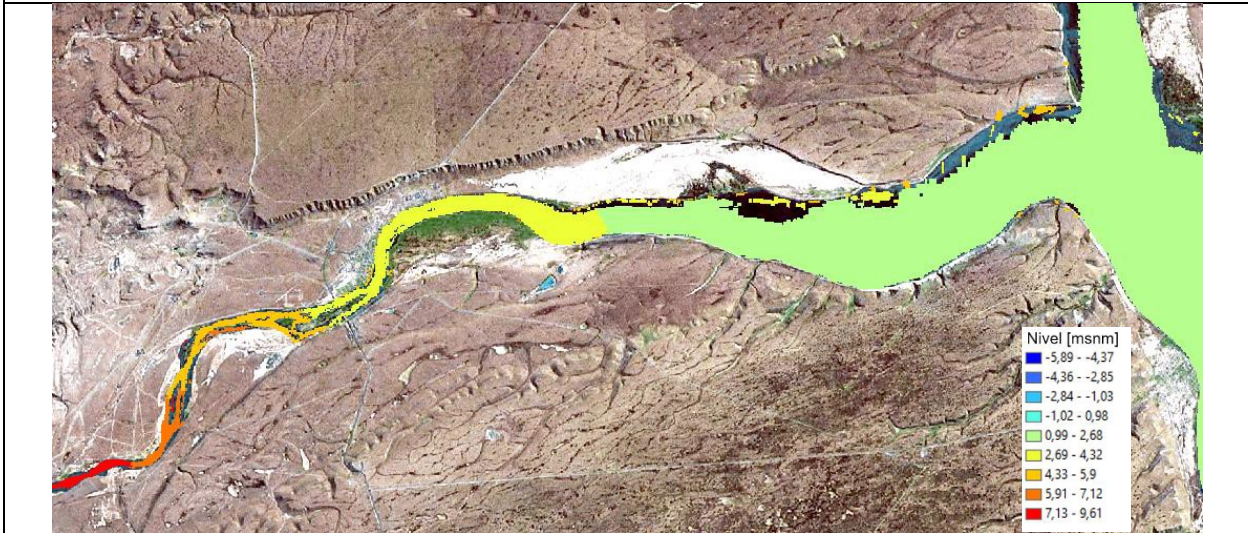


Figura 63: Nivel de la superficie libre en pleamar para escenario de  $QSC=200m^3/s$  y  $\Delta H=4$  m (UNLP, 2017)

Se evidencia que durante las pleamares, la interfase entre agua dulce y salada (IADS) avanza aguas arriba del río Santa Cruz, debido al ingreso de agua de mar mientras que en bajamar, la interfase alcanza zonas cercanas a la confluencia de los ríos Santa Cruz y Chico. El alcance espacial de la interfase está definido por la amplitud de la onda de marea, como se muestra en las siguientes figuras que señalan la posición de la interfase en pleamar y baja ar para amplitudes de 11 y 4m y para caudales fluviales de  $550m^3/s$  y  $200m^3/s$ .





Figura 64: Salinidad en pleamar para escenario de  $QSC=550m^3/s$  y  $\Delta H=11,20$  m (UNLP, 2017)



Figura 65: Salinidad en pleamar para escenario de  $QSC=200m^3/s$  y  $\Delta H=11,20$  m (UNLP, 2017)

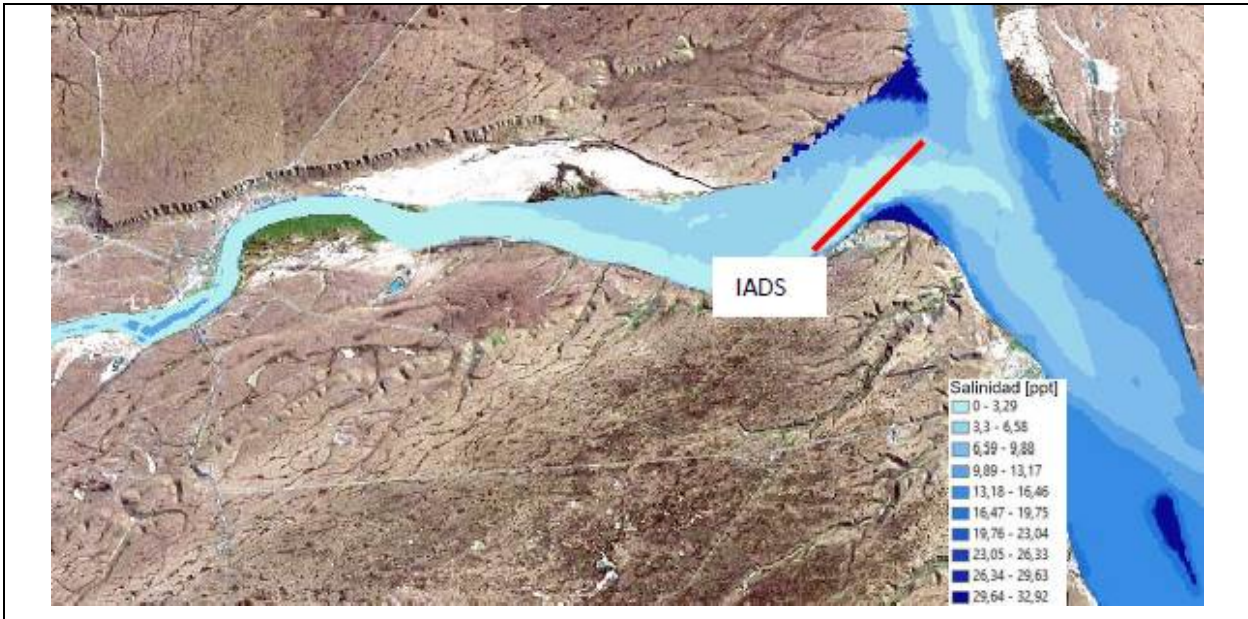


Figura 66: Salinidad en bajamar para escenario de  $Q_{SC}=550\text{m}^3/\text{s}$  y  $\Delta H=11,20\text{ m}$  (UNLP, 2017)

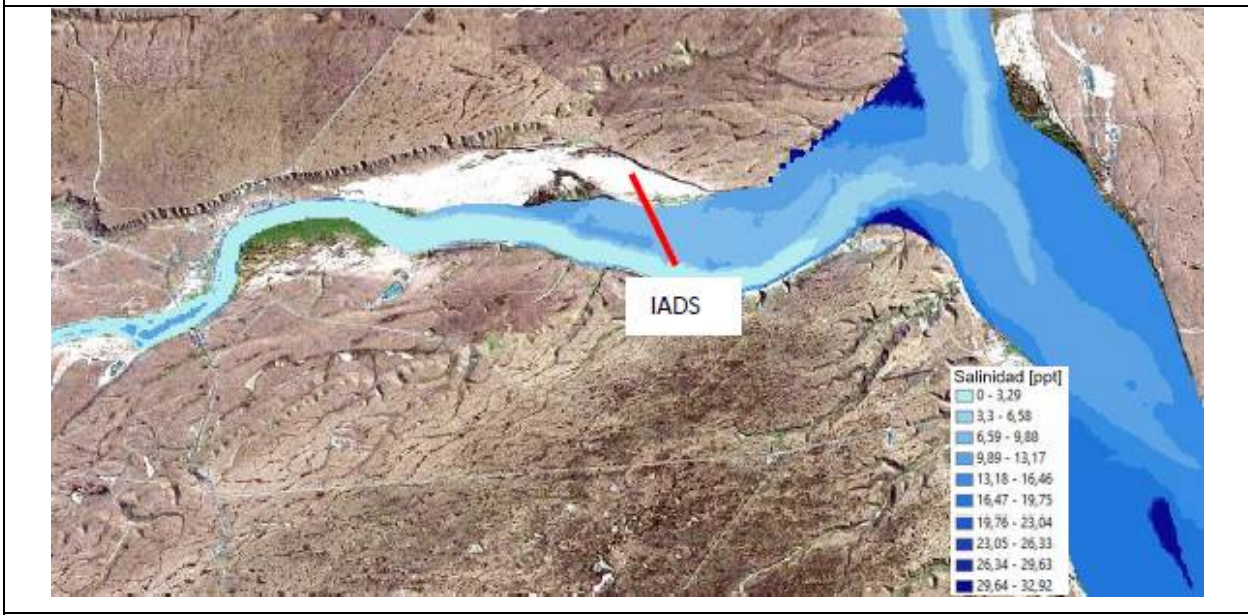


Figura 67: Salinidad en bajamar para escenario de  $Q_{SC}=200\text{m}^3/\text{s}$  y  $\Delta H=11,20\text{ m}$  (UNLP, 2017)



Figura 68: Salinidad en pleamar para escenario de  $QSC=550m^3/s$  y  $\Delta H=4,00$  m (UNLP, 2017)



Figura 69: Salinidad en pleamar para escenario de  $QSC=200m^3/s$  y  $\Delta H=4,00$  m (UNLP, 2017)

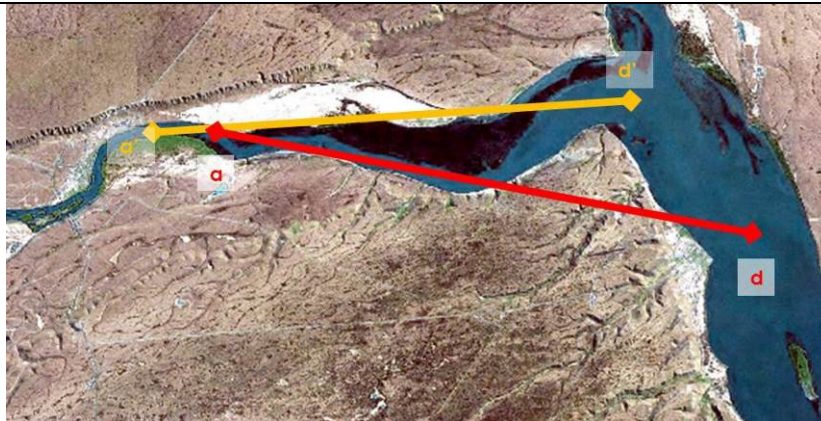


**Figura 70: Salinidad en bajamar para escenario de QSC=550m<sup>3</sup>/s y ΔH=4,00 m (UNLP, 2017)**



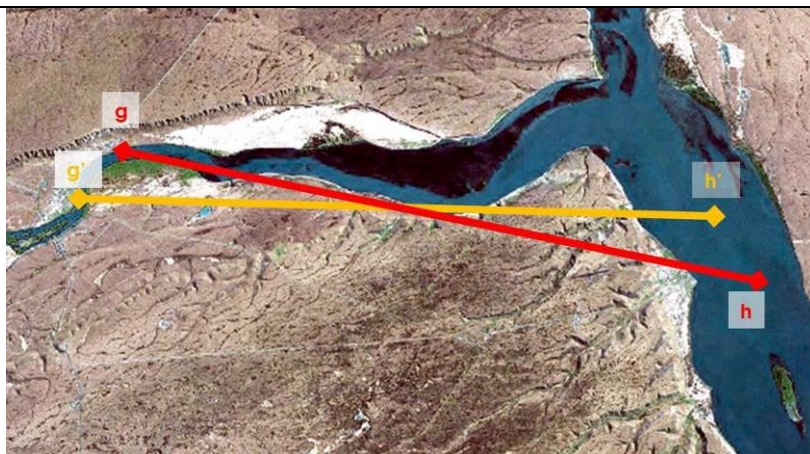
**Figura 71: Salinidad en bajamar para escenario de QSC=200m<sup>3</sup>/s y ΔH=4,00 m (UNLP, 2017)**

En la figura siguiente, se muestra que cuando el caudal que ingresa por el Río Santa Cruz es de 550m<sup>3</sup>/s (Caudal con 50% de probabilidad de ser excedido en el mes de Julio) las posiciones extremas de la cuña salina se localizan en los puntos a y d, indicando un desplazamiento de 25km, mientras que en el escenario de caudal mínimo de 200m<sup>3</sup>/s, (valor mínimo extremo, inferior al mínimo registrado en julio), la interfase evoluciona entre los puntos extremos a' y d' (aproximadamente 20km) para las mismas amplitudes de marea y se evidencia que la reducción de los caudales del Río Santa Cruz resultaría en un desplazamiento de la IADS unos 3 km hacia aguas arriba en el río, y alrededor de 7 km en el estuario.



**Figura 72: Posiciones extremas de la IADS durante el mes de julio de 2016. En un escenario sin presa, la IADS se desplaza entre a y d (con caudal mínimo natural); las posiciones extremas de la IADS son a' y d' (con caudal mínimo extremo),**

Adicionalmente, se consideró un escenario hipotético de amplitudes máximas de marea para el mes de Julio (a partir de los valores extremos de la marea astronómica de julio de 2014, 2015, 2016 y 2017). Este escenario se consideró una "condición extrema natural". De producirse esta condición de marea con mínimo caudal (caudal de 200m<sup>3</sup>/s), la posición de la IADS podría estar algo más aguas arriba que la situación normal del mes de julio, como se muestra en la figura, donde las posiciones g-h denotan los valores extremos de la IADS en julio de 2016 y las g'-h', las definidas por la marea extrema.



**Figura 73: Posiciones extremas de la IADS para el mes de julio considerando un período de 4 años. Situación mínima natural g-h y mínima extrema g'-h'**

Por lo tanto, se puede establecer que:

Los resultados obtenidos permiten concluir que, ante un estrés de caudales mínimos transitando por el curso del río, en combinación con eventos de marea de distinta magnitud, se tendría:

- Ante eventos de marea no extremos en combinación con reducciones en el caudal, no se alteraría el funcionamiento natural del estuario
- Ante un evento de amplitud de marea extrema se generaría un ingreso de la cuña salina en el río Santa Cruz levemente mayor al que se produce en las condiciones actuales.

#### 4.2.4.12. BIBLIOGRAFÍA

HILSON FOOT, R. 1992. Río Santa Cruz. Revista de Estudios Patagónicos. 1-7.

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

EZCURRA & SCHMIDT S.A. (ESSA), 2017. Modelación Hidrodinámica, Dispersión y transporte de sedimentos, Informe de Avance

FARÍAS, H., 2016. Determinación de la función "altura-caudal" del río Santa Cruz a la salida del Lago Argentino LARA, ASCENCIO; 2016. Evaluación de la influencia del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner sobre los niveles de agua del Lago Argentino.

MÉNENDEZ, A., BADANO, N. Y KAZIMIERSKI, L., 2017. Modelación hidrosedimentológica del Río Santa Cruz bajo el efecto de las represas patagónicas.

QUIRÓS, R., BAIGUN, C., CUCH, S., DELFINO R, DE NICHILLO, A., GUERRERO, C., MARINONE, M.C.; MENU MARQUE S. Y M.C.SCAPINI. 1988. Evaluación del rendimiento pesquero potencial de la República Argentina: I: datos. 1. Informe técnico nro. 7 del Dpto. de Aguas Continentales. Inst. Nac. de Invest. y Des. Pesquero (INIDEP): 1-55.

QUIROGA, A. P., J. L. LANCELOTTI, C. M. RIVA-ROSSI, M.TAGLIAFERRO, M. GARCÍA ASOREY Y M. A. PASCUAL. 2015. Dams versus habitat: predicting the effects of dams on habitat supply and juvenile rainbow trout along the Santa Cruz River, Patagonia. Hydrobiologia DOI 10.1007/s10750-015-2217-1.

SERMAN & ASOCIADOS, 2015. Estudio de impacto ambiental Aprovechamientos hidroeléctricos del río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor c. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz.

SERMAN & ASOCIADOS, 2017 (Actualizacion). Estudio de impacto ambiental Aprovechamientos hidroeléctricos del río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor c. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz.

SOLDANO, F. 1947. Regimen y Aprovechamiento de la Red Fluvial Argentina. II: 1-264. Ed. CIMERA. Bs. As.

SSRH. 2014. Red Hidrológica Nacional. Edición 2013.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, 2017. Simulación de Operación de Embalse y Despacho de Energía.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, 2017. Funcionamiento del sistema Lago Argentino – Río Santa Cruz – Embalse Néstor Kirchner.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, 2017. Influencia del llenado de los embalses en el estuario del río Santa Cruz.

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, España. Estudio de caudal ecológico - Aprovechamientos hidroeléctricos del Río Santa Cruz - Argentina Informe de Avance, Grupo de Ecohidrología Fluvial.

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

Página consultada: <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmFiltro.aspx>





# ANEXO



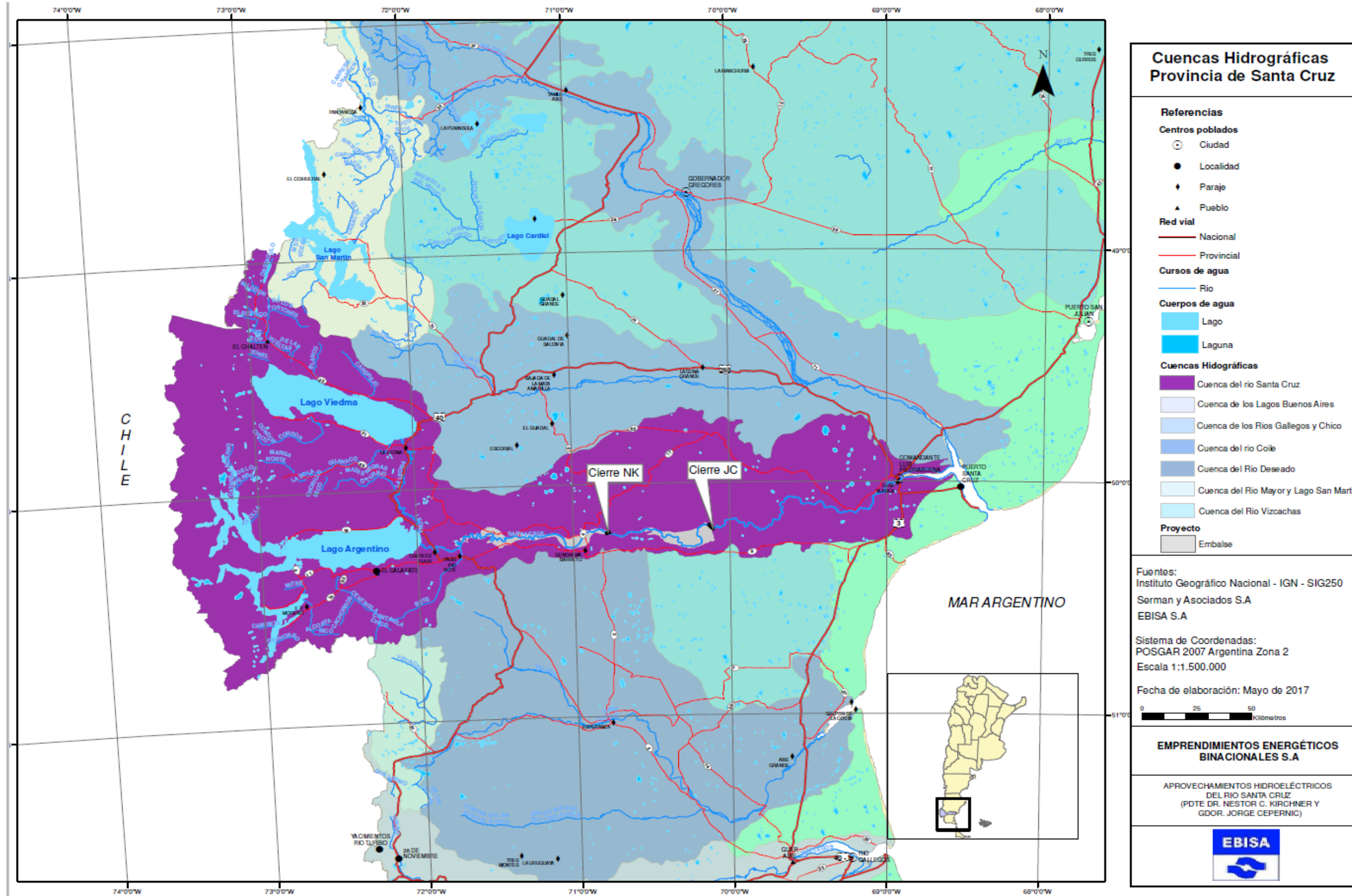


Figura 74: Cuenca Hidrográfica del río Santa Cruz



República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional  
2017 - Año de las Energías Renovables

**Hoja Adicional de Firmas**  
**Informe gráfico**

**Número:**

**Referencia:** LBA\_Hidrología e Hidrosedimentologia

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 75 pagina/s.