

ESTUDIO DE CAUDAL ECOLÓGICO

Aprovechamientos hidroeléctricos Río Santa Cruz- Argentina

Informe de Avance -1



UTE China Gezhouba Group Company Limited – Electroingeniería S.A – Hidrocuyo S.A
Monseñor Fagnano, 86 Piso 1
Río Gallegos – Santa Cruz, Argentina
🌐 www.represapatagonia.com.ar

Preparado por:



Universidad de Valladolid, España
Grupo de Ecohidrología Fluvial
ETS. Ingenierías Agrarias. Av. Madrid 57, Palencia 34004
🌐 www.gef-ecohidrologia.org ✉ jmdiez@iaf.uva.es



28 marzo 2017

Estudio de Caudal Ecológico

Proyecto Aprovechamientos hidroeléctricos

Río Santa Cruz - Argentina

Preparado para:

UTE
EILING-CGGC-HCSA

Argentina

Marzo 2017

Foto portada:

Río Santa Cruz en la zona de cierre de presa Jorge Cepernic
Enero 2017 [Foto: EIA - UTE]

© 2017 Universidad de Valladolid-España.

Ningún fragmento de este informe puede ser reproducido, almacenado en sistemas de recuperación de datos, o difundido, en cualquier formato o de cualquier modo, electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, o cualquier otro, sin el permiso previo y explícito por escrito de la Universidad de Valladolid.

Grupo de Ecohidrología Fluvial GEF
Av. Madrid 57, Palencia 34004. España
www.gef-ecohidrologia.org
jmdiez@iaf.uva.es



Referencia

- UVA-Universidad de Valladolid, España. 2017. Estudio de Caudal Ecológico Aprovechamientos hidroeléctricos Río Santa Cruz, Argentina. Preparado para UTE Represas Patagonia, Argentina.
Historial

Versión	Descripción	Fecha
A.1	Informe de Avance 1	28 marzo 2017

Gestión

Organización: Fundación General Universidad de Valladolid - Dpto. Innovación.
Director del informe: Juan Manuel Diez-Hernández. Grupo Ecohidrología Fluvial GEF: UVA-España.
Código del Proyecto: (-----) Funge-UVA

RESUMEN EJECUTIVO

La Unión Transitoria de Empresas China Gezhouba Group Company Limited – Electroingeniería S.A. – Hidrocuyo S.A (UTE) desarrolla el proyecto de nueva creación (“greenfield”) para el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Santa Cruz (RSC), localizado en el río homónimo dentro de la provincia de Santa Cruz, al sur de la región patagónica de Argentina. La UTE ha contratado la asistencia técnica del equipo científico de la Universidad de Valladolid (España) dirigido por el Prof. Dr. Juan Manuel Diez Hernández para la elaboración de un Estudio de Caudal Ecológico (ECE) durante la fase de llenado del proyecto, con un enfoque incremental del balance Tiempo de Llenado vs. Hábitat acuático utilizable. El marco de análisis seguido en esta evaluación es la reputada metodología incremental-holística IFIM “Instream Flow Incremental Methodology” (Bovee y Milhous, 1978).

Este informe es el primer avance del ECE preliminar, donde se presenta la caracterización fluvial e hidrológica del sector del RSC que será detraído durante el llenado de los dos embalses. Se describe el marco metodológico de la aplicación IFIM, y el procedimiento optimizado del modelo de hábitat PHABSIM para el río Santa Cruz. El documento indica los lineamientos para la modelación hidráulica de profundidad (1D) y de velocidad (pseudo-2D) que fundamentará la evaluación de hábitat. Se determina el conjunto de organismos objetivo de evaluación del hábitat, conformado por las siguientes especies:

- Macrorinvertebrados: Efemerópteros, Tricópteros, Coleópteros, Plecópteros.
- Perifiton: diatomeas.
- Peces nativos: Puyen chico (*Galaxias maculatus*) y Lamprea (*Geotria australis*).
- Salmónidos: (1) Trucha arco iris (*Onchorynchus mykiss*) estadios adulto, juvenil, alevín, y desove.
(2) Salmón chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) estadios adulto y juvenil.

Para cada uno de los organismos objetivo se adoptan unas curvas de preferencia biológica de hábitat que han sido desarrolladas en ríos de otros países, pero que consideramos son aplicables para una primera evaluación. Para la ictiofauna nativa se seleccionan funciones de preferencia (estricta Tipo III) generadas en ríos australes y para las mismas especies estrictamente.

Finalmente, se realiza un primer modelaje preliminar y aproximado de tendencia general para el conjunto de organismo objetivo, con el propósito principal de ilustrar el tipo de resultados que serán generados e interpretados en el ECE Final. Según esta simulación PHABSIM primera, un Caudal Ecológico de 250 m³/s sería capaz de mantener el 80% del hábitat usable para los organismos que ocurre durante un estiaje medio (Q_{mín}-90días). Con esa misma referencia de los estiajes normales naturales, un CEmínimo de 188 m³/s conservaría niveles de hábitat por encima del 60% de la condición original.

REPRESAS PATAGONIA
ELING-CGGC-HCSA-UTE
Aprovechamientos hidroeléctricos Río Santa Cruz

ESTUDIO DE CAUDAL ECOLÓGICO – ECE
Índice General

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción general	1
1.2. Aspectos de interés del llenado	3
2. SISTEMA DE REPRESENTACIÓN FLUVIAL	5
3. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	9
3.1. Aportación de tributarios	10
3.2. Series de aporte en sitios de presa	10
3.3. Variabilidad diario interanual	12
3.4. Eventos de caudal mínimo	14
3.5. Análisis de tendencia	16
3.6. Indicadores hidrológicos	17
3.7. Carga sólida	17
3.8. Usos del agua	17
3.9. Aporte del Río Chico	18
4. MODELAJE HIDROLÓGICO DEL LLENADO	19
4.1. Reglas de llenado	19
4.2. Funciones que gobiernan el modelo	19
5. APLICACIÓN METODOLOGÍA IFIM	22
5.1. Objetivos	22
5.2. Marco analítico	22
6. IDENTIFICACIÓN Y DIAGNOSIS	22
7. PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO	23
7.1. Calidad de agua	24
7.2. Fitoplancton	24
7.3. Zooplancton	24
7.4. Perifiton y Macroinvertebrados	25
7.5. Ictiofauna	26
7.6. Reptiles	29
7.7. Anfibios	29
7.8. Avifauna	29
7.9. Mamíferos	29
8. CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA	30
8.1. Sistema de Representación	30
8.2. Topobatimetría	30
8.3. Hidrometría	31
8.4. Material del lecho	31
9. MODELO PHABSIM	32
10. MODELAJE HIDRÁULICO	35

11. FUNCIONES DE PREFERENCIA DE HÁBITAT	38
11.1. Macroinvertebrados	38
11.2. Perifiton	38
11.3. Peces nativos	40
11.4. Salmónidos	40
12. EVALUACIÓN DEL HÁBITAT	42
12.1. Funciones Caudal-Hábitat	42
12.2. Retención de hábitat	44
13. REFERENCIAS	45

PREMISAS TÉCNICAS

- i. Los resultados de este informe de avance están sometidos a una simplificación de los procesos, al error inherente a toda medición en campo, y a la imprecisión inevitable de la modelación sobre una realidad conocida parcialmente.
- ii. Se presupone que la hidrología de la cuenca no cambiará sustancialmente, aparte del propio cambio ligado al proyecto. Se excluye el cambio climático.
- iii. El alcance se circunscribe al segmento fluvial con huella directa del proyecto, sin considerar posibles efectos acumulativos con otras posibles actividades antrópicas impactantes a lo largo del río.

CONDICIONES

- i. Este documento es información privada de la UTE REPRESAS PATAGONIA y ha sido elaborado con el objetivo particular definido por la compañía. Es un producto generado en el marco de un convenio de colaboración de asistencia técnica entre REPRESAS PATAGONIA y el equipo científico de la Universidad de Valladolid (Art.83 —).
- ii. Este documento representa el criterio profesional del equipo de la UVa, basado en la información disponible en el momento de su elaboración, y conforme al alcance requerido.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción general

La Unión Transitoria de Empresas China Gezhouba Group Company Limited – Electroingeniería S.A. – Hidrocuyo S.A (UTE) desarrolla el proyecto de nueva creación (“greenfield”) para el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Santa Cruz, localizado en el río homónimo dentro de la provincia de Santa Cruz, al sur de la región patagónica de Argentina. Dentro del proceso de licenciamiento ambiental (EIA) con la Administración nacional, la UTE ha contratado la asistencia técnica del equipo científico de la Universidad de Valladolid (España) dirigido por el Prof. Dr. Juan Manuel Diez Hernández para la elaboración de un Estudio de Caudal Ecológico (ECE) para la fase de llenado del proyecto, con un enfoque incremental del balance tiempo de llenado vs. hábitat acuático utilizable.

El marco de análisis seguido en esta evaluación de caudal ecológico es la metodología incremental u holística IFIM “Instream Flow Incremental Methodology” (Bovee y Milhous, 1978), la cual es considerada como estándar internacional de las mejores prácticas científico-técnicas en la materia por investigadores, Administración, y corporaciones financieras (BID, IFC, etc). El núcleo operativo de IFIM es el modelo de hábitat PHABSIM “Physical Habitat Simulation System”, que desarrolla relaciones funcionales entre el caudal y el hábitat utilizable para los distintos organismos objetivo de la evaluación. La metodología IFIM ha sido aplicada en Argentina durante la última década en unos pocos trabajos de investigación para ríos de las provincias de Córdoba (Langa Sánchez et al., 2009) y de Tucumán (Aguilera y Cancino, 2015).

El Río Santa Cruz (RSC) es emisario del Lago Argentino, cuyas nacientes se localizan en el campo de hielo patagónico desde donde descienden lenguas de glaciares como el renombrado Perito Moreno (y otros mucho más productores de caudal como el Upsala y el Viedma), así como aguas de fusión que conforman una proporción muy mayoritaria del caudal circulante (Figura 1). Por su singularidad ecológica y escénica el Lago Argentino (LARG) está catalogado como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (1983). El RSC recorre de este-este una longitud aproximada de 382 km, salvando un desnivel de unos 178 m hasta su desembocadura con una pendiente media casi del 5 por mil (0.49 ‰; Soldano, 1947), y abarcando una cuenca de drenaje de unos 25000 km². El caudal del RSC varía como media desde el máximo de 1249 m³/s en verano (marzo) hasta el mínimo de 284 m³/s en invierno (sept), con un módulo anual de 714 m³/s (estación Charles Furh 1959-2015).

El aprovechamiento hidroeléctrico del RSC consta de dos presas en cascada con sendas centrales en esquema hidráulico de generación global de pasada (“run-of-river”), y una potencia instalada total de 1260 MW que posibilita una generación media anual de 5189 GWh/año con el diseño actual. La central superior Nestor Kirchner (NK) opera con esquema en punta (“storage”) durante unas 6-8 h diarias, y está equipada con cinco turbinas Francis gemelas cerca de presa con un caudal total de diseño de 1750 m³/s, potencia instalada 600 MW, y generación 3286 GWh/año.

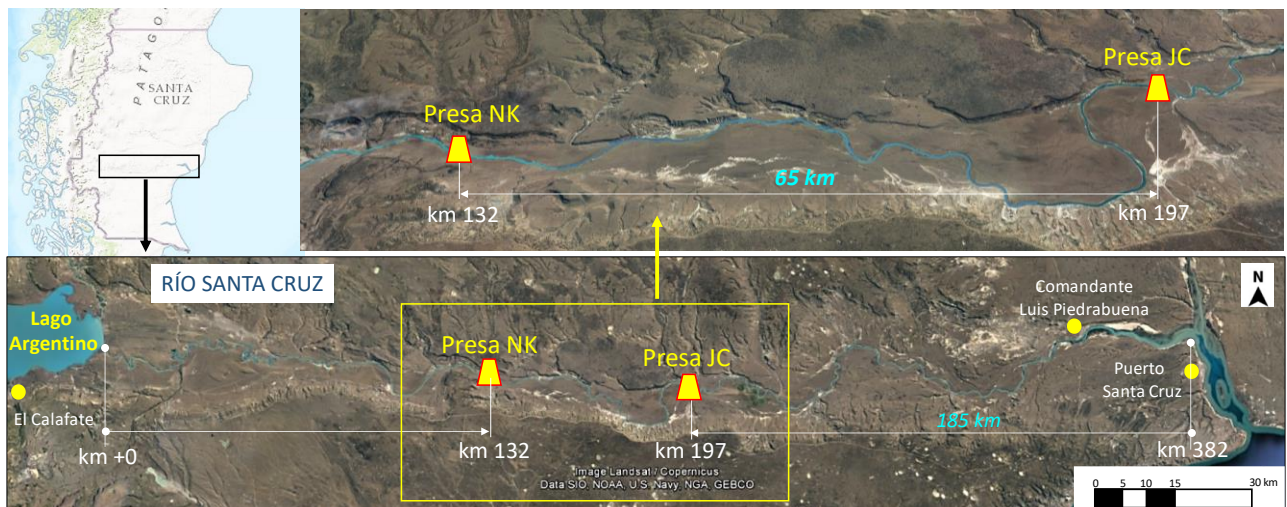


Figura 1. Localización del proyecto Aprovechamientos hidroeléctricos del RSC (www.arcgis.com y Google Earth).

La descarga de NK enlaza con el embalse de la presa Gobernador Jorge Cepernic (JC), la cual opera 24 horas al día con esquema de generación de base (“run-of-river”) mediante tres turbinas gemelas Kaplan a pie de presa con caudal de diseño total 1260 m³/s, potencia 360 MW, y generación estimada 1903 GWh/año. Las puntas ligadas a la operación de la central NK son laminadas en el embalse JC, de modo que los caudales horarios aguas abajo sean permanentemente coincidentes con el hidrograma natural. Ambas presas se construyen de materiales sueltos con pantalla impermeable de hormigón (CFRD), con longitudes de cresta de 2800m (NK) y 2700m (JC).

- El sitio del cierre de presa NK se localiza en la transición del valle medio al superior, en el abscisado km132 desde el origen en el Lago Argentino (km250 desde la desembocadura), a unos 170 km al este de la localidad El Calafate por caminos (principal núcleo poblado de la zona) [Ea. Cóndor Cliff 50.206°S-70.785°O]. La estructura de toma se localiza en la margen izquierda (mirando hacia aguas abajo), y su altura sobre el lecho del río es 68 m. En el embalse, el desnivel entre el Nivel de agua Máximo de Operación Normal (NAON) 176.5 m.s.n.m. (IGN) y el Nivel Mínimo Normal 176.1 m es de 40 cm, que se trata del intervalo de variación ligado a la generación en esquema hidráulico de punta. El reservorio abarca una superficie de 247 km² a nivel máximo normal.
- La presa JC se emplaza en el valle medio, abscisado km197 desde el Lago ARG, a unos 135 km al oeste por caminos de la localidad Comandante Piedrabuena [Ea. La Barrancosa 50.185°S-70.177°O]. La estructura de toma se apoya en este caso en la margen derecha, y la altura de la presa es 41 m. El desnivel entre los niveles de operación normal máximo (NAON 114.00 m) y mínimo (113.75) es de 25 centímetros, rango ligado a la laminación de los pulsos procedentes de la descarga de la presa NK. El embalse abarca unos 206 km² y conecta en su extremo superior con las proximidades de la zona de restitución de NK, por lo que no existe prácticamente tramo fluvial intervenido con flujo libre.

La Línea Base Ambiental (LBA) del EIA elaborada por Serman & Asociados (2016) refleja que la diversidad de la comunidad íctica del RSC es relativamente pobre en comparación con otros ríos patagónicos. Existen cinco especies autóctonas que ocupan distintos sectores del curso del RSC: Perca (*Percichthys sp.*), Puyen Chico (*Galaxias maculatus*), Puyen Grande (*Galaxias platei*), Lamprea (*Geotria australis*), y Róbalo (*Eleginops maclovinus*). Otras cuatro especies introducidas han encontrado un hábitat idóneo al que se han adaptado con éxito, las cuales poseen un interés económico reconocido para la pesca deportiva: Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), Trucha de lago (*Salvelinus namaycush*), Trucha marrón (*Salmo trutta*), y Salmón (*Oncorhynchus tshawytscha*). Los anfibios y reptiles son poco abundantes y no son objeto de protección oficial. La avifauna es algo más diversa en el sector de la desembocadura, si bien no existen áreas de conservación oficial en el dominio de influencia del proyecto. Los mamíferos registrados tampoco se espera que sean afectados por el proceso de llenado de modo significativo. El área de influencia general del proyecto está relativamente despoblada. La población rural está relacionada con estancias o puestos vinculados a la ganadería extensiva ovina, y no se anticipa efecto significativo del proyecto.

La operación de llenado de los dos embalses que conforman el aprovechamiento hidroeléctrico se prevé realizarlos, en buena lógica, durante el semestre más húmedo desde enero hasta junio, con objeto de minimizar el tiempo de llenado. Este ECE se enfoca a generar la información necesaria y confiable para los tomadores de decisión acerca de las implicaciones cuantitativas del CE mínimo en el hábitat acuático y también en la duración del procedimiento de embalsado. Al tratarse de un proyecto que genera en la central JC con esquema de base, la alteración hidrológica aguas abajo de la misma es estrictamente nula, por lo cual para la fase de operación no se precisa un estudio de caudales ecológicos.

El Informe Final del ECE incluirá la caracterización fluvial, hidrológica y biológica del tramo afectado por la operación de llenado, desde sitio de presa JC hasta la desembocadura del RSC, cuya longitud aproximada es 185 km. Se realizará un modelaje PHABSIM de hábitat acuático utilizable para los organismos objetivos en función del caudal circulante, combinando los resultados de la simulación hidráulica 1D/pseudo-2D del cauce con las funciones de idoneidad estipuladas. El análisis temporal IFIM generará un balance entre el tiempo de llenado de los embalses y la reducción de hábitat respecto a la condición original, en función de múltiples escenarios incrementales de CE mínimo: Tiempo de llenado vs. Nivel de Conservación de hábitat. Complementariamente, se desarrollará un modelaje de conectividad hidráulica del CE mínimo para los peces de tipo dual, para (i) garantizar rutas de paso viable durante las migraciones y también (ii) para una ocupación del cauce más prolongada durante todo el periodo de llenado de los dos embalses del proyecto.

1.2. Aspectos de interés para el ECE del Llenado

A continuación, resumimos las características principales de algunos aspectos estructurales del proyecto cuyas implicaciones en el llenado conviene destacar.

i. Desvinculación de niveles con el Lago Argentino

Una premisa del diseño del embalse JK es que el nivel máximo del agua en el embalse no supere la máxima cota de oscilación del Lago Argentino (la cual está ligada a los eventos de rotura del endicamiento del Canal de los Témpanos). La línea base (LB) indica que, según los registros históricos de la estación El Calafate, el nivel medio del lago es de 178.2 m, variando entre el máximo de 180.5 m (eventos de rotura del Brazo Rico) y el mínimo de 176.92 m. El desacople hidráulico entre el RSC y el Lago Argentino en condiciones de operación normal (NAON) y de crecidas extraordinarias (NAME) en el embalse NK ha sido dictaminado en tres estudios complementarios elaborados por: (1) la UTE (constructora), (2) Universidad Nacional de la Plata (UNLP, inspección de obras), y (3) experto Ing. Asencio Lara (Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica). A partir de las series históricas de nivel del lago en El Calafate y de nivel/caudal en la estación Charles Furh, las simulaciones obtienen para la condición hidráulica de operación normal del embalse NK (NAON 176.50 m) una sobreelevación del lago de 20 cm a 40 cm (UTE y UNLP) y mucho menor de 9-12 cm según el Ing. Lara, para caudales hasta el máximo de 2100 m³/s. En cualquier caso, este incremento del nivel en el lago no es significativa, puesto que está dentro del rango de variación normal (1.5 m en el mes más húmedo y 0.5 m en el más seco). Inclusive para la crecida máxima de 4100 m³/s (T=10000 años), el ascenso provocado (NAME) no supera los 33 centímetros, y se trata de un evento transitorio. Por lo anterior, se determina que el embalse NK está desacoplado hidráulicamente, y no produce alteración perceptible en los niveles del lago (Ing. Lara, Cap.02 en Serman & Asoc., 2016).

ii. Dispositivo de paso para peces

Como medida de mitigación para el “efecto barrera” evidente que supone la presencia de ambas presas altas para el desplazamiento de la ictiofauna, el proyecto incluye en cada sitio de cierre una estructura de paso piscícola de la misma tipología. La entrada del paso en el embalse se localiza en ambos casos a la derecha del vertedero de toma, y está diseñado para un caudal normal de 3 m³/s, pudiendo transportar hasta 7 m³/s. El emplazamiento del paso se ilustra en la Figura 2 de la página siguiente para la presa NK, con un desarrollo en forma de L que desciende desde la zona de toma hasta el canal de restitución.

El dispositivo de tipo mixto consta de dos estructuras.

- a. Un tramo inferior consistente en una escala de estanques sucesivos, que descarga en el canal de restitución principal y se desarrolla hasta una cierta cota en el paramento (174.36m-NK) y 105.70m-JC). La pendiente media de la escala es del 10%, y los estanques tienen dimensiones 6m largo x 4m ancho x 3.90 m altura total; dispone de vertederos laterales de 70 cm a 210 cm; y el tirante medio es 3.20 m. Para mejorar la “llamada” se aporta un caudal adicional de 4 m³/s mediante tuberías.
- b. La escala conecta con una esclusa, que conduce los peces hasta los diferentes niveles del embalse. Considerando la cota de operación normal máxima, la conexión con la esclusa se localiza a unos 2 m de profundidad en NK y a 8 m en JC.

iii. Longitud de los embalses

La presa JC anegará un tramo del RSC cuyo efecto de remanso se extenderá prácticamente hasta el sitio de presa NK. Por su parte, también la presa NK inundará una longitud fluvial aguas arriba en la dirección al Lago Argentino. Las condiciones hidráulicas en estos nuevos ambientes lénticos serán distintas a las originales lóxicas, lo que supone unos efectos potenciales en la disponibilidad de hábitat fluvial. Según la LB los tiempos de renovación en los embalses esperados son 91 días en NK y 53 días en JC. Según Tagliaferro et al (2013) esta transformación podría afectar en torno al 51% de la longitud total del RSC.

Nosotros consideramos que la inundación de un fragmento del RSC es una alteración intrínseca al funcionamiento del proyecto. Por ello, el estudio de los efectos potenciales de la presencia de los embalses sobre el ecosistema debe ser abordado en el contexto de la fase de operación normal, siendo algo ajeno al episodio transitorio, aunque necesario, de llenado. En este sentido, pensamos que el Plan de Manejo

Ambiental del proyecto que se elabore, en buena lógica atenderá todos los efectos ambientales potenciales ligados a la operación, diseñando las medidas de mitigación y compensación apropiadas.

iv. Estructura de evacuación del Caudal Ecológico

Durante el proceso de llenado de los reservorios el CE debe ser erogado adecuadamente al RSC aguas abajo de la presa JC hasta el estuario. Para ello, deberá ser descargada una dotación suficiente de caudal en presa NK para atender dicha restricción ambiental.

Los elementos hidráulicos de ambas presas que evacuarán el caudal durante el tiempo que dure el llenado son los descargadores de fondo. Según el diseño actualizado del proyecto ejecutivo (Serman, 2017) su capacidad ha sido aumentada desde la inicial de 200 m³/s hasta la nueva de 700 m³/s, optimizando de este modo su flexibilidad para atender todas las necesidades operativas. Pensamos que el nuevo caudal de diseño posibilitará también desarrollar con éxito las descargas de CE variables que se requieran en los sucesivos meses de la operación de llenado, puesto que ese límite de diseño previsiblemente no resultará restrictivo en modo alguno para la dotación ecológica.

Según el diseño facilitado por la UTE, en la presa NK los descargadores de fondo operativos para el llenado consisten cuatro conductos de funcionamiento independiente, controlados por sendas compuertas planas de 2m ancho x 3m altura. Cada conducto, una vez superada la compuerta, tiene sección rectangular de 5.8 m de anchura. En el caso de JC son seis (6) orificios emplazados en el cuerpo del vertedero, de dimensiones 2.25m ancho x 2.60m alto, también controlados por compuertas. En ambos casos el nivel de base del sistema descargador se encuentra unos 6 metros por encima del fondo de río. Los conductos conectan con un dissipador de energía de solera horizontal, con bloques intermedios, y un diente final. La posición de los descargadores de fondo en la presa NK se muestra en la Figura 2, en la zona derecha que actualmente es el cauce del RSC, y por tanto en el fondo del futuro vaso.

Durante la fase de operación el funcionamiento de los descargadores de fondo será ocasional en caso de avenidas que lo requieran, o bien para el vaciado del vaso.

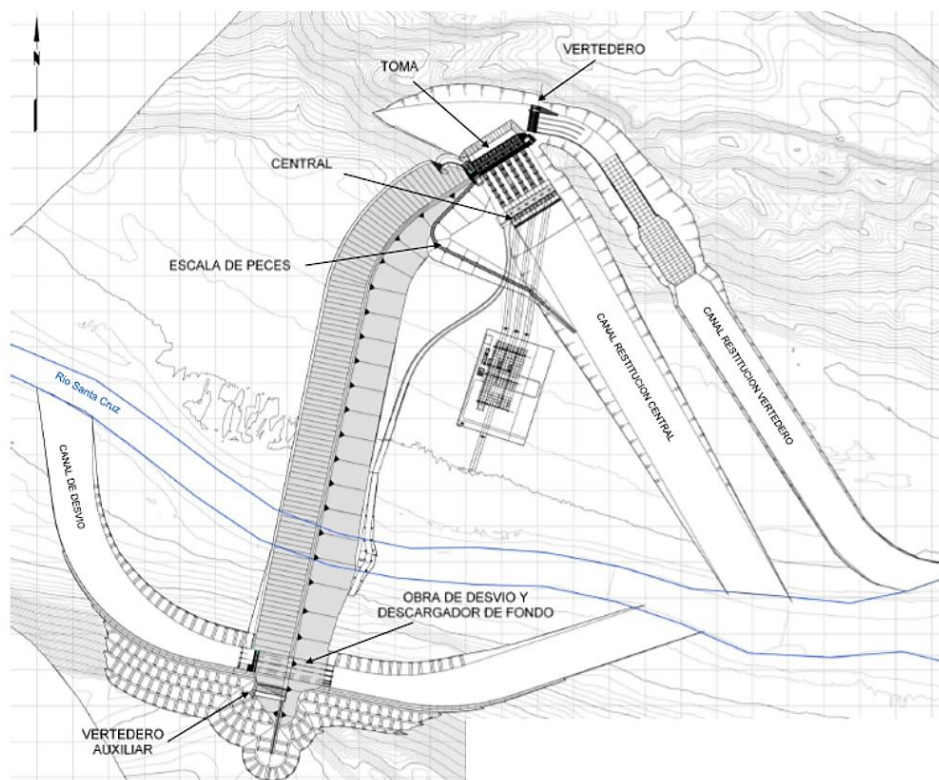


Figura 2. Distribución de los elementos de la presa NK. Descargadores de fondo abajo (margen derecha). Toma y paso para peces arriba (margen derecha). Fuente: EIA (Serman & Asoc., 2016)

2. SISTEMA DE REPRESENTACIÓN FLUVIAL

La LBA recoge que el RSC de longitud aproximada 382 km discurre sobre un valle en forma de U, con márgenes compuestas de materiales no consolidados, no cohesivos de menor tamaño que los del cauce. La anchura del fondo de valle varía entre 5 y 10 km, existiendo dos niveles principales de terrazas con techo entre 5-15 m y de 40-50 m sobre el nivel del río, con intercalación ocasional de un tercer nivel de 20-30 m. El aporte de sedimento es moderado y las márgenes poseen una erosionabilidad baja.

Según nuestro análisis, la geomorfología de la corriente en su conjunto se clasifica según el sistema de Rosguen (1994) como Tipo C, con distintos sub-tipos morfológicos a lo largo de su recorrido determinados por los cambios de tamaño del material del lecho. El encajonamiento del cauce es muy leve ($\text{ratio} > 2.2$), la relación anchura/profundidad es alta ($\text{ratio} > 12$), y la sinuosidad es relativamente alta ($\text{coef.} > 1.2$). La corriente es susceptible a cambios en la estabilidad vertical y horizontal como consecuencia de eventuales modificaciones del régimen de caudal líquido y/o sólido, lo cual es un efecto potencial que merece ser estudiado durante la fase de operación.

A lo largo de su recorrido confluyen sucesivos cañadones y vaguadas que transportan caudal solo durante la época de lluvias (Valladares, 2004), cuyas aportaciones al caudal del RSC en global son prácticamente irrelevantes (Ítiurraspe y Sotfní, 2005). Estas corrientes temporales tampoco son en general importantes biológicamente, al ser inadecuadas en su gran mayoría para la ictiofauna. Solo dos corrientes se reportan como permanentes, pero con un caudal muy bajo en términos relativos: río Bote (próximo al Lago Argentino) y Cañadón Yaten Guajan (próximo a JC aguas arriba). En cuanto a sus características fisicoquímicas el río es relativamente uniforme en su recorrido longitudinal (Tagliaferro et al., 2013), con algunas variables casi constantes (oxígeno disuelto), otras con gradiente suave (conductividad), y otras con variabilidad local (clorofila-a y materia orgánica).

Segmentos Fluviales

Desde el punto de vista morfodinámico y de caracterización de ambientes hidráulicos el RSC experimenta cambios paulatinos en su curso, dimensiones, y composición del lecho, los cuales han sido ponderados con objeto de estratificar el área de estudio para la aplicación IFIM. A efectos operativos, nosotros hemos consolidado la evolución de la estructura del cauce a lo largo de los 382 km delimitando un conjunto de cinco (5) segmentos fluviales representativos del área de influencia del proyecto. Un segmento fluvial consiste en un tramo de varias decenas de kilómetros de longitud con una morfología uniforme en términos de pendiente, geología, usos del suelo, y parámetros físicos del cauce. El caudal también es homogéneo dentro de cada segmento, existiendo diferencias máximas muy por debajo del 10%. El esquema en planta de la segmentación en la Figura 3 (pág.sig) señala la longitud de cada unidad y describe con una fotografía los rasgos generales de la corriente. La Tabla 1 presenta los datos geodésicos y topográficos elementales de cada segmento, medidos en Google Earth (mar2017). La longitud se mide siguiendo el curso, por lo cual es algo mayor que en línea recta: en el SEG1 son unos 130 km de longitud estricta frente a 85 km en recto.

Tabla 1: Características básicas de los segmentos representativos (SEG). Medidas en Google Earth.

	Límite superior		Límite inferior		Cota Agua (msnm)	Longitud (km)	Pendiente (%)	Sinuosidad (m/m)
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud				
SEG-1	50°13'58"	71°58'35"	50°12'48"	70°46'59"	178 → 115	132	0.261	1.55
SEG-2	50°12'48"	70°46'59"	50°11'12"	70°07'08"	115 → 77	65	0.769	1.34
SEG-3	50°11'12"	70°07'08"	50°03'09"	69°03'07"	77 → 05	113	0.602	1.47
SEG-4	50°03'09"	69°03'07"	49°58'28"	68°49'13"	5 → ≈ 0	22	0.173	1.16
SEG-5	49°58'28"	68°49'13"	Río Chico		≈ 0 → 0	18	≈ 0	1.03

- **SEG-1:** el primer segmento superior comienza en la salida del Lago y recorre una longitud aproximada de 130 km siguiendo el curso fluvial hasta el sitio de presa NK. 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 (2° laberinto). El río discurre relativamente tranquilo con una

pendiente media del 0.261 ‰, sobre un valle muy amplio con extensas bahías, que nosotros clasificamos como Tipo X de Rosguen (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). Nuestro examen muestra que el curso es meandriforme no confinado (coef. de sinuosidad medio=1.55) sin un patrón claro, alternándose tramos regulares con otros tortuosos (laberintos 1° y 2°) 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. Consideramos que por su encajonamiento muy leve (ratio>>2.2) y la relación anchura/profundidad alta (ratio>12), la corriente corresponde al Tipo C4c- según Rosguen. 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 a nuestro juicio está limitado inferiormente por el control geomorfológico que impone el estrechamiento donde se localiza la presa NK (La Barrancosa). Este segmento será inundado en una proporción importante.

- **SEG-2:** sector intermedio entre las zonas de presas NK y JC, cuya longitud aproximada es 65 km. El RSC avanza ahora 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, pensamos que 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, en buena lógica, disminuye, hasta un valor medio que ronda los 125 m. Los hechos anteriores son en nuestra opinión las respuestas lógicas a la mayor velocidad de la corriente. Hemos tipificado este sector como C3c- según Rosguen. Este segmento será inundado en su práctica totalidad por el embalse JC.
- **SEG-3:** sector bajo desde 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 en nuestra opinión de Tipo C4c-, con una estructura meandriforme muy clara de sinuosidad un poco mayor que en el segmento anterior (coef.=1.47). Cabe destacar la existencia de 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.
- **SEG-4:** sector de transición al estuario, de longitud aproximada 22 km hasta justo 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, la cual 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). Hemos tipificado la morfología de la corriente como 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 (Fiesta Nacional de la Steelhead). Las condiciones ecohidráulicas están influenciadas por el efecto de la marea, el cual se extiende en torno a 60 km aguas arriba de la desembocadura, dependiendo del balance río-mar concreto.
- **SEG-5:** sector de estuario. Después de atravesar Comandante Piedrabuena, el RSC se enfila a su desembocadura por un recorrido final de unos 18 km muy rectilíneos. El cauce es simple puro, con anchuras crecientes desde 1.2 km hasta 3 km en la confluencia con el Río Chico. La morfología de este tramo la hemos tipificado como C6c- (Rosguen), el sustrato es muy fino (limo), y la sinuosidad bajísima (coef.=1.06). El flujo está regido por el control hidráulico inferior impuesto por el nivel de la marea. Se trata de una zona de intercambio de corrientes de agua dulce y de agua salina, ingresando la última durante las mareas altas.

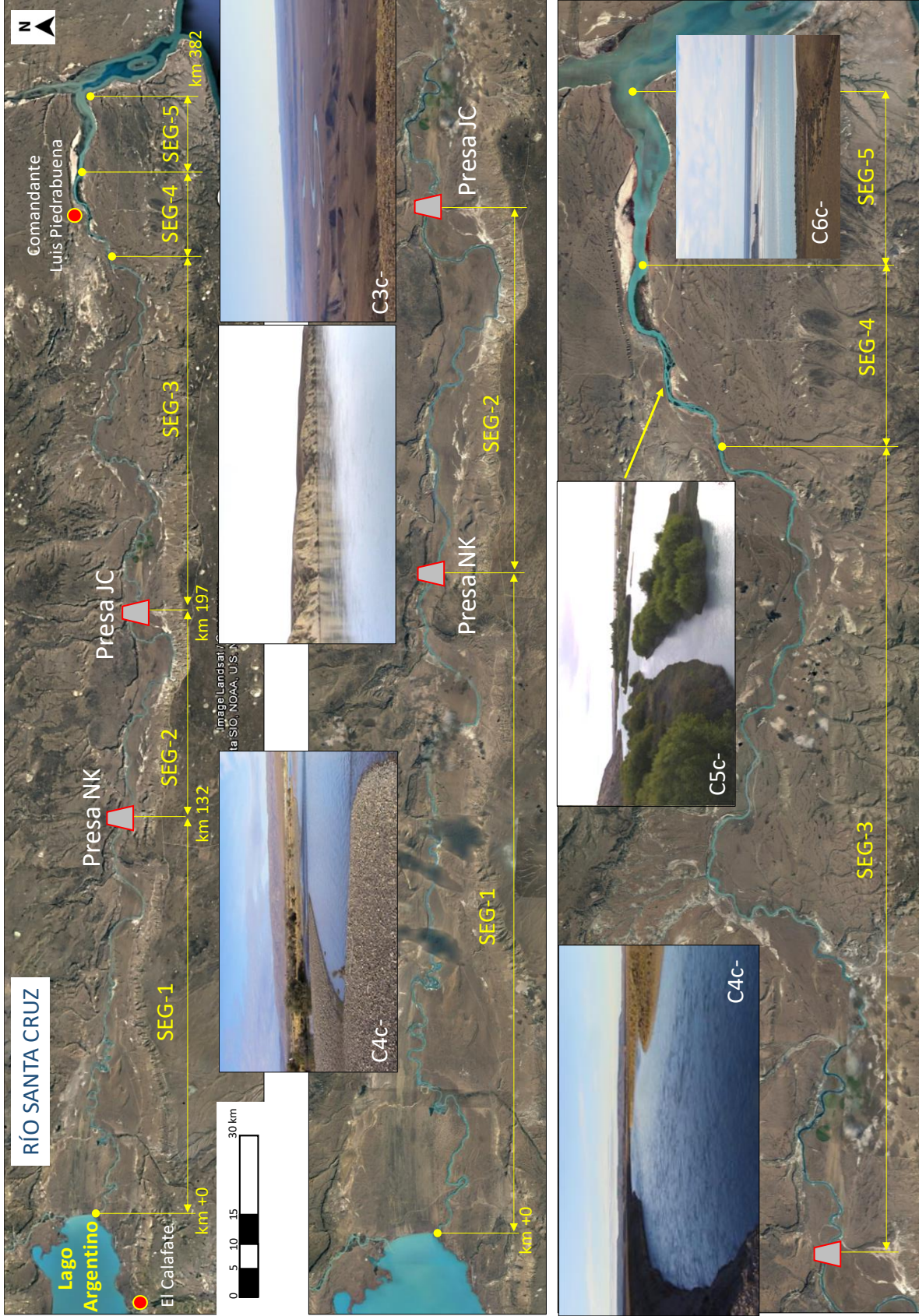


Figura 3. Sistema de zonificación fluvial del Río Santa Cruz (Área de Influencia General del proyecto). Mediante cinco (5) Segmentos fluviales (SEG) se caracterizan los distintos ambientes morfodinámicos existentes a efectos del modelaje IFIM. Fotos extraídas de la Línea Base (Serman & Asoc., 2016) y de Google Earth.

Dentro de cada segmento representativo existen áreas de longitud mayor que la anchura del cauce con unas condiciones hidráulicas homogéneas (velocidad, profundidad, sustrato), las cuales se denominan (meso-) hábitat, y tienen implicaciones fuertes en los componentes hidráulico y biológico del modelo de hábitat PHABSIM. El conjunto de tipos de hábitat que a nuestro juicio ocurren en el RSC a lo largo del año hidrológico en las condiciones pre-proyecto se presentan en la Tabla 2 (pg.sig). Durante el período de caudales altos (enero-junio) se forman ambientes rápidos de manera extensiva, mientras que en el tiempo de caudales bajos (junio-diciembre) se incrementa el área de hábitats más lentos.

Resulta lógico anticipar que, durante el llenado de los embalses, el fragmento detruido del RSC desde JC hasta la desembocadura mantendrá unas condiciones invariablemente menos agitadas que las naturales. Se espera por tanto un incremento de la superficie con hábitats menos profundos y más tranquilos (tabla lenta, poza), a expensas de la reducción de ambientes turbulentos (rápido, tabla rápida). La transformación del ambiente hidráulico será pronosticada más adelante mediante el modelaje PHABSIM, donde se podrá evaluar con criterio cuantitativamente el efecto del Caudal Ecológico en la disponibilidad de hábitat para cada una de las especies ícticas objetivo por separado.

Tabla 2. Tipificación de hábitats en el sector del RSC detruido por la operación de llenado del embalse.

Hábitat	Condiciones	Significación biológica
Rápido Baja Pendiente RBP <i>Low gradient riffle</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flujo turbulento y rápido (>45-60cm/s) ▪ Superficie libre agitada. ▪ Sustrato grueso de cantos-gravas. ▪ Visibilidad dificultada por las turbulencias. ▪ Crecimiento de perifiton en el fondo. ▪ Escaso desarrollo de macrófitas por la velocidad alta. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muy productivo de macrobentos. ▪ Gasto energético elevado de los organismos para mantenerse en la corriente. ▪ Frecuentado por alevines de peces para alimentarse, refugiarse en recovecos y huir de los predadores. ▪ Consumo elevado de bicarbonato disuelto -> carbono inorgánico.
Tabla Rápida TR <i>Run</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tramo profundo y rápido (45-60cm/s). ▪ Superficie libre con poca agitación y flujo sin obstrucciones importantes. ▪ Sustrato gravas-cantos. ▪ Visibilidad moderada. ▪ Puede ocurrir en la cabeza o en la cola de un poza. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ocupada normalmente por individuos juveniles de peces.
Tabla Lenta TL <i>Glide</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja velocidad (30-45cm/s) y profundidad, con flujo tranquilo y ordenado con superficie libre lisa. ▪ Con posible apariencia de poza, pero no contiene zona erosionada en el lecho. ▪ Sustrato de gravas, gravilla y arena. ▪ Visibilidad buena. Fondo con vegetación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Son menos productivas en alimento. ▪ Preferidas por los peces para capturar el alimento transportado por la corriente.
Poza REM <i>Pool</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zonas con flujo ralentizado (<30cm/s). ▪ Superficie libre carente de agitación y con poza. ▪ Ambientes más profundos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zonas de refugio para los peces y otros organismos. ▪ Concentración de alimento esperable cuando circule el CE. ▪ Producción CO2 necesario para el suministro de bicarbonato disuelto.

3. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

El régimen de caudales es básicamente de tipo glacial, con cierta contribución de precipitación extra-glaciar. Los hidrogramas anuales son muy regulares y en general poseen una alta predictibilidad, causada en nuestra opinión por las dos características siguientes: (i) alta constancia (variabilidad interanual dentro de cada uno de los meses); y (ii) alta contingencia (los periodos de caudales altos/bajos ocurren en los mismos meses de modo consistente en los sucesivos años). La excepción son los fenómenos ocasionales de aprontamiento de caudales extremos inducidos por la ruptura brusca del endicamiento del Canal de los Témpanos, el cual ocurre según la LB aproximadamente cada cuatro (4) años.

La estación hidrológica de referencia para el RSC es la Charles Fuhr (2802 RHN), situada a 10 km aguas debajo de su nacimiento en el Lago Argentino, a una altitud de 206 msnm. (latitud 50°15'07.60"S; longitud 71°54'28.10"O). La serie histórica de caudal medio diario disponible en la base de datos hidrológica integrada en línea hasta la fecha (BDHI-Subsecretaría de Recursos Hídricos: bdhi.hidricoargentina.gov.ar; consulta marzo 2017) abarca el período de 19DIC1955 hasta 01SEP2015 (59 años y 9 meses). Los datos faltantes son un total de 635 días, repartidos en 5 periodos (huecos) en 4 años. El esquema hidrológico del área de influencia total del proyecto de la Figura 4 señala el tramo que será detraído durante el llenado de los embalses, así como las corrientes tributarias principales (distinguiendo permanentes y temporales).

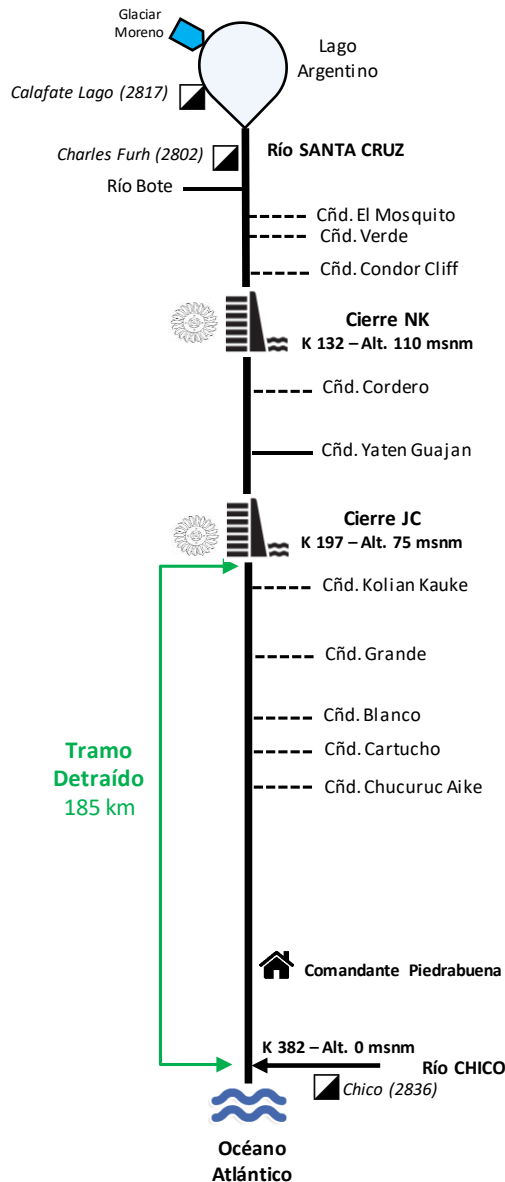


Figura 5. Esquema hidrológico del RSC, indicando las estaciones hidrométricas (▣).

3.1. Aportación de tributarios

Únicamente dos corrientes afluentes del RSC se reportan en LB como permanentes, pero con aportaciones muy pequeñas en relación al caudal del río principal: (1) río Bote; y (2) Cñd. Yaten Guayan que aporta un caudal anual uniforme estimado en $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Ambos tributarios se localizan aguas arriba de la presa JC, por lo cual no suponen contribuciones adicionales al CE que será erogado durante el llenado.

A lo largo del tramo detraído por el llenado – o Área de Influencia General en el EIA – desde cierre JC hasta la desembocadura, existen algunos aportes de los cañadones, más concentrados en la margen izquierda, pero que globalmente son insignificantes en la práctica según la LB. El trabajo referencial sobre este punto realizado por Iturraspe y Sotfíni (2005) compara los caudales diarios del periodo 1946-1953 entre Charles Fuh y el paraje La Barrancosa (cierre JC), observando una gran concordancia general, con una pérdida de caudal media de $14 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que representa tan sólo el 1.8% del módulo anual. Esto indica que las pérdidas por percolación en el cauce no son compensadas por la contribución de los tributarios. Por su parte, Valladares (2004) indica que los cañadones de la margen izquierda y las vaguadas de la margen derecha solo transportan caudal en tiempo de lluvias.

☞ Nosotros consideramos que el planteamiento conveniente para el análisis de CE debe ser conservador, asumiendo para ello que la aportación intermedia en el tramo detraído (JC → estuario) es nula, también durante el verano con caudales altos. Complementariamente, si tenemos en cuenta que (a) la precipitación anual es baja (156 mm), y (b) su distribución mensual es bastante regular (máximo 20 mm/mes), parece lógico pensar que la escorrentía esperada es tan pequeña que confirma la premisa de nuestro análisis.

3.2. Serie de aporte en sitios de presa

El régimen hidrológico exhibe un patrón unimodal muy claro, con caudales máximos centrados en el bimestre enero-febrero (potamofase) y mínimos durante septiembre-octubre (limnofase). El hidrograma de la serie completa de la Figura 6 es muy elocuente para describir el carácter pulsátil que tiene la variación interanual. Las dos fases mencionadas son relativamente simétricas. Cuando el caudal se compara con el nivel del Lago Argentino, se nota una correspondencia potente y permanente. Eso también ocurre tras los eventos de rotura del glaciar, que se manifiestan en los picos de máximos que ocurren con una recurrencia media de unos 4 años [flechas en la gráfica] (Secretaría de Recursos Hídricos, 2004).

El caudal medio anual es $714 \text{ m}^3/\text{s}$ y la mediana baja poco hasta $642 \text{ m}^3/\text{s}$. Los perfiles mensuales de dispersión que hemos preparado en la Figura 7 y los estadísticos de la Tabla 3 reflejan el patrón.

Período de Caudales Altos

Se trata del hidro-periodo enero-junio, donde se enfoca la fase de llenado de los dos embalses. La UTE ha planificado iniciar el llenado estricto en el mes de enero. Los caudales medios mensuales se mueven desde el mínimo de $207 \text{ m}^3/\text{s}$ en junio hasta el máximo de $573 \text{ m}^3/\text{s}$ que es el mes más caudaloso, con un valor promedio para el periodo de $872 \text{ m}^3/\text{s}$. Los caudales diarios mínimos ocurrieron los dos primeros años de la serie 56-57, los cuales se recuerdan por su extrema sequía. El mes menos caudaloso fue junio, con $207 \text{ m}^3/\text{s}$, y la media de los mínimos del período rondó los $400 \text{ m}^3/\text{s}$. A partir de entonces los mínimos absolutos de este período han variado en el rango de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ a $700 \text{ m}^3/\text{s}$. En cuanto al mes más caudaloso que es marzo, el caudal mínimo absoluto ocurrió el primer año de la serie 1956 con $573 \text{ m}^3/\text{s}$, y a partir de ahí ha variado con algo más de dispersión que el resto de meses entre $500 \text{ m}^3/\text{s}$ y $800 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los caudales mínimos anteriores describen la condición de reducción máxima de caudal ocurrida durante en 1 día (24h estrictas). Este tipo de evento ocasional tiene una duración muy corta en términos biológicos, características por las cuales su significación ecológica en principio es limitada. El análisis posterior con duraciones mayores (días, semanas, mes) producirá resultados realmente representativos de la máxima presión potencial hídrica a la que podrá haber estado sometida la biocenosis del RSC.

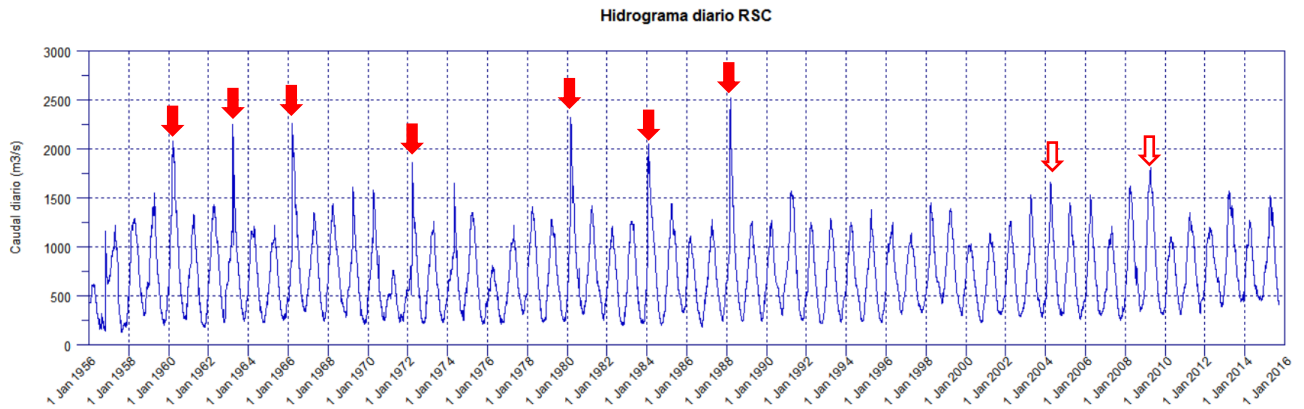


Figura 6: Serie diaria de aporte en sitios de presa NK y JC (1956-2015). Las flechas rojas señalan los años de ruptura del endicamiento, y la consiguiente elevación del lago y aumento de caudal. Fuente: elaboración propia.

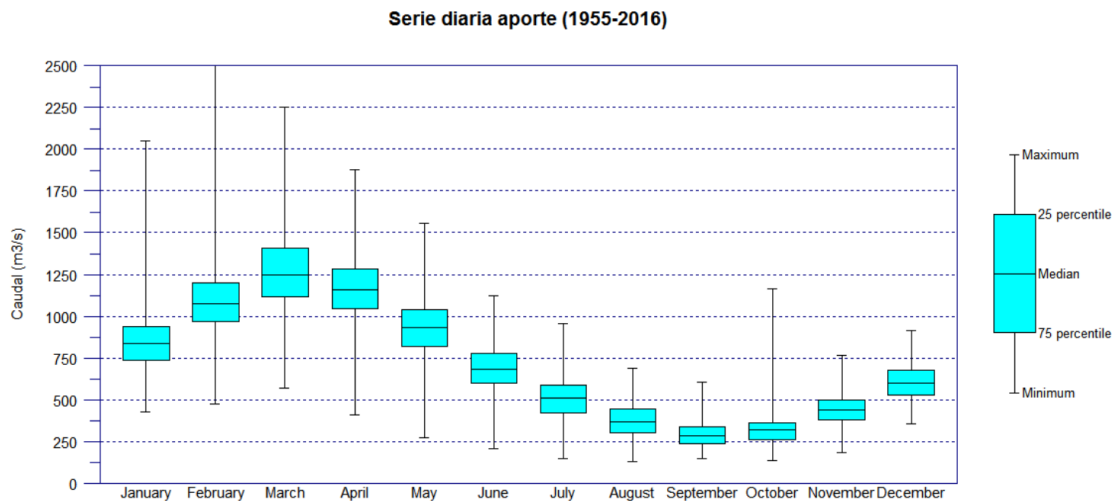


Figura 7: Perfiles mensuales de serie de aporte diaria (1955-2015). Diagrama de caja y bigotes, indicando la mediana, los percentiles 25%-75%, y los valores extremos. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. (Elaboración propia)

Serie mensual en sitio de presa (1956-2015). Caudal en m ³ /s													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Mínimo	428.0	473.6	573.0	408.0	272.0	207.0	146.0	130.0	150.0	138.0	186.0	356.6	130.00
Máximo	2051.6	2519.9	2250.0	1876.0	1555.8	1120.0	956.2	687.9	606.6	1162.0	764.0	913.7	2519.90
Media	846.9	1098.3	1283.8	1161.3	930.8	690.2	506.2	378.1	299.2	326.3	441.9	605.5	714.06
Mediana	838.2	1077.6	1248.5	1155.6	932.2	684.5	511.0	366.6	284.1	318.5	440.1	599.0	641.75
90% excedencia	629.8	831.7	983.6	940.4	718.8	519.8	342.3	252.0	218.5	232.0	321.6	470.9	
75% excedencia	735.0	970.6	1118.0	1045.5	820.0	602.2	423.3	303.1	240.3	259.8	382.1	529.3	
25% excedencia	938.2	1202.0	1409.0	1281.0	1036.7	778.5	588.1	443.0	339.5	364.5	500.9	676.4	
10% excedencia	1038.4	1332.6	1644.1	1433.0	1160.4	886.4	661.9	510.5	398.0	438.9	564.6	752.4	
Desv. Típica (n-1)	201.8	263.8	289.0	217.8	193.3	155.3	129.0	104.7	77.1	101.2	93.0	105.4	

Período de Caudales Bajos

El semestre julio-diciembre mantiene caudales medios mensuales entre el más bajo en septiembre con 150 m³/s y el de mayor aportación media diciembre con 357 m³/s, con una descarga media durante el semestre de 426 m³/s. Aunque obviamente este hidroperíodo no es el idóneo para efectuar el llenado de los vasos, sin embargo, orienta sobre el patrón natural de estiajes al que el ecosistema se ha adaptado.

En cuanto a los mínimos históricos, nuevamente los registros de los dos primeros años 56-57 con caudales en un día algo por debajo de $140 \text{ m}^3/\text{s}$ en septiembre-octubre corroboran el estiaje máximo soportado por la biocenosis en los últimos 59 años. El resto de años de la serie, estos eventos puntuales de duración 24h han variado con una tendencia creciente clara desde unos $200 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $450 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año con mayor aporte invernal desde que se tienen datos, que es el penúltimo de la serie 2014. Como en el caso del período húmedo, un dictamen más completo sobre la presión real sobre el ecosistema por la bajada de caudal se obtendrá más adelante examinando ventanas de duraciones mayores mediante medias móviles.

3.3. Variabilidad diaria interanual

Para logara la visión más precisa del patrón que tiene el hidrograma con resolución diaria, así como evaluar la variabilidad en los sucesivos años (algunos con rotura de glaciar), hemos elaborado los gráficos de la Figura 8. Los tres gráficos superiores 2D muestran hidrogramas anuales para comparación de tres escenarios analíticos: (1) arriba: serie completa; (2) centro: años con rotura en el Brazo; y (3) abajo: años secos. Como referencia el hidrograma medio está en color rojo, y los cuartiles superior (Q75%) e inferior (Q25%) en color verde. El gráfico inferior de superficie 3D está codificado en color, y facilita la comprensión de los ciclos de avance-retroceso del glaciar Moreno asociados a la desobstrucción.

Periodo húmedo enero-junio

La dispersión durante este semestre es patente, con caudales en el rango inferior por encima de $630 \text{ m}^3/\text{s}$ el 90% del tiempo, y picos mayores de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ que ocurren el 10% de período. Esto se explica a nuestro juicio por el efecto combinado del contraste entre los años secos y húmedos, y en gran por la ruptura del glaciar Moreno que ocurre durante este tiempo centrado en el verano.

Periodo seco julio-diciembre

En este caso los intervalos de variación son mucho más estrechos que en el verano. La excepción es el mes de octubre, cuyo máximo se dispara como consecuencia de una rotura reportada en octubre 1956 en el informe de Estadística Hidrológica de Argentina (Subsecretaría de Rec. Hídricos, 1994).

Septiembre es el mes que menor caudal ofrece a la biocenosis de modo consistente en la serie, y también el mes que menor dispersión experimenta. El caudal medio de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ es algo superior a la mediana $284 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal mínimo absoluto de $150 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, supera al mínimo absoluto que ocurre en agosto con $130 \text{ m}^3/\text{s}$, aunque eso se debe a un evento aislado (1956): más representativo es el Q90 de septiembre que vuelve a ser el más bajo de todos los meses con $218.50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tres puntos importantes de este apartado relativos al estudio del CE:

- i. El año hidrológico que ha establecido la UTE para la realización del llenado en el contexto del ECE es el promedio de toda la serie, incluyendo los años de rotura. Las indicaciones de la UTE es que la operación se inicie en el mes de enero. Recordemos que ese año medio es el que se muestra en las gráficas superiores de la Figura 8 en color rojo. En ese patrón de referencia, se nota que el fragmento de potamofase (caudal alto) es bastante simétrico al de limnofase (caudal bajo).
- ii. La condición de caudal mínimo en condiciones naturales que ocurre durante más del 90% del tiempo, y a la cual los organismos acuáticos están adaptados, es DURANTE 1 DÍA de septiembre y vale $218.5 \text{ m}^3/\text{s}$.
- iii. La condición anterior ocurre en los meses contiguos con caudales comparables: agosto $252 \text{ m}^3/\text{s}$ y octubre $232 \text{ m}^3/\text{s}$.

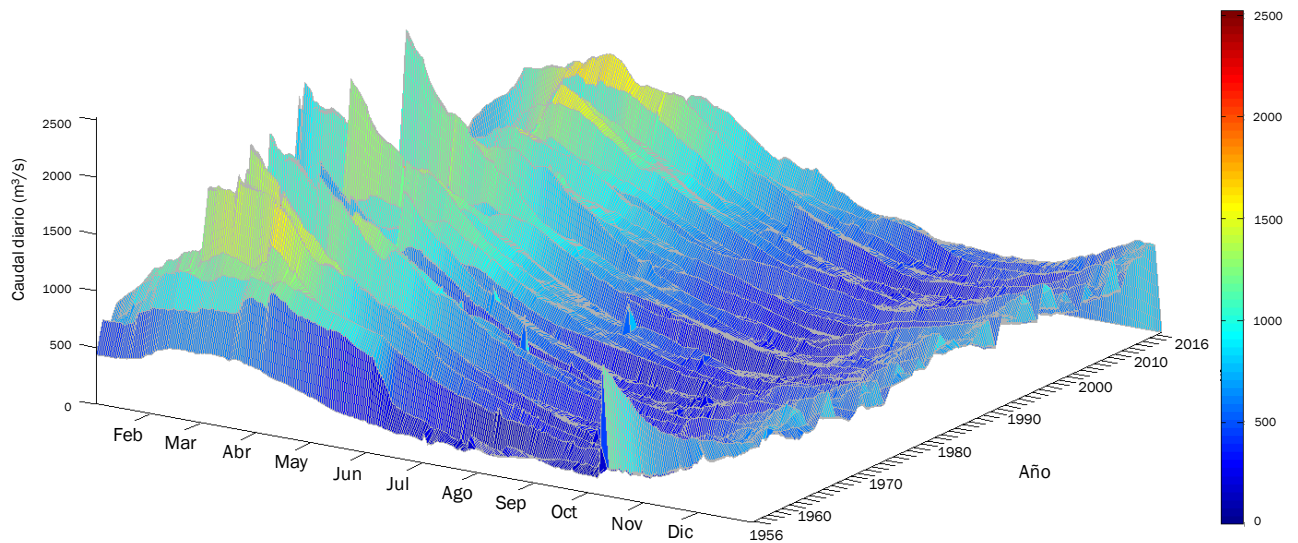
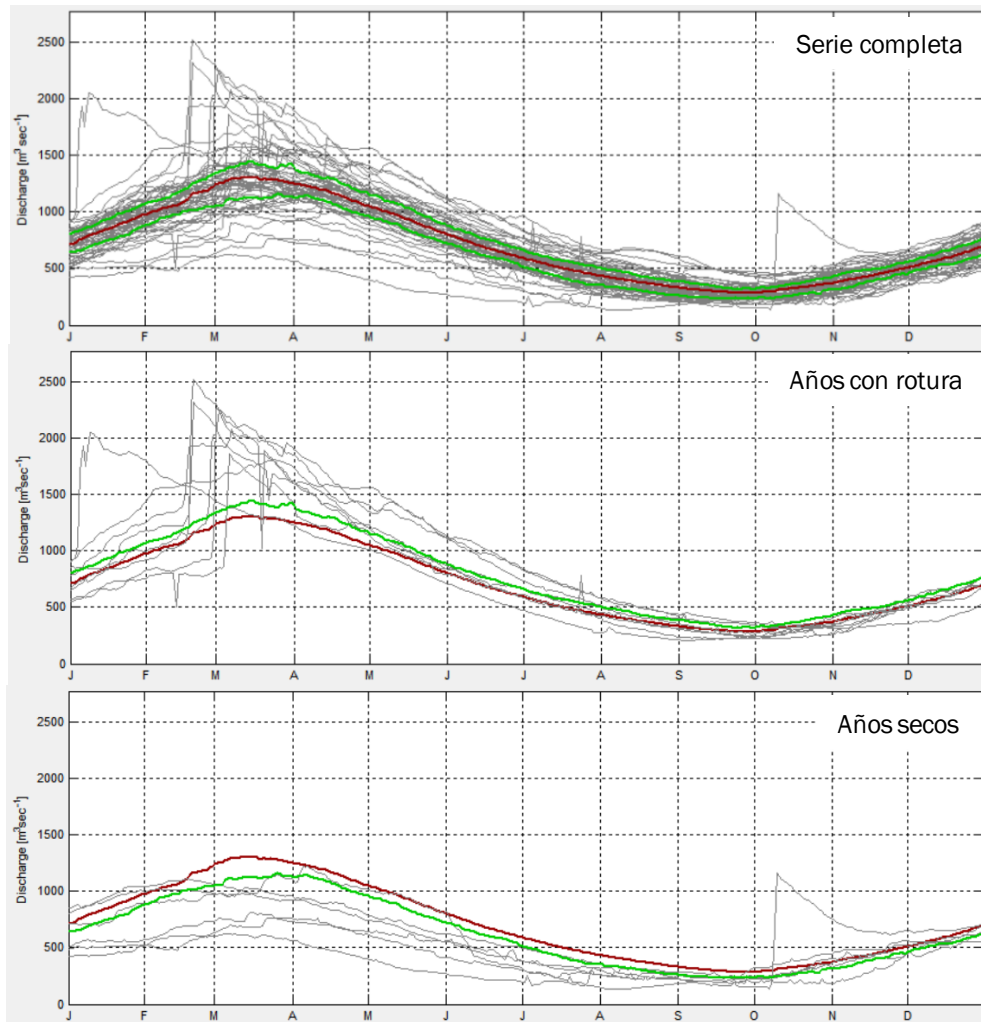


Figura 8: Caudal diario de aporte en sitios de presa: n=59 años; 1956–2015. Arriba: Tres (3) escenarios de hidrogramas anuales día a día (en gris), señalando para cada uno de los días la media (rojo) y los percentiles 25% y 75% (verde); (arriba) serie completa, (centro) años con rotura del endicamiento del Moreno, y (abajo) años secos. Abajo: gráfico tridimensional con caudales codificados en color. Fuente: elaboración propia con el software SAS (Metcalfe y Smith, 2014).

3.4. Eventos de Caudal Mínimo

Desde el punto de vista biológico, mucho más representativo que el caudal mínimo ocurrido en un solo día resulta la condición mantenida durante varios días consecutivos cada año (3, 7, 30, y más), a la cual las especies se han ido adaptando históricamente. Para identificar y describir esos eventos de presión hídrica máxima sobre la biocenosis con recurrencia anual hemos realizado un análisis estadístico de medias móviles a la serie de caudales diarios, con amplitudes de ventana incrementales hasta 90 días, cuyos resultados presenta la Tabla 4 (pág.dcha). El objetivo de este análisis es cuantificar el caudal medio diario que los organismos pueden soportar cada año durante los períodos más secos que se presentan con duraciones crecientes: este valor es una referencia con aproximación meramente hidrológica para considerar en el modelaje PHABSIM del CE para el llenado.

- ☞ La premisa es que si los organismos han tolerado con éxito estas condiciones históricas más exigentes, cabe esperar que también se adapten a la futura presión potencial que supone el proceso transitorio de llenado de los embalses.

La duración características de los eventos de caudal bajo (caudales menores que la mediana Q50%) vale 155 días, que representa los cinco meses de caudal mas bajo en un hidrograma que es muy simétrico. El Índice de Flujo Base (BFI “base flow index”- cociente $7Q/Q50$) es los disintos años es muy consistente en torno a 0.35, lo que describe esa situación de caudal muy bajo mantenido en gran parte por el caudal base.

- ☞ Los dos hechos anteriores nos hacen pensar que el caudal medio diario mantenido en un evento de caudal muy bajo que dura 3 meses ($Q_{\min-90}$) podría ser un indicador válido de la resiliencia de los organismos a situaciones temporales y de frecuencia excepcional como es la fase de llenado: una descarga de valor mediana $313 \text{ m}^3/\text{s}$, y decreciente en función de la resistencia del ecosistema hasta el mínimo de $180 \text{ m}^3/\text{s}$. Hemos preferido utilizar el estadístico mediana (Q50%) en lugar de la media, puesto que consideramos que en este caso tiene una significación ecológica mayor al representar duraciones de una condición de caudal concreta.
- ☞ Complementariamente, cuando se observan las medianas para las distintas duraciones, es interesante destacar que las diferencias entre ellas son relativamente pequeñas en relación al caudal medio del río. El incremento entre el $Q_{\min-1}$ ($246 \text{ m}^3/\text{s}$) y el $Q_{\min-90}$ ($313 \text{ m}^3/\text{s}$) vale $67 \text{ m}^3/\text{s}$, que representa el 22% del caudal mediana de septiembre en el que ocurren estos eventos. Pensamos que esto es un reflejo de las condiciones de caudal muy bajo naturales (limnofase), que no son eventos fugaces de pocos días, sino que se mantienen unos 3 meses (agosto-octubre). Esta consistencia de las medias móviles con ventanas de tamaño creciente refuerza a nuestro juicio la cualidad del $Q_{\min-90}$ como un indicador del umbral ecológico natural de caudal.

Hemos generado las curvas de duración de los caudales durante períodos de duración incremental en la Figura 9 (pág.dcha). Cabe destacar que las tres funciones de duraciones hasta de 7 días tienes patrones muy parejos. La diferencia es perceptible cuando se estudian eventos de caudales muy bajos durante 30 días consecutivos (curva naranja). Esa diferencia se amplifica para la función con ventana de análisis de medias móviles de 3 meses consecutivos. Estos resultados apoyan el interés como escenario preliminar de análisis de caudal ecológico del $Q_{\min-90}$ días.

Por último, para completar la comprensión de las situaciones naturales de caudal bajo examinamos en la Figura 10 la secuencia temporal del caudal medio diario durante las mismas. Se detecta una leve tendencia creciente en el el caudal medio de los eventos de flujo reducido, aunque con baja significación estadística ($R^2=0.30$). Parece que el patrón es relativamente estable hasta 1995, año a partir del cual las bajadas de caudal invernales se hacen cada vez mas moderadas. Como era previsible el salto mayor ocurre de Q-30 a Q-90, cuyas funciones mantienen un patron general bastante parecido pero con proporciones variables en los sucesivos años.

Tabla 4. Caracterización de eventos de caudal bajo durante días consecutivos. Fuente: elaboración propia.

Estadístico	Eventos de Caudal Bajo (m^3/s)						
	Duración (d) $Q < Q50\%$	BFI (7Q/Q50%)	Qmín 1d	Qmín 3d	Qmín 7d	Qmín 30d	Qmín 90d
Mínimo	56	0.23	130	131	132	147	180
90% excedencia	-	-	201	202	206	217	246
75% excedencia	-	-	229	231	232	236	273
Mediana	163	0.37	246	248	253	265	313
Máximo	220	0.61	452	453	456	464	499

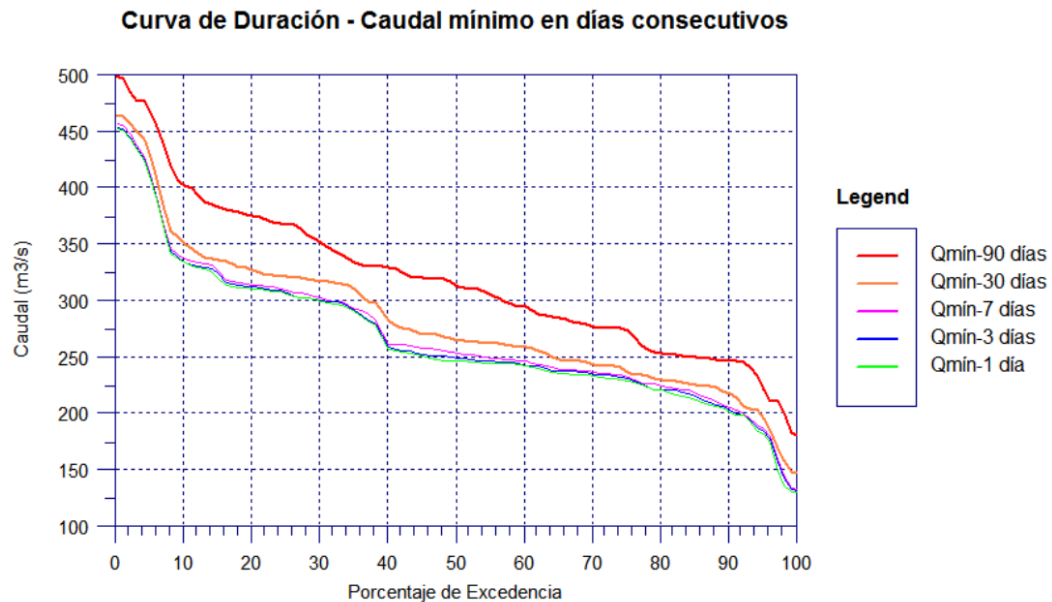


Figura 9: Análisis de duración de los eventos de caudal bajo (limnofases) con duraciones crecientes desde 1 día ($Q_{mín-1}$) hasta 3 meses ($Q_{mín-90días}$). Generados mediante medias móviles. Fuente: elaboración propia.

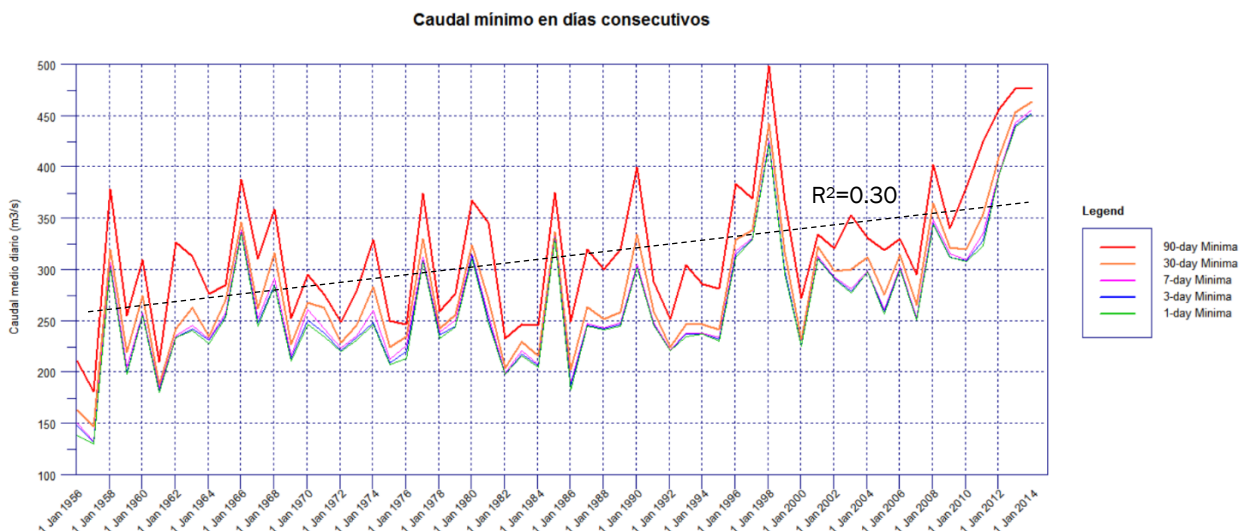


Figura 10. Serie histórica de las limnofases con duraciones incrementales desde 1 día ($Q_{mín-1día}$) hasta 3 meses ($Q_{mín-90días}$), calculados mediante medidas móviles. Fuente: elaboración propia.

3.5. Análisis de Tendencia (Caudal)

El apartado de la LBA específico sobre Cambio Climático examina la tendencia de las variables temperatura y precipitación en las estaciones del Lago Argentino (Aero 1961-2000; El Calafate 2001-14) y la Charles Furh en el RSC [EIA-LBA-Clima,pg.23]. Las conclusiones de la aplicación de los métodos de medias móviles de 4 años y de tendencia lineal son:

- Temperatura. No se detecta incremento de temperatura ($p=0.31$). Este resultado no refleja el aumento de $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ocurrido en la provincia de Santa Cruz desde 1961 hasta 2010 según Barros et al. (2015).
- Precipitación. Se detecta tendencia decreciente de la precipitación anual en el Lago Arg ($p=0.015$). Sin embargo, NO existe tendencia en la estación Charles Furh, lo cual coincide con lo observado por Barros et al. (2015) en la mayor parte de la Patagonia.

Como complemento del apartado susodicho del EIA, que no examina la variable caudal del RSC, y basta que las decisiones sobre el CE se tomarán en base a la misma, hemos realizado una exploración estadística de la serie de caudales diarios en Charles Furh. El objetivo es conocer cualidades estadísticas de los datos que son necesarias para comprender la hidrología original del RSC, y por consiguiente poder discernir cuales de los eventuales cambios futuros en el hidrograma son consecuencia real del del proyecto en las fases de llenado y/u operación. (1) La primera cualidad es la estacionariedad, es decir si existe tendencia histórica en la serie. (2) La segunda es la homogeneidad, la cual se incumple cuando por ejemplo ocurren cambios en la hidrología de la cuenca y/o errores en la estación que provocan saltos en la media y/o varianza. (3) La tercera propiedad es la independencia de los datos, lo que garantiza la premisa de que la variable sea realmente aleatoria.

Hemos aplicado una completa batería de test paramétricos con el paquete STATGRAPHICS Centurion XVI (StatPoint Tech., 2013) a las siguientes variables: Caudal medio potamofase, caudal medio limnofase, caudal medio anual, $Q_{\text{mín-30 días}}$, y $Q_{\text{mín-90 días}}$. Primeramente identificamos que las series se ajustan a una distribución normal al 95% de nivel de confianza según las pruebas de Shapiro-Wilk ($p>0.12$) y de Kolmogorov-Smirnov ($p>0.52$), lo que determinó la aplicación de pruebas paramétricas. Los resultados de la exploración se recogen en la Tabla 5, donde el nivel de significación α expresa la probabilidad rechazar la hipótesis nula cuando es correcta (interpretar tendencia cuando en realidad no existe).

- La única variable que es estacionaria es el Caudal promedio enero-junio. El resto de variables siguen una tendencia creciente con una significación alta, inclusive el caudal medio anual. En este sentido, cabe mencionar que la LB en el estudio de desacople hidráulico del Lago Argentina y el embalse NK sugieren un potencial error sistemático a partir de 1976-77 por un posible corrimiento del cero del limnómetro (EIA Actualización-Cap2; Serman & Asoc., 2017). Este aspecto no ha sido demostrado.
- Los caudales medios del semestre de crecida y del año son homogéneos. Para el resto de variables se detectan saltos en la media.
- Las tres variables de caudales medios (potamofase, limnofase, y anual) pueden considerarse que son un proceso aleatorio con una alta significación ($\alpha>0.10$). Sin embargo, eso no ocurre con los caudales mínimos $Q_{\text{mín-30/90días}}$, que por algún motivo son claramente no-independientes estadísticamente.

(i) Un estudio profundo de los procesos que determinan el caudal del RSC ayudaría a esclarecer las causas de los resultados anteriores, el cual está fuera del alcance del ECE. (ii) Por otro lado, el control de calidad de las mediciones en la estación Charles Furh juega un rol esencial en la confiabilidad de los datos. (iii) Los tests estadísticos empleados tienen también cierto efecto en los resultados. Para escrutar la serie hemos aplicado el test de tendencia no-paramétrico de Mann-Kendall para año completo, y con mayor resolución mes a mes. En este caso el caudal anual no presenta tendencia, tanto la media como la mediana. En los meses de crecidas no detecta tendencia, pero de julio a octubre revela tendencia creciente clara.

- En cualquier caso, con el planteamiento práctico enfocado a elaborar un ECE operativo que procede ahora, nosotros consideramos que la significación estadística no necesariamente implica la existencia de un proceso: por ello el criterio hidrológico debe prevalecer.

Tabla 5. Análisis estadístico exploratorio de consistencia estadística.

Cualidad	Test	Q Ene-Jun	Q Jul-Dic	Q anual	Qmín-30 días	Qmín-90 días
Tendencia	Regresión lineal	Estacionario $\alpha > 0.10$	Tendencia↑ $\alpha < 0.05^*$	Tendencia↑ $\alpha < 0.10$	Tendencia↑ $\alpha < 0.01^{**}$	Tendencia↑ $\alpha < 0.01^{**}$
Homogeneidad	- Desviación acumulada - Ratio Worsley - t de Student	Homogéneo $\alpha > 0.10$	No $\alpha < 0.05^*$	Homogénea $\alpha > 0.10$ Worsley *	No $\alpha < 0.01^{**}$	No $\alpha < 0.01^{**}$
Aleatoriedad	Autocorrelación	Aleatorio $\alpha > 0.10$	Aleatorio $\alpha > 0.10$	Aleatorio $\alpha > 0.10$	No $\alpha < 0.05^*$	No $\alpha < 0.01^{**}$

3.6. Indicadores Hidrológicos

Finalmente, para caracterizar el hidrograma natural de modo resumido y sistemático hemos seleccionado el conjunto de 24 indicadores hidrológicos con significación ecológica organizados en la Tabla 6 (pág.sig). Estas variables/índices hidrológicos representan numéricamente distintos eventos que ocurren dentro del rango de caudal intermedio, limnofases, potamofases, y otras características con implicaciones biológicas (predictibilidad, dispersión, etc). Los valores de la tabla son los medios de la serie. Aunque la mayoría de indicadores son auto explicables, se aclaran algunos por conveniencia.

- 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 superar 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. Hemos seguido el sistema de Colwell (1974) con 11 clases de caudal basadas en una escala logarítmica de base 2 en el rango desde $<0.125*Q_{medio}$ hasta $>64*Q_{medio}$.
- 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 ($Q > 3*Q_{50}$). 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.

3.7. Carga Sólida

En el momento de la elaboración de este documento la UTE está adelantando un estudio sedimentológico encargado al experto hidrólogo H. Farias. Además de caracterizar la morfología y el material del lecho, se estimará la capacidad de transporte de sedimentos. Se ensayarán diferentes formulaciones conocidas de capacidad de transporte de sedimentos (Meyer-Peter & Muller, Engelund & Fredsoe, Smart & Jaeggi, Rickenmann, Parker, Yang, Browlie, etc) mediante un modelo 1D (cuasi 2D en franjas).

El objetivo del estudio es desarrollar una curva de gasto sólido vs. líquido para el sector intervenido.

3.8. Usos del agua

La LB reporta que el área de influencia del proyecto es zona rural con bajísima densidad poblacional. El aprovechamiento hídrico es muy bajo y se destina para: (1) abreviar el ganado ovino; (2) abastecimiento humano/doméstico de los residentes en localidades (Cte. Piedrabuena) y en las estancias aisladas; y (3) regadío aguas abajo de presa JC.

Teniendo en cuenta que el llenado de los embalses se centrará en el tiempo de caudales altos en el que no se requiere riego, resulta claro que el efecto del CE sobre los usos es insignificante.

Tabla 6. Conjunto de 24 indicadores hidrológicos para caracterizar el hidrograma de aporte natural.

RANGO HIDROLÓGICO	VARIABLE	Promedio 1956-2015
Caudales Medios	Q medio anual (m ³ /s)	714.1
	Q mediana anual (m ³ /s)	641.8
Caudales Bajos	Q _{mín} 1 día (m ³ /s)	246
	Q _{mín} 3 días (m ³ /s)	248
	Q _{mín} 7 días (m ³ /s)	253
	Q _{mín} 30 días (m ³ /s)	265
	Q _{mín} 90 días (m ³ /s)	313
	Índice BFI (Q ₇ /Q _{medio})	0.38
	Duración Q _{bajo} [Q<Q ₅₀] (días)	146
	Eventos Q _{bajo} /año	1.42
Caudales Altos	Q _{máx} 1 día (m ³ /s)	1347
	Q _{máx} 3 días (m ³ /s)	1343
	Q _{máx} 7 días (m ³ /s)	1339
	Q _{máx} 30 días (m ³ /s)	1277
	Duración Q _{alto} [Q>Q ₇₅] (días)	59.0
	Eventos Q _{alto} /año	1.15
	Tasa ↑Q (m ³ /s.día)	6.89
	Tasa ↓Q (m ³ /s.día)	6.39
	Inversiones ↑↓	61
	Índices	Coef. de dispersión (m ³ /s) (Q ₇₅ -Q ₂₅)/Q ₅₀
Predictibilidad		0.77
Constancia		0.52
Constancia/Predictibilidad		0.68
Richards-Baker		0.01
Fre3 [Frec. Q>3*Q ₅₀]		0.12

3.9. Aporte del del Río Chico

Al largo estuario desemboca también el río Chico, con las aportaciones mensuales medidas en la estación Río Chico (código 2836) de la Figura 11. La serie disponible es mensual y muy corta (JUN2015-ENE17), pero orienta sobre el rango de caudales durante el tiempo de llenado, entre el máximo de 25 m³/s y el mínimo de 7 m³/s.

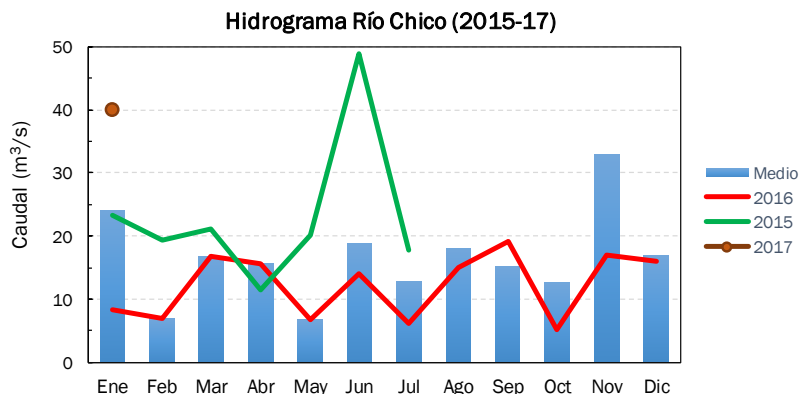


Figura 11. Perfil mensual en la desembocadura del Río Chico (Est.2836:2015-17)

4. MODELAJE HIDROLÓGICO DEL LLENADO

El objetivo del modelaje del llenado de los dos embalses del proyecto consiste en determinar el incremento de nivel que ocurre en cada uno de ellos a lo largo del tiempo, hasta alcanzar sus respectivas cotas NAOM. Este balance hidrológico depende de los siguientes componentes: (i) topografía del vaso, (ii) estructuras hidráulicas de descarga, (iii) hidrograma de entrada, (iv) hidrograma de salida, y (v) condición inicial.

Aplicaremos el método Puls Modificado de tránsito de hidrograma en embalse, el cual está basado en una aproximación de diferencias finitas de la ecuación de continuidad, combinada con una representación empírica de la ecuación de momento (HEC, 2000). La ecuación del balance entre dos tiempos $t-1$ y t es:

$$\left(\frac{S_t}{\Delta t} + \frac{O_t}{2}\right) = \left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2}\right) + \left(\frac{S_{t-1}}{\Delta t} - \frac{O_{t-1}}{2}\right)$$

Donde, I = caudal de entrada (m^3/s); O = caudal de salida (m^3/s); S = volumen almacenado en el vaso (m^3); Δt = duración del intervalo de cálculo entre los tiempos “ $t-1$ ” y “ t ”.

Su resolución requiere una relación funcional entre el almacenamiento (S) y el caudal de salida (O), la cual se construye a partir de otras dos funciones: (a) curva de embalse nivel-almacenamiento; y (b) curva de descarga nivel-caudal de salida.

La simulación se realizará con el paquete HEC-HMS 4.2.1 (HEC, 2017) de libre distribución.

4.1. Reglas de llenado

Las instrucciones operativas dadas por la UTE para el desarrollo de esta fase son las siguientes:

- i. Los niveles NAOM son: 176.50 m IGN en NK y 114.00 m IGN en JC. El llenado comienza en el embalse JC y se mantiene hasta que se alcance su NAOM. A partir de ese momento se inicia la retención en el embalse NK, y el proceso finaliza cuando se completa su NAOM.
- ii. Las estructuras de evacuación de caudal que operan permanentemente en las presas son los descargadores de fondo, compuestos de un número de orificios cuya descarga está controlada por compuertas. No es previsible en principio que los vertederos y/o aliviaderos necesiten operar durante esta fase de cierre.
- iii. El hidrograma de entrada establecido por la UTE es el promedio de la serie completa, incluyendo los años de rotura del glaciar, con resolución diaria. Eso representa que el intervalo de cómputo $\Delta t=1$ día. Para el llenado de JC este hidrograma será el de entrada hasta que se alcance el $N_{mín}$, momento a partir del cual recibirá únicamente el CE.
- iv. El hidrograma de salida para ambas presas es el régimen de CE fijado para los distintos meses que dure la operación.
- v. El nivel inicial en cada embalse se calcula a partir de las curvas de calibración del cauce en el sitio de presa aportadas por la UTE (cota de agua – caudal).

4.2. Funciones que gobiernan el modelo

La siguiente información de base ha sido facilitada por la UTE en distintos documentos que se refieren.

- **Hidrograma de aporte.** Siguiendo las instrucciones de la UTE, hemos obtenido el hidrograma diario del año medio, que será el de entrada a los embalses. Una vez que JC esté completo, recibirá únicamente la descarga ecológica CE. Promediando todos los años de la serie hemos obtenido el hidrograma de cálculo de la Figura 12 (azul). Como primera aproximación de tendencia general hemos calculado la evolución del almacenamiento acumulado en JC para dos escenarios de CE tentativos: (i) $180 m^3/s$ ($Q_{mín-90días}$ mínimo absoluto) y (ii) $313 m^3/s$ ($Q_{mín-90días}$ medio histórico). En el segundo caso el embalse se llena en tres meses, mientras que con el CE menor se acorta el proceso unos quince días.

- ▶ **Curvas de embalse:** relaciones Cota del terreno (m.s.n.m IGN) vs. Almacenamiento en el vaso (hm^3). Proviene del procesamiento de las cartas de restitución IGN, que es la información más fidedigna según el informe de la UTE [GE-A.CV-MT.TP-(OG-01-01)-P001]. Las funciones que hemos generado a partir de datos tabulados están en la Figura 13 arriba (pág.sig). En ambas se señala en NAOM. En el caso del embalse NK, niveles por encima de 178 m IGN generan remanso en el lago (puntos azules), lo cual supone un almacenamiento adicional al estricto del RSC.
 - ▶ **Curvas de descarga:** relaciones Nivel de agua en el embalse vs. Caudal de salida. La UTE ha aportado las funciones en descarga libre regida por la carga de vertido en el embalse [JC-A.CV-MC.HD-(DD-03-01)-P001]. Según el diseño actual los descargadores de ambas presas pueden descargar hasta $700 \text{ m}^3/\text{s}$, y durante esta fase deberán erogar el régimen de CE que se determine. En la Figura 13 centro (pág. sig) se comparan las curvas de descarga de JC estrictas (izqda) y las adaptadas a dos hipotéticos CE. Los descargadores disponen de compuertas para limitar la descarga al CE estricto.
- Los orificios por debajo de un nivel umbral funcionan a lámina libre, hasta que la carga hidráulica fuerza el flujo a presión (zona rodeada en la figura). Por otra parte, al inicio del proceso no hay que descartar que pueda ocurrir un lapso –relativamente corto– en que cual el nivel en el embalse sea insuficiente para erogar el CE óptimo para ese momento (carga de vertido). La duración exacta de esa condición dependerá del caudal de entrada concreto de ese mes y también del CE adoptado.
- ▶ **Curvas de gasto en los sitios de presa:** relaciones Caudal circulante vs. Cota del agua en las sección del cauce localizada en cada uno de los ejes de presa. Proviene del modelaje hidráulico de caudales extremos elaborado por la UTE [NK/JC-A.CV-MT.HD-(OG-00-00)-P001]. Se muestran en la Figura 13 abajo, y hemos señalado el caudal medio del mes enero, en que comienza la simulación en JC. El nivel correspondiente a ese caudal define la “condición inicial” en el embalse.

☞ La simulación detallada para el conjunto de CE incrementales que ayudará en la toma de decisiones se realizará más adelante, a partir de los resultados que arroje el modelaje PHABSIM del hábitat.

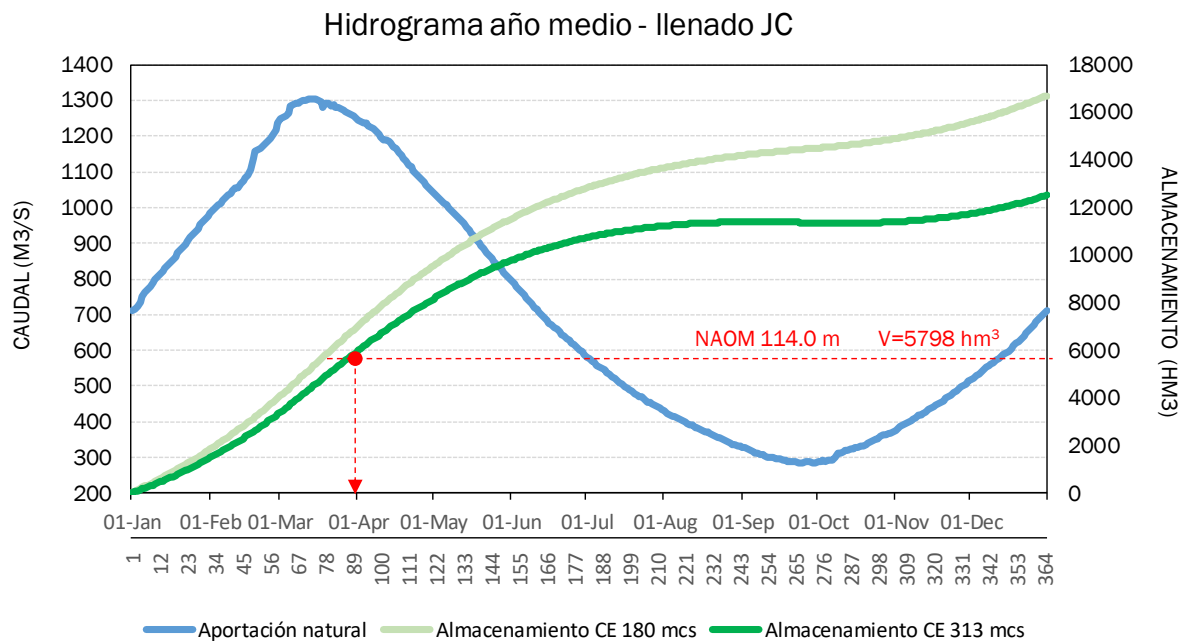


Figura 12. Hidrograma del año medio para en análisis del llenado de los embalses (línea azul). El eje secundario representa el almacenamiento acumulado en el vaso de JC para dos CE tentativos: (1) en verde claro el $Q_{\text{mín-90días}}$ mínimo de la serie $180 \text{ m}^3/\text{s}$; y (2) en verde oscuro el $Q_{\text{mín-90días}}$ medio histórico $313 \text{ m}^3/\text{s}$. En el segundo caso se completa la operación en 3 meses, mientras que con el CE menor se acorta unos 15 días.

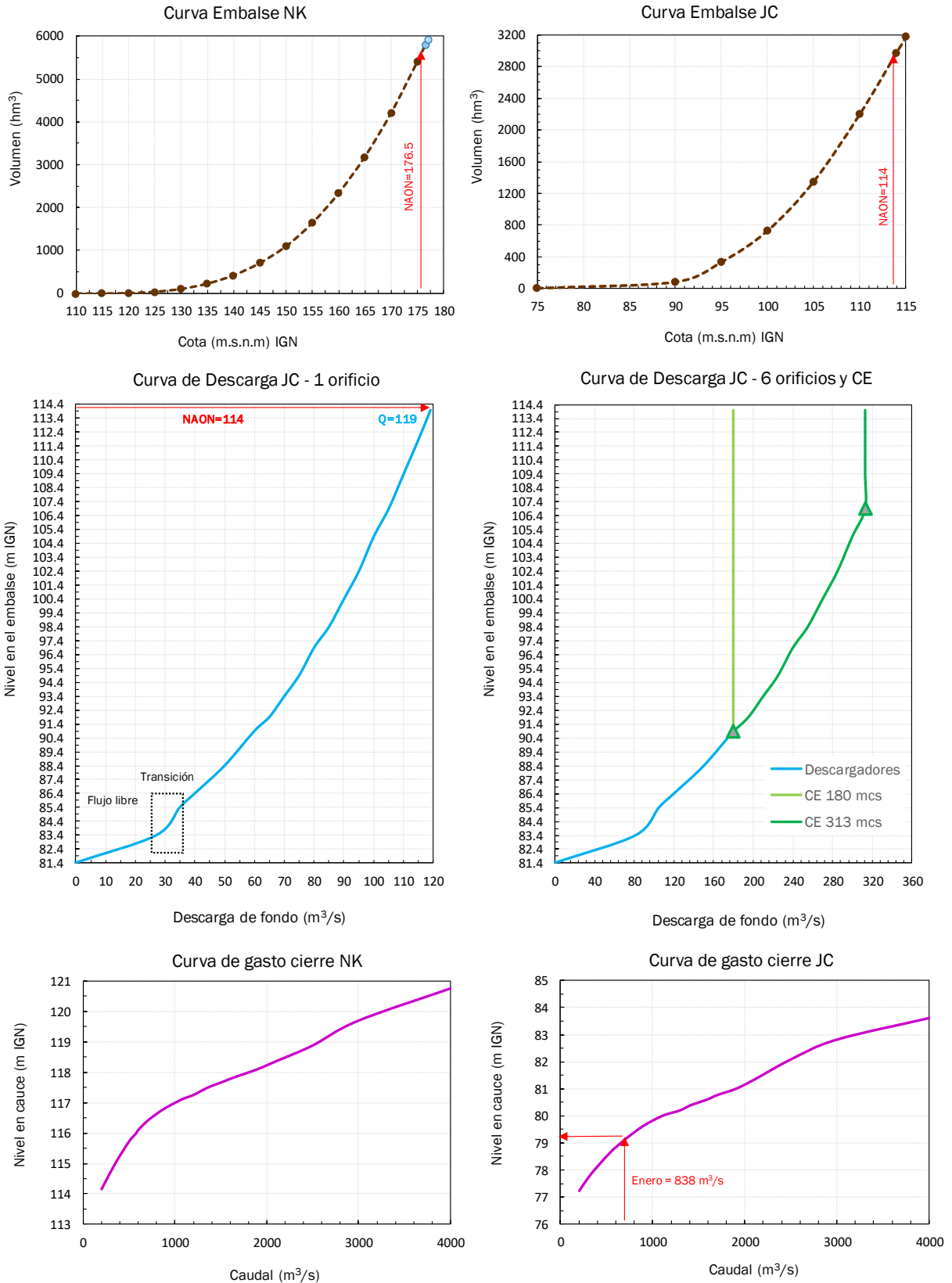


Figura 13. Relaciones funcionales necesarias para aplicar el método Puls Modificado enfocado al llenado de los embalses. Arriba: funciones Cota-Almacenamiento (volumen) derivadas de las cartas IGN. Centro: Curvas de calibración de los descargadores de fondo de JC; a la izquierda en descarga libre, y a la derecha controlada mediante compuertas para erogar dos CE hipotéticos. Abajo: curvas de gasto de las secciones del río en los sitios de presa, señalando en la de JC el caudal medio del mes de enero, en el que se programa el inicio del llenado. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la UTE.

5. APLICACIÓN METODOLOGÍA IFIM

5.1. Objetivos

Aunque la detracción de caudal del RSC subsiguiente al cierre de las presas para posibilitar el llenado de los vasos es un evento transitorio, la alteración hidrológica asociada plantea unos efectos potenciales en el hábitat acuático de distinta tipología que van a evaluarse con la metodología IFIM-PHABSIM.

Durante el tiempo que dure el llenado es previsible que el caudal reducido aguas abajo de presa JC cause cambios en las condiciones del hábitat acuático en el fragmento intervenido hasta su desembocadura. Analizar las características de los potenciales efectos temporales de modo cualitativo y cuantitativo es el objetivo principal del ECE. La aplicación IFIM producirá resultados con base científica sobre las respuestas esperadas de la detracción en el hábitat utilizado por los organismos acuáticos y en la estructura del cauce. La cuantificación de estos efectos mediante funciones matemáticas del tipo caudal-hábitat resultará muy práctica en el proceso de concertación de un régimen de caudal ecológico que sea equilibrado en su balance tiempo de llenado vs. alteración de hábitat.

5.2. Marco Analítico

U marco sólido de análisis de CE debe evaluar los efectos en el hábitat en términos cualitativos y también cuantitativos, posibilitando que el concepto de “unidad de hábitat utilizable” sea una herramienta práctica en la valoración ambiental-económica de la operación de llenado del proyecto. Además, las implicaciones del proyecto sobre la integridad ecológica deben ser estudiados en su variación espacial en el cauce (direcciones longitudinal, transversal, y vertical) y también a su variación temporal intra/inter-anual. Esta concepción 4D inherente a las corrientes naturales (3D espacial+1D tiempo) así como la capacidad para pronosticar cambios medibles en el hábitat acuático utilizable hacen de las metodologías incrementales u holísticas el tipo de marco analítico apropiado para los Aprovechamientos Hidroeléctricos del RSC.

La metodología de este tipo pionera y la más aplicada en el ámbito mundial desde hace tres décadas es la denominada IFIM (“Instream Flow Incremental Methodology”), desarrollada por un grupo multidisciplinar del antiguo Departamento de Pesca y Vida Silvestre Estadounidense (USFWS) encabezado por Bovee y Milhous (1978) [actualmente Servicio Geológico EEUU-USGS]. La posición hegemónica de IFIM a nivel mundial se debe en gran medida a su reconocimiento científico consolidado (Dumbar *et al*, 1998), su perspectiva integradora de los componentes y los procesos ambientales, y su enfoque práctico hacia la negociación. En síntesis, IFIM evalúa los efectos de cambios incrementales de caudal en la estructura del cauce y en la disponibilidad de hábitat físico utilizable, combinando modelos hidráulicos y biológicos con datos hidrológicos. Los resultados espaciales y temporales de IFIM consisten en la mejor aproximación posible en gabinete del grado con el que un CE mantendrá la integridad ecológica del RSC, de modo indirecto empleando la variable hábitat utilizable como indicador básico de la condición ecológica. Una aplicación IFIM consta de cinco fases que se describen en el texto referencial de Bovee (1982), las cuales desarrollará este ECE (Figura 14): 1) Identificación y diagnosis, 2) Planificación del estudio, 3) Modelaje PHABSIM del hábitat acuático, 4) Análisis de alternativas y 5) Propuesta de Régimen CE.

6. IDENTIFICACIÓN Y DIAGNOSIS

Caracteriza la situación pre-proyecto de aquellos componentes del medio socioeconómico y del natural que pueden ser afectados por el cambio hidrológico. La información que hemos utilizado está contenida en el EIA inicial y las revisiones hasta la fecha (Serman & Asoc., 2016,2017).

El estudio socio-económico del EIA reporta un área de influencia social directa (AISD) asociada al proyecto que incluye 3 localidades (El Calafate, Cte. Luis Piedrabuena y Puerto de Santa Cruz) y 48 estancias en la zona rural en la zona entre las dos presas. La población total en las 4 localidades es 27,491 habitantes, y en la zona rural no existen datos. La actividad económica principal en El Calafate es el sector turístico (unas 7800 plazas hoteleras y 800 empresas vinculadas), mientras que en Cte. Luis Piedrabuena y Puerto Santa Cruz dependen en gran medida de la administración e inversión pública. En el medio rural la actividad mayoritaria es la ganadería ovina, y algo de bovina. Existe producción agrícola a pequeña escala con riego.

Nos parece interesante destacar el porcentaje de población desocupada en la AISD, que según la LB es del 20% al 30%, correspondiendo el límite inferior a El Calafate por su actividad turística. Sin conocer los datos concretos, pensamos que la construcción y operación de este proyecto muy probablemente activará la economía de la zona y creará nuevos puestos de trabajo de manera significativa. En este sentido las expectativas de la población mayoritaria son muy positivas respecto al proyecto, en cuanto a la oportunidad que supone para el desarrollo regional y local, generación de mano de obra, e inversión en uso de recursos y servicios por parte de la compañía. Las percepciones negativas reportadas en la LB se refieren al proceso de expropiación en la población rural, y a la posible afectación ambiental del Lago en El Calafate. Sobre el último aspecto, recordemos que el desacople hidráulico entre el embalse NK y el Lago ha sido dictaminado por expertos en un estudio específico de LB elaborado por la UTE.

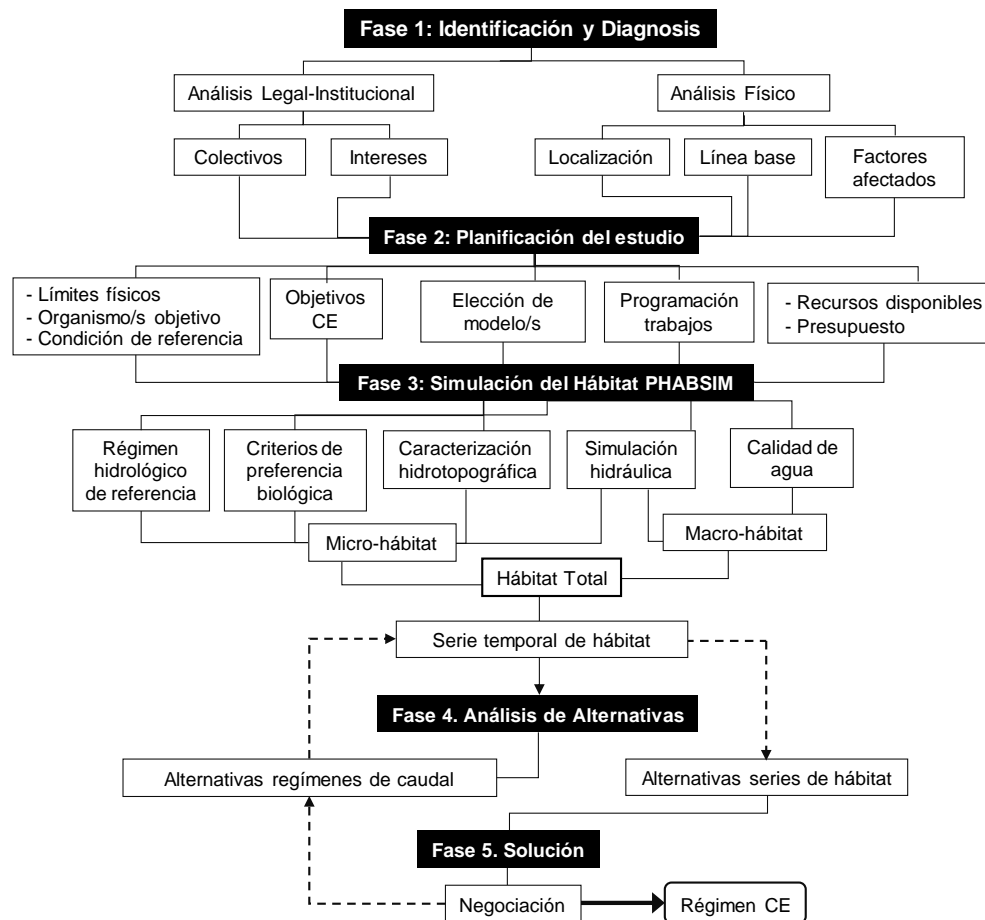


Figura 14. Esquema operativo de la metodología IFIM.

7. PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Engloba las dos siguientes actividades de análisis de línea base y de programación.

- Identificación de la información necesaria para desarrollar los intereses de los grupos implicados. El alcance de la LB socio-económica existente es suficiente para ello.
- Interpretación de la línea base biológica** con énfasis en la composición de especies y sus respectivos ciclos de vida, para reconocer los períodos críticos y determinar las especies objetivo. A continuación, sintetizamos los aspectos de la LB ambiental pertinentes para este análisis, los cuales proceden del EIA inicial, así como de las actualizaciones disponibles a día de hoy (Serman & Asociados, 2016, 2017). Complementariamente, incorporamos los resultados recientes de estudios complementarios sobre la biología y la preferencia biológica de la ictiofauna, elaborados por el grupo IDEAUS-CONICET.

7.1. Calidad de agua

El muestreo completo realizado en época de caudal alto (29MAR-4ABR2015) en ocho (8) estaciones de muestreo distribuidas desde el Lago Argentino hasta la desembocadura en el sector de Piedrabuena refleja unas condiciones fisicoquímicas correspondientes a una calidad de agua muy buena. Según los estándares propuestos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina para los usos potenciales del agua, se tipifica como aguas muy aptas. En los puntos de muestreo de modo consistente se registra:

- Concentración de oxígeno elevada, con niveles muy próximos a saturación.
 - Niveles de nitrógeno y de fósforo bajísimos.
 - Transparencia del agua alta y nivel de clorofila muy bajo.
 - Concentración de sustancias minerales baja.
 - Niveles de pH neutros o de ligera alcalinidad.
- Los anterior refleja un ambiente ultraoligotrófico cuyas condiciones fisicoquímicas no limitan la capacidad capacidad biogénica del río, ni son impedimento para el desarrollo normal de la biocenosis en su hábitat natural.

También se ha muestreado en el Lago Argentino la distribución vertical de temperatura y de oxígeno, levantando perfiles hasta profundidades de 80 m en tres puntos representativos del gradiente longitudinal del lago: Brazo Sur, El Calafate, y nacimiento RSC. Se realizó a finales de marzo 2015, período de caudal alto en el cual se efectuará el cierre de las centrales.

- La temperatura superficial se mantiene constante hasta una profundidad de 15 m. A partir de allí hasta los 80 m de profundidad la temperatura se reduce un máximo de 2 °C dependiendo del sitio:
 - i. En la nacimiento del RSC la variación es nula estricta, manteniéndose constante la temperatura en superficie de 11 °C.
 - ii. En la zona central del lago la disminución es de 1°C con un gradiente estable desde los 11 °C en superficie a los 10 °C a 80 m.
 - iii. En la zona superior más fría la temperatura superficial de 9°C baja 1°C en los 30 primeros metros del perfil, y otro grado adicional hasta el fondo del perfil con 7°C.
- Los niveles de oxígeno disuelto en los tres sitios se mantienen prácticamente invariables a lo largo de todo el perfil, en condiciones próximas a la saturación rondando los 11 mg/l. Este hecho es normal en lagos andinopatagónicos (Bonetto et al., 1971).
- Estos resultados pensamos que son orientativos para anticipar las condiciones en los embalses durante su llenado, cuyas profundidades máximas cerca de presa son menores que la de los perfiles en el lago: 68 m NK y 41 m JC. En los tres sitios no existe termoclina marcada a la profundidad de los embalses, lo cual ocurre también en otros lagos andinopatagónicos (Baigún y Marione, 1995).

7.2. Fitoplancton

Han sido muestreados tres puntos en el área de influencia del proyecto: inicio del embalse NK, eje de presa JC, y sector de Cte. Piedrabuena. Los grupos taxonómicos fueron los mismos que los existentes en el Lago. Dominan las algas Diatomeas (*Bacillariophyta*) y las verdes (*Chlorophyta*), y con mucha menor abundancia se registran Dinoflagelados (*Dinophyta*), algas rojas (*Rhodophyta*), y cianobacterias. El patrón observado es que a medida que desciende el río predominan las algas diatomeas sobre las verdes, debido a la mayor cantidad de sólidos transportados y a la menor exigencia lumínica de las primeras. Por eso en el embalse NK dominan las algas verdes sobre las diatomeas; en JC están igualadas; y en Piedrabuena compiten con clara ventaja las diatomeas. La diatomea más abundante es *Aulacoseira pseudogranulata*.

7.3. Zooplancton

Prevalecen los rotíferos, que tienen un alta de renovación y distribución amplia. Su riqueza y abundancia aumentan a medida que el río desciende. El zooplancton es parte esencial en la alimentación de algunos peces y macroinvertebrados, pero a nivel práctico no son aplicables como organismo objetivo en IFIM al no existir curvas de preferencia.

7.4. Perifiton y Macroinvertebrados

La LB examina zonas de orillas con tres condiciones de hábitat distintas: (1) sustrato de gravas-cantos (2-25cm) con poco biofilm y velocidad en el rango 0.5-1.3 m/s; (2) gravas (1-3 cm) con abundante biofilm y velocidad 0.2-0.8 m/s; y (3) arenas (1-3 mm) y algo de grava (0.2-2 cm) con abundante biofilm y velocidad 0.1-0.6 m/s. Se utilizó red Surber (30x30 cm; 250 micras), removiendo los primeros 10-30 cm del lecho.

Perifiton

El ensamble perifítico está integrado por algas que crecen sobre sustrato rocoso y sobre algas del género *Cladophora*:

- Diatomeas: *Synedra sp.*, *Nitzschia sp.*
- Algas verdes (*Chlorophyta*): *Oedogonium sp.*, *Zygenema sp.*, *Spirogyra sp.*, y *Ulothrix sp.*
- Algas rojas (*Rhodophyta*): *Audovinnella sp.*

El perifiton es productor primario del alimento necesario para mantener el ecosistema y su diversidad, y por ello es reconocido como un buen indicador ambiental (Collins y Weber, 1978). Existen evidencias de que en ciertas condiciones de caudal alterado muy reducido (CEmínimo) mantenidas durante períodos de varios meses de modo continuado, el perifiton puede proliferar (Biggs, 2000). Eso es debido a la acción conjunta de la velocidad baja de la corriente, luminosidad mayor en el cauce, y calentamiento del agua. Las implicaciones ecológicas del crecimiento excesivo son conocidas, entre ellas (Biggs et al., 2002): (a) posible reducción de la diversidad de macroinvertebrados; (b) empobrecimiento general del hábitat para la ictiofauna; y (c) cambios en la fisicoquímica por la disminución de la absorción de amonio, anoxia intersticial, aumento de las fluctuaciones de pH y oxígeno disuelto, elevación del pH, y merma en la capacidad de procesar sustancias orgánicas sin descenso excesivo de oxígeno.

- El proceso de “bloom algal” no es previsible en este caso, por la duración corta de la etapa de llenado, y porque no ocurre en la fase de operación. Sin embargo, por su sensibilidad conocida al cambio de caudal, consideramos al perifiton como un organismo objetivo de la aplicación IFIM (sombrilla).

Macroinvertebrados

Los organismos dominantes con claridad son los Efemerópteros (frecuencia de ocurrencia 83%), seguido de los Coleópteros (67%) y los Tricópteros (33%). La LB reporta ausencia de Plecópteros, lo cual contrasta con lo observado por Tagliaferro et al. anteriormente (2013). La corriente rápida con carga sólida en suspensión considerable de finos procedentes de los glaciares (limo y arcilla) determina mallas tróficas cortas, con predominio de recolectores/raspadores y menos colectores/filtradores.

- Los efemerópteros más abundantes son de las familias *Baetidae* (*Andesiops sp.*), y *Leptophlebiidae* (*Meridialaris sp.*), los cuales son recolectores/raspadores. Ambas especies frecuentes en Patagonia tienen un ciclo de vida adaptado, con puesta al final del verano, incubación corta, y desarrollo de larvas en otoño-invierno (Epele et al., 2011).
- Los coleópteros de la familia *Elmidae* son muy abundantes; son recolectores/raspadores. Tagliaferro et al. (2013) encuentran que la especie *Luchoemis cekalovici* está presente en el 90% de los sitios relevados a lo largo del RSC.
- Los tricópteros más frecuentes pertenecen a la familia *Hydrosychidae* (*Smicridea sp.*), los cuales son colectores/filtradores.

La LB también reporta algunos Oligoquetos (*Naidia sp.*), Dípteros mosquitos no picadores (*Chironomidae sp.*), Anfípodos (*Hyalella sp.*), y un molusco muy frecuente en Patagonia (*Lymnea sp.*), todos ellos con baja importancia como indicador ecológico.

La investigación referencial de Tagliaferro et al. (2013) concluye que: (i) la abundancia mayor existe en el tramo del RSC entre los sitios de presa NN y JC; y la (2) riqueza es estable a lo largo de todo el río con unas 8-10 especies, debido a la relativa homogeneidad del hábitat.

- ▶ Por su relación trófica con la ictiofauna al servir de alimento, y por utilizar hábitats comunes, conviene adoptar a los macroinvertebrados bentónicos como organismos objetivo: Coleópteros, Efemerópteros, Tricópteros, y Plecópteros (precautorio).

7.5. Ictiofauna

Las capturas realizadas para la LB fueron realizadas en dos campañas en abril y en mayo 2015, que es un tiempo de caudales altos y medios, respectivamente. En cinco (5) estaciones de muestreo se utilizaron redes, trasmallos, y electropesca en franjas próximas a las orillas de anchura 4-5 m y profundidad hasta unos 70 centímetros, debido a la limitación por la velocidad de la corriente: (1) sector superior en Laberinto 1; (2) eje de presa JC; (3-4) zona intermedia aguas abajo de JC; y (5) Cte. Piedrabuena.

La riqueza de peces autóctonos es moderada en relación a otros ríos Patagónicos, incluyendo cuatro especies: Lamprea (*Geotria australis*), Perca (*Percichthys trucha*), Puyen Chico (*Galaxias maculatus*), y Róbalo (*Eleginops maclovinus*). La proporción de ictiofauna exótica es muy alta relativamente, ya que existen la misma cantidad de especies autóctonas (Aigo et al., 2008): Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), Trucha marrón (*Salmo trutta*), Trucha de lago (*Salvelinus mamaycush*), y Salmón chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*). En el trabajo sobre peces Patagónicos de Pascual et al. (2007) se refieren tres especies autóctonas más en la cuenca, pero lo cierto es que no han sido detectadas en la LB: Puyen grande (*Galaxias platei*), Pejerrey patagónico (*Odontesthes hatcheri*), y Peladilla (*Aplocheilichthys zebra*).

Las poblaciones están presentes a todo lo largo del río durante alguna de sus fases vitales, a excepción del róbalo que ocupa la zona de estuario, y la trucha marrón que habita el tramo alto próximo al lago.

- ▶ Cabe destacar que actualmente existen interrogantes significativos sobre la ecología y la biología de las especies, particularmente los relativos a las migraciones, áreas de reproducción y de cría.

Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

Esta especie introducida a principios del siglo XX presenta en el RSC un patrón migratorio característico y único en Patagonia con anadromía parcial (Pascual et al., 2001). Una parte de la población es potadroma y desarrolla todo su ciclo vital en el río (desove, alimentación, crecimiento), mientras que la otra parte es anádroma (cabeza de acero o “steelhead”) y requiere migrar al mar para alimentarse y crecer durante un tiempo antes de regresar al río para reproducirse (Riva Rossi et al., 2003; Pascual et al., 2001). Según los hallazgos de Riva Rossi et al. (2007) ambas formas son fenotipos de una misma población que se encuentran en simpatria, y pueden ser adoptadas por cualquier individuo influido por factores genéticos (gametas de las madres, según Riva Rossi et al., 2007) y ambientales como el tipo de hábitat de cría y la temperatura del agua (Mills et al., 2012). Las truchas anádromas son más grandes que las residentes (2.5kg frente a 300-800g), más longevas (11 años frente a 7), y más fecundas (se reproducen 8 veces en su vida frente a 7 veces) según Pascual et al. (2001).

- La maduración ocurre al año +3 (Riva Rossi et al., 2007). El desove se realiza durante el invierno, con el máximo en el bimestre septiembre-octubre (Riva Rossi et al., 2003). Un sector idóneo para el desove son los laberintos 1-2 del segmento superior, donde parece que convergen las truchas anádromas y las residentes (Riva Rossi et al., 2003)
- El muestreo de 2015 apunta que no puede descartarse la hipótesis de que el desove también pueda ocurrir en los segmentos medios y bajos del río. De hecho, Riva Rossi et al. (2003) concluyen a partir del seguimiento de peces marcados que podría existir un área de reproducción en el curso inferior (km 55-80): esta zona pertenece al SEG-3.
- La eclosión tiene lugar de noviembre a enero, y el alevinaje dura de uno a tres meses durante la primavera (Quiroga et al., 2015). El trabajo de Liberoff et al. (2014) comprueba que los primeros nacimientos determinan las truchas residentes, mientras que los tardíos producen la forma anádroma.
- El estadio juvenil se adquiere al comenzar el verano, y se extiende durante dos años en el río. La forma anádroma entonces se esmoltifica (esguinado) y migra al mar desde octubre hasta diciembre. Luego retorna al río para iniciar el ascenso reproductivo en verano, con máximo de ingreso en febrero (Riva Rossi et al., 2007). Por su parte Pascual et al. (2001) indican que el tiempo de permanencia en el mar el primer año de post-esmoltificación es breve.

En cuanto al patrón de distribución longitudinal el conocimiento no es completo, pero en general se reconoce que el sector alto es adecuado para la reproducción y el sector medio para el crecimiento. Liberoff (2014) encuentra que las truchas anádromas habitan preferentemente el sector alto hasta el km 155 (60% abundancia aprox.), mientras que aguas abajo de ese punto domina la forma residente. Por su parte Quiroga et al. (2015) señalan que la máxima abundancia de juveniles se produce en el sector comprendido entre los dos sitios de presa del proyecto (SEG-2). Aguas abajo de cierre JC en los primeros 20 km aproximadamente la abundancia es intermedia (SEG-3), y a partir de ahí decae mucho a medida que desciende el río (SEG-4 y SEG-5).

Salmón Chinook (*Onchorhynchus tshawytscha*)

No se conoce bien su ciclo de vida, pero hay certeza que es semélparo (muere después de reproducirse). Su interés como especie de pesca deportiva es menor que la trucha, debido a que la captura durante su migración ascendente es más difícil, y además los pescadores están menos familiarizados.

Es marino y entra al RSC a mediados de verano, aunque se piensa que podría iniciarse en primavera o extenderse hasta otoño (Pascual et al., 2005). Después de remontar el RSC atraviesa el Lago Argentino y sube al río Caterina y al río Las Vueltas donde desova (Ciancio et al., 2005). Se piensa que los alevines y juveniles descenderían al mar a finales de primavera con la subida de caudal.

Trucha marrón (*Salmo trutta*)

El valor pesquero-deportivo es bajo. Se conoce poco sobre su biología. La información aportada por Pascual et al. (2005) y las capturas de LB indican que habita solo en el curso superior del RSC (SEG1-SEG2). Su área de reproducción y de cría es el río, y se piensa que utiliza el lago como hábitat trófico.

Trucha de lago (*Salvelinus namycush*)

Esta especie carece de relevancia para la pesca deportiva. Habita la mayor parte del tiempo en el Lago, pero puede ingresar a los ríos con fines tróficos (especie carnívora).

Lamprea (*Goetria australis*)

Se trata de una especie anádroma y semélpara, de la cual prácticamente nada se conoce acerca de su biología reproductiva y su distribución espacio-temporal específica en el RSC. Por ello la información de LB que resumimos a continuación ha sido inferida de otros ríos del hemisferio sur (Alex, 2008). Carece de valor económico-pesquero.

- En el mar son parásitos de peces, y cuando alcanzan su madurez sexual ingresan al río en invierno para remontarlo. En ese momento experimentan una metamorfosis por la que dejan de alimentarse y desarrollan una gran bolsa gular, de mayor tamaño en los machos.
- Desovan en nidos similares a los de los salmónidos en cuanto a la ubicación, disposición en la corriente y diseño (sustrato grava-gravilla y velocidad moderada), y la LB señala al sector superior del RSC como hábitat de reproducción probable. Después del desove el adulto muere (de 3 a 36 días). Se desconoce el periodo de reproducción en el RSC, pero podría desarrollarse durante la primavera, tal y como ocurre en el sur de Chile (Arismendi y Penaluna, 2009).
- Los huevos eclosionan al cabo de días, y las larvas ammocoetes (35-85 mm) permanecen enterradas en el sedimento fino de las orillas, alimentándose por filtración con estilo de vida sedentario.
- Al cabo de un período indeterminado de años experimentan una metamorfosis adoptando un aspecto similar al adulto (fase macroftalmia) pero de tamaño pequeño (9-12 cm). Entonces comienzan la migración hacia el mar nadando superficialmente por la zona central del cauce más rápida. Esto podría ocurrir durante invierno-primavera.
- Una vez en el mar se transforman en adultos a los 6-18 meses.

Puyen chico (*Galaxias maculatus*)

En el RSC este pececillo de unos 9 cm de longitud en estado adulto (peso 0.5-9 g) habita sobre todo en los sectores medio y bajo. No tiene valor pesquero-económico. Se reporta como alimento muy consumido por las truchas, especie con la cual los juveniles a veces se confunden.

El amplio muestreo de Tagliaferro et al. (2014) en 52 sitios lo largo del RSC, revela que la abundancia aumenta a partir del curso medio (SEG-2), alcanzando los máximos en los sectores bajos (SEG-3/4/5). Las funciones GAM desarrolladas en dicho trabajo reflejan unos patrones claros de abundancia crecientes con la distancia al Lago Argentino, la anchura del cauce, y la profundidad máxima. El muestreo de LB (2015) corrobora esta distribución, y de hecho no se capturó ningún individuo aguas arriba del cierre NK.

La LB tipifica esta especie como anfídroma y asociada especialmente al sector inferior del RSC desde cierre JC hasta la desembocadura, presentando mayor densidad en los últimos 30-40 km en los que la cobertura de la vegetación ofrece unas condiciones de hábitat propicias (SEG-4 y SEG-5). En ausencia de información sobre sus ciclos vitales en la LB, una referencia es el patrón que existe en el sur de Chile (Arismendi y Penaluna, 2009). El desove se realiza en las zonas estuarinas durante las mareas de sicigia de primavera. Las hembras depositan sus huevos en zonas inundadas de la ribera, y los machos los fertilizan. Cuando la marea baja los huevos fertilizados quedan en seco, y después de un tiempo variable (de unas horas a 2 meses) eclosionan y se transforman en larvas cuando la vegetación es inundada nuevamente. Los adultos son carnívoros que se alimentan en el fondo y en la columna de agua de larvas de Quironómidos, Tricópteros, Coleópteros, y microcrustáceos Copépodos.

Perca (*Percichthys trucha*)

Esta especie endémica del cono sur de Sudamérica (Arismendi y Penaluna, 2009; Ruzzante et al., 2006) tiene un valor económico-pesquero muy bajo. Ha sido capturada a todo lo largo de RSC en el muestreo de LB. No es migratoria, pero realiza movimientos locales. Prefiere fondos fangosos, por lo que según la LB es probable que se localice en bahías protegidas, con mayor abundancia en el sector medio y bajo (SEG-3/4/5). En cuanto a su patrón alimenticio, Arismendi y Penaluna (2009) reportan que los individuos pequeños (2-8cm) se alimentan de larvas de Quironómidos, Copépodos, y Anfípodos; los de tamaño intermedio (7-20cm) se alimentan de Cladóceros y peces; y los adultos (23-52cm) de cangrejos y peces.

Róbalo (*Eleginops maclovinus*)

El róbalo patagónico (robalito) es un pez marino que ocupa el sector inferior del RSC con una estrategia de anfídromía. La LB señala como hábitats de reproducción y trófico el mar, y como hábitat de cría la zona de estuario. El valor pesquero-comercial es nulo. Durante una fase de su vida entra desde el mar al estuario, y permanece viviendo cerca del fondo, alimentándose de algas y pequeños invertebrados (Guzmán y Campodonico, 1973; Pequeño, 1981). Se han capturado en la zona de Cte. Piedrabuena estadios juveniles, preadultos, y adultos.

Peces objetivo IFIM

- ▶ Hemos seleccionado un conjunto de cinco peces objetivo para la aplicación IFIM, conforme a los siguientes criterios (Bovee, 1977; Orth y Maughan, 1983). La Tabla 7 especifica el carácter indicador de cada uno de ellos, así como su importancia económico-deportiva en la zona.
 - Abundantes o generalistas a lo largo del tramo intervenido, que representen adecuadamente la mayoría de los hábitats presentes en las condiciones más desfavorables (fase de llenado).
 - Importantes como recurso económico y/o alimenticio para la población.
 - Especies emblemáticas objeto de conservación.
 - Tamaño grande para garantizar la conectividad hidráulica en el cauce durante el CE.
 - Evitar aquellas que son específicas en cuanto al microhábitat que utilizan.
- ➔ La trucha arco iris y el salmón chinook ejercerán como indicadores de carácter dual. (1) Como especies “bandera” que tienen un altísimo grado de aceptación social e interés económico, y que por su carisma se promueven bajo la premisa de que otras especies que coexisten en el RSC serán también protegidas. (2) Además, por su envergadura serán indicadoras “de tamaño”, al requerir unas condiciones mínimas de profundidad en el cauce para garantizar la conectividad hidráulica a lo largo del sector intervenido.
- ➔ La lamprea y el puyen chico serán indicadores “sombrija”, puesto que asumimos que representan la comunidad autóctona estricta, de modo que salvaguardando su hábitat también otras especies serán protegidas.

- ➔ La perca es a nuestro juicio indicadora de “conservación”, ya que, aunque no está bajo una figura de protección oficial, se trata de un endemismo del cono sur cuya población en el RSC debe mantenerse viable de modo autosostenible.

Tabla 7. Peces objetivo de la aplicación IFIM.

Nombre	Especie	Valor pesquero-económico	Tipo de Indicador
Trucha arco iris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Pesca deportiva-Alto (anádroma)	Bandera (<i>flagship</i>) Tamaño (<i>scale</i>)
Salmón chinook	<i>Onchorhynchus tshawytscha</i>	Pesca deportiva - Moderado	
Lamprea	<i>Goetria australis</i>	Ninguno	Sombrilla (<i>umbrella</i>)
Puyen chico	<i>Galaxias maculatus</i>	Ninguno	
Perca	<i>Percichtys trucha</i>	Pesca deportiva - Muy bajo	Conservación (PAT)

7.6. Reptiles

La LB ha sido ampliada con un nuevo muestreo en invierno 2016 para el EIA actualizado (Rev.2; Sherman & Asoc., 2017). Las especies no están tipificadas como amenazadas (Resl. SA y DS N°1055/13 Secretaría de Estado de Ambiente y Desarrollo) ni como sensibles (IUCN, 2004; Giraudo et al., 2012). El muestreo de 2015 registra una sola especie de lagartija, mientras que el de 2016 reporta tres especies de lagartijas y dos especies de lagartos. La lagartija más abundante es la *Liolaemus escarchadosi*, seguida de lejos por las otras dos especies *L. fitzingeri*, y *L. lineomaculatus*. De los dos matuastos (lagartos) el *Diplolemus bibronii* tiene una presencia mucho mayor que el *D. Darwinii*. Las poblaciones se encuentran en buen estado ecológico para el desarrollo de su ciclo biológico.

7.7. Anfibios

El EIA actualizado (Rev.2) incluye también un estudio complementario de invierno 2016. La única especie encontrada es el Sapito de cuatro ojos (*Pleurodema bufonium*), tipificado como No Amenazado (Resl. SA y DS N°1055/13), y con una población abundante.

7.8. Avifauna

En el área de influencia directa del proyecto entre las dos presas no existe ninguna AICAs (Área Importante para la Conservación de las Aves). Sólo en zona de influencia indirecta existen dos áreas: Laguna Nímez y PN Los Glaciares. Dos nuevas AICAs están propuestas en la zona de influencia directa: Desembocadura de los ríos Chico y Santa Cruz, y Meseta de las Vizcachas. Como especies de interés destacar: Cóndor andino (*Vultur gryphus*), Cauquén (*Chloephaga picta*), Flamenco (*Phoenicopterus chilensis*), Choique patagónico (*Rhea pennata pennata*), y Chorlito pecho canela (*Charadrius modestus*).

El estuario ofrece hábitat para aves residentes, y también para migradores australes (pasan el invierno) y neárticos (verano). En este sector la diversidad es mayor que en la zona aguas arriba de cierre JC.

7.9. Mamíferos

El más abundante es el Guanacos (*Lama guanicoe*), cuyo reciente plan de manejo provincial se enfoca a regular la capacidad de carga de herbívoros. El relevamiento encontró dos especies de las 36 potenciales: Piche patagónico (*Zaedyus pichiy*), y Zorro colorado (*Pseudalopex culpaeus*). El hábitat para los mamíferos se encuentra sometido a las presiones por introducción de ganado doméstico y actividad ovina excesiva.

8. CARACTERIZACIÓN HIDROTOPOGRÁFICA

Los datos hidrotopográficos constituyen el sistema de representación fluvial que captura la diversidad de hábitats hidráulicos existentes en el tramo que será detraído durante el llenado. Las mediciones que nos ha facilitado la UTE han sido realizadas por la consultora argentina de agrimensura Del Bianco y Asociados S.A durante OCT-DIC2016, la cual tiene experiencia en el sector.

8.1. Sistema de Representación

Se utiliza un esquema de representación exhaustivo del tramo comprendido entre cierre de presa JC y la desembocadura de longitud 152.640 km mediante un conjunto de 109 perfiles transversales batimétricos. Corresponde a la extensión acumulada de los segmentos SEG3–SEG4–SEG5. El espaciamiento medio entre perfiles transversales – denominados Secciones Transversales (ST) en PHABSIM (*Cross-section*) – es 1413 metros, variando entre el máximo de 2010 m en sectores muy uniformes y el mínimo de 380 m en los más irregulares. Todas las secciones están referenciadas topográficamente en 3D. El desnivel entre las secciones extremas siguiendo el fondo de lecho es 69.6 metros, lo que representa una pendiente promedio del 0.459 ‰. En cada una de las secciones se midió la cota de agua (pelo de agua).

Tabla 8. Descripción hidromorfológica promedio de cada uno de los tres segmentos representativos y del tramo completo, así como condiciones hidráulicas en el momento de la medición.

Parámetro	SEG-3	SEG-4	SEG-5	TRAMO COMPLETO
Delimitación (Long/Latitud)	50°11'12" 70°07'08"	49°58'28" 68°49'13"	49°56'10" 68°34'24"	Sitio presa JC → Desembocad. RSC
Delimitación (ST)	ST1–ST74	ST75–ST96	S97–ST109	ST1 - ST109
Número de Secciones Transversales	75	22	13	109
Longitud (km)	112.19	22.08	18.38	152.64
Representatividad por ST	1.33% 1.50 km	4.55% 1.00 km	7.69% 1.41 km	0.92% 1.40 km
Pendiente media (‰)	0.612	0.166	≈ 0	0.459
Anchura media (m)	148	366	2385	470
Profundidad media (m)	2.2	2.26	5.60	2.67
Velocidad media (m/s)	1.0	0.60	0.04	0.80
Puntos por sección – todos	60	180	210	86
Puntos por sección – mojados (y %)	25(42%)	57(32%)	100 (48%)	50 (58%)
Espaciamiento entre puntos – todos (m)	4.8	6.1	12.0	5.9
Espaciamiento entre puntos mojados (m)	6.9	6.2	13.5	7.6
Área hábitat Poza (%) y ST	40	60 (12ST)	100	51.4
Área Tabla (%)	46	32 (8ST)	0	36.9
Área Rápido (%)	14	8 (2ST)	0	11.6
Nº Froude	0.30	0.17	≈ 0	0.21

8.2. Topobatimetría

Los perfiles batimétricos fueron realizados mediante ecosonda digital ODOM-HYDROTAC con una precisión del equipo <math> <1 \text{ cm} \pm 0.1\% </math> de la profundidad. El posicionamiento de los puntos en el cauce y la topografía de los puntos en las márgenes se obtuvo mediante sistema global de navegación por satélite (GNSS) en tiempo real (RTK). Teniendo en cuenta el efecto del oleaje, el error máximo salvo situaciones excepcionales de mucho viento es: en la profundidad 10 cm, y en la cota de agua 5 cm.

La geometría del cauce se capturó mediante 86 puntos por sección como promedio (mínimo 32 y máximo 339), con un espaciamiento medio de 5.9 m (de 2 m a 19 m dependiendo de la anchura). El total de puntos del cauce que estaban mojados durante la medición ronda el 58% de la geometría completa.

8.3. Hidrometría

La cota de agua (pelo) en cada sección se fijó a partir de mediciones en ambas orillas y en el cauce.

El caudal circulante durante la medición de cada una de las secciones fue calculado a partir de la lectura limnométrica en la estación Charles Furh de ese día, aplicando la ecuación de calibración conocida:

- ◆ Las ST del SEG-3 se midieron a lo largo de octubre con caudales consistentes en torno a los 303 m³/s.
- ◆ El SEG-4 se levantó con caudales rondando los 340 m³/s en oct-nov.
- ◆ El SEG-5 fue el último en medirse, y los caudales de noviembre subieron algo hasta 450 m³/s.

El levantamiento no incluye medición de velocidad ni aforo líquido.

- ◆ Actualmente se están adelantando mediciones hidrométricas complementarias en seis secciones transversales distribuidas a lo largo del tramo detraído, con objeto de recabar información para mejorar la calibración del modelo hidráulico. Se trata de distribución horizontal de velocidad mediante perfilador ACDP, pendientes hidráulicas, y muestreo del material del lecho.

8.4. Material del lecho

La UTE ha realizado un muestreo del material del lecho de un conjunto de 15 puntos distribuidos a todo lo largo del tramo entre el sitio de presa JC y el sector de estuario (octubre-diciembre 2016). En cada punto se realizaron 3-4 muestras, y en las de fondo se utilizó una draga Van Veen. A partir de los análisis granulométricos facilitados por la UTE hemos determinado dos diámetros característicos interesantes para el modelaje hidráulico: d50 (hábitat) y d84 (sedimentación). Estos datos se organizan por sectores en el sentido (descendente) de la corriente en la Tabla 9. Las distancias se refieren a la sección ubicada en la desembocadura (ST109); los valores negativos son aguas abajo de dicho punto, en el extenso estuario.

Para el modelaje del hábitat PHABSIM el material del lecho se caracteriza mediante un sistema con ocho clases granulométricas: Limo (<0,06mm), Arena (0.06-2mm), Gravilla (2-8mm), Grava (8-64mm), Cantos (64-264mm), Bloques (264-1024mm), Grandes Bloques (>1024mm), y Roca. La última columna tipifica el sustrato dominante de cada punto.

Tabla 9. Resultados del análisis del material sedimentario del RSC entre sitio de obra JC y el estuario. De cada uno de los 15 puntos de muestreo se indica: coordenadas, distancia a la desembocadura (ST109), dos diámetros característicos de la granulometría D₅₀ y D₈₄, y la tipificación general del sustrato como hábitat.

Sector	Punto	Coordenadas	Distancia (km)	D ₅₀ (mm)	D ₈₄ (mm)	Sustrato - hábitat -
SEG-3	1	50°10'40.15"S-69°55'54.35"O	135.0	95.9	127.6	Canto
	2	50°11'37.30"S-70°5'10.23"O	133.0	85.9	103.2	Canto
	3	50°12'28.14"S-69°49'3.65"O	122.0	66.2	84.3	Canto
	4	50°5'32.02"S-69°40'19.28"O	98.9	51.0	80.0	Grava
	5	50°6'1.66"S-69°27'33.86"O	78.7	47.5	76.6	Grava
	6	50°7'57.29"S-69°11'22.72"O	55.1	40.5	69.7	Grava
	7	50°7'57.29"S-69°11'22.72"O	55.1	35.5	64.8	Grava
SEG-4	8	50°0'13.50"S - 68°56'26.78" O	29.0	19.7	51.0	Grava
SEG-5	9	49°58'29.28"S-68°46'7.44"O	13.6	0.14	0.19	Arena
	10	49°59'4.56"S-68°41'38.22"O	8.3	0.18	0.22	Arena
	11	49°58'45.12"S-68°38'2.28"O	4.1	0.11	0.14	Arena
	12	49°57'28.20"S-68°35'11.70"O	0.0	0.14	0.17	Arena
Estuario	13	49°57'42.72"S-68°32'17.46"O	- 3.5	0.14	0.19	Arena
	14	50°0'8.52"S-68°30'6.06"O	- 8.6	0.22	0.30	Arena
Costa	15	50°10'17.88"S-68°13'42.48"O	- 27.2	0.15	0.22	Arena

9. MODELO PHABSIM

Al menos cinco componentes principales del ecosistema fluvial condicionan su productividad biológica (Karr y Dudley, 1981): el régimen de caudal, la estructura del hábitat físico, la calidad físico-química del agua, la entrada de energía, y las interacciones bióticas. La compleja relación entre estos componentes determina la productividad primaria, la productividad secundaria, y finalmente el estado ecológico.

- ✓ La premisa básica de la aplicación PHABSIM en el Santa Cruz es que la disponibilidad de hábitat físico es el principal condicionante de la actividad vital y de la dinámica poblacional de los organismos objetivo. El factor calidad de agua no se considera limitante, debido a la excelente condición que refleja la línea base. Sin pretender obviar algunos factores que pueden influir en la biocenosis como son la disponibilidad de alimento-nutrientes (Eiseng *et al.*, 1990), las competencias inter e intra-específica (Hegge *et al.*, 1993), o la predación (Gotceitas y Godin, 1991), cuantificar explícitamente los efectos concretos del CE sobre ellos queda fuera del alcance del ECE. Por una parte, el monitoreo espacio-temporal amplio de los parámetros que rigen dichos procesos en condiciones naturales, y que sería necesario para calibrar los modelos, es inviable ahora. Por otra parte, tampoco el monitoreo de las poblaciones durante y/o después de la corta operación de llenado permitiría esclarecer el efecto real del CE en rigor, debido al tiempo largo en que se desarrollan estos procesos.
- ✓ Se asume que los organismos objetivo reaccionan directamente ante cambios en las siguientes tres variables determinantes del hábitat: profundidad, velocidad, y sustrato.
- ✓ El hábitat físico es una condición necesaria pero no suficiente para la supervivencia y la producción para los organismos acuáticos (Milhous, 1999). No obstante, pensamos que la simulación PHABSIM del Santa Cruz es una herramienta indicadora práctica de la integridad biológica en un sentido general.

La evaluación espacial del hábitat PHABSIM en síntesis combina el resultado de la simulación hidráulica de profundidad, velocidad y sustrato en las secciones representativas con los criterios de preferencia biológica de los organismos objetivo, para generar unas relaciones funcionales entre el Caudal (Q) y un Índice de Hábitat (IH). El procedimiento se esquematiza en la Figura 15. El sistema de caracterización del cauce resuelve flujos hidráulicos 1D-pseudo 2D de tipo permanente y variado a lo largo de un conjunto de secciones, las cuales se conciben a efectos de cómputo como compuestas de múltiples subsecciones o “celdas” que describen mediante volúmenes individuales la heterogeneidad del cauce (Fig.15a). Las funciones de preferencia biológica de hábitat (Fig.15.b) expresan la idoneidad de cada una de las variables de hábitat entre cero (inadecuado) y uno (optimo) para cada organismo objetivo. El Índice de Hábitat (IH) de una celda “i” (IH_i) pondera las idoneidades de las diferentes variables que constitutivas del hábitat (velocidad-v; profundidad-p; sustrato-s) mediante una expresión con significación biológica, que de forma genérica es: $IH_i = I_v \cdot a + I_p \cdot b + I_s \cdot c$ (Fig.15c). Los índices de idoneidad de velocidad (I_v), profundidad (I_p) y sustrato (I_s) se ponderan con el criterio biológico conveniente para el objetivo del modelaje ($a+b+c=1$).

La extensión del este algoritmo a todo el dominio del cauce produce la distribución espacial del binomio calidad-cantidad de hábitat útil durante un caudal concreto. Integrandos las contribuciones de hábitat en todas las celdas mojadas durante cada uno de los caudales incrementales dentro del intervalo de análisis se obtienen las conocidas relaciones entre el Caudal y un Índice de Hábitat (Q-IH, Fig.15.d). El Índice de hábitat más empleado es el Área Ponderada Útil APU (WUA - *Weighted Usable Area*), el cual consiste en una ponderación de la idoneidad de cada celda por su área (espejo de agua). Existen otras agregaciones suplementarias que se realizan con el perímetro o con el volumen. Los patrones de estas funciones reflejan la sensibilidad de las especies al cambio hidrológico, y permiten evaluar las respuestas esperadas en la oferta de su hábitat útil como consecuencia de escenarios de reducción de caudal definidos.

A partir de los resultados PHABSIM, la metodología IFIM evalúa la disponibilidad de hábitat de modo temporal. Con este planteamiento ecohidrológico calcula la respuesta de cada una de las alternativas de manejo de caudal ecológico (reglas de llenado de los embalses), en términos de hábitat global en el tramo (Fig.15e). Cada valor (a) de una serie temporal de caudal (izquierda) se vincula con su ordenada respectiva de la función Q-IH, estimando así el efecto ecológico en la serie temporal de hábitat (derecha).

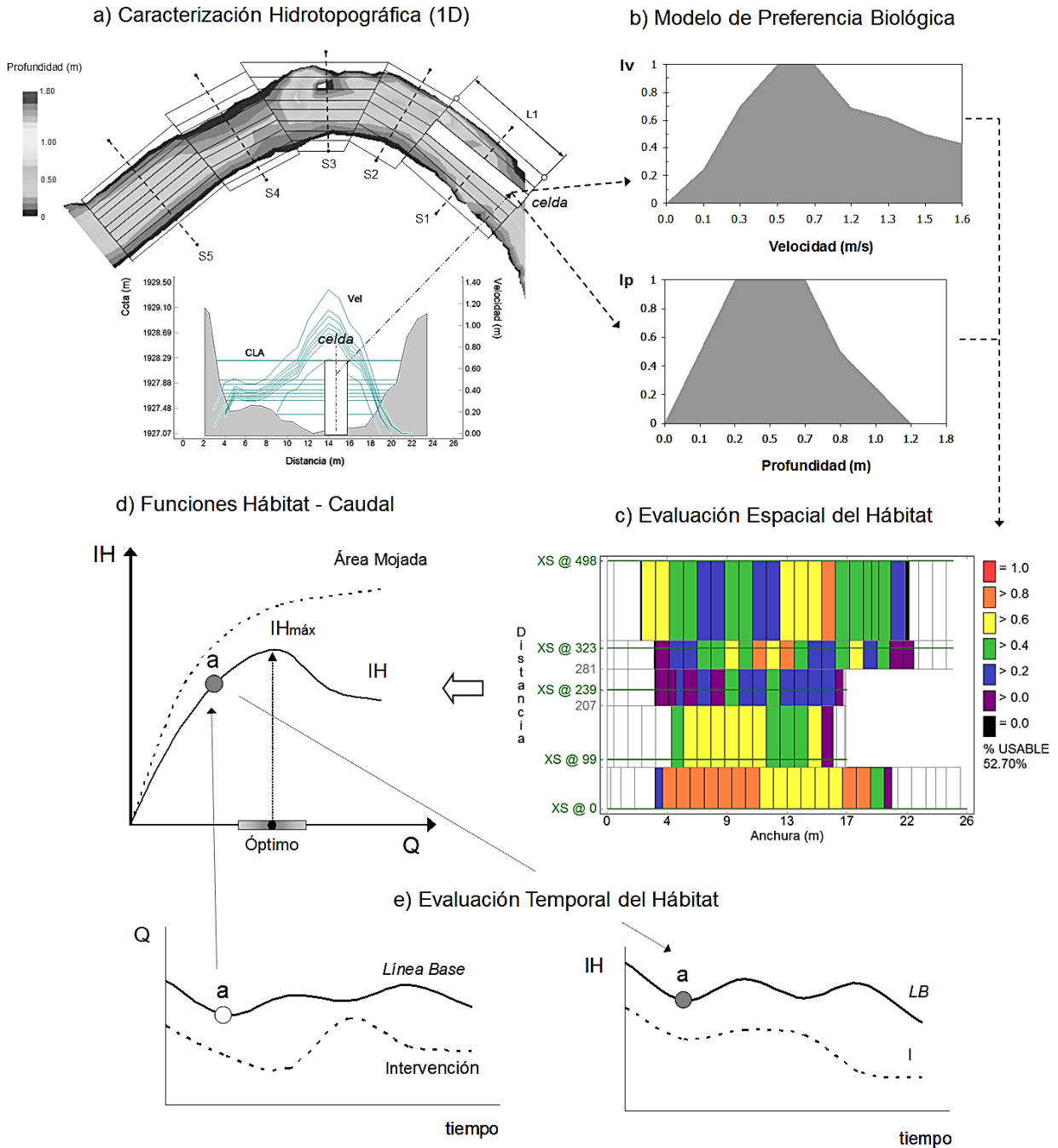


Figura 15. Esquema procedimental de la evaluación espacio-temporal del hábitat acuático PHABSIM-IFIM. Los campos de profundidad y velocidad (a) se combinan con las funciones de preferencia biológica (b), para generar el campo de idoneidad de hábitat (c). La agregación del hábitat en todo el dominio fluvial produce la función Caudal (Q) - Índice de Hábitat (IH), cuya zona de optimización orienta sobre el rango de caudal ecológico óptimo (d). El análisis temporal del hábitat permite evaluar diferentes escenarios de CE incremental, comparando la referencia de línea base con cada régimen alterado (e). Cada valor de caudal de una alternativa (izquierda - "a") se vincula con su IH respectivo, generando la serie de hábitat (derecha).

El modelaje PHABSIM que hemos diseñado para el Aprovechamiento Hidroeléctrico del RSC es un proceso estructurado que consta de cuatro fases, en las cuales se generan los datos hidráulicos y biológicos de entrada, y se combinan de un modo conveniente enfocado a evaluar el efecto del CE mínimo durante el período muy transitorio de llenado (unos pocos meses). La siguiente Figura 16 esquematiza el proceso con las siguientes fases: [1] Caracterización del cauce y Determinación de los Criterios de preferencia de hábitat; [2] modelaje hidráulico de profundidad (1D) y de velocidad (pseudo-2D); [3] análisis espacial de la conectividad hidráulica en el cauce para los peces; y [4] obtención de las funciones Caudal-Hábitat para el conjunto de organismos objetivo (y procesos).

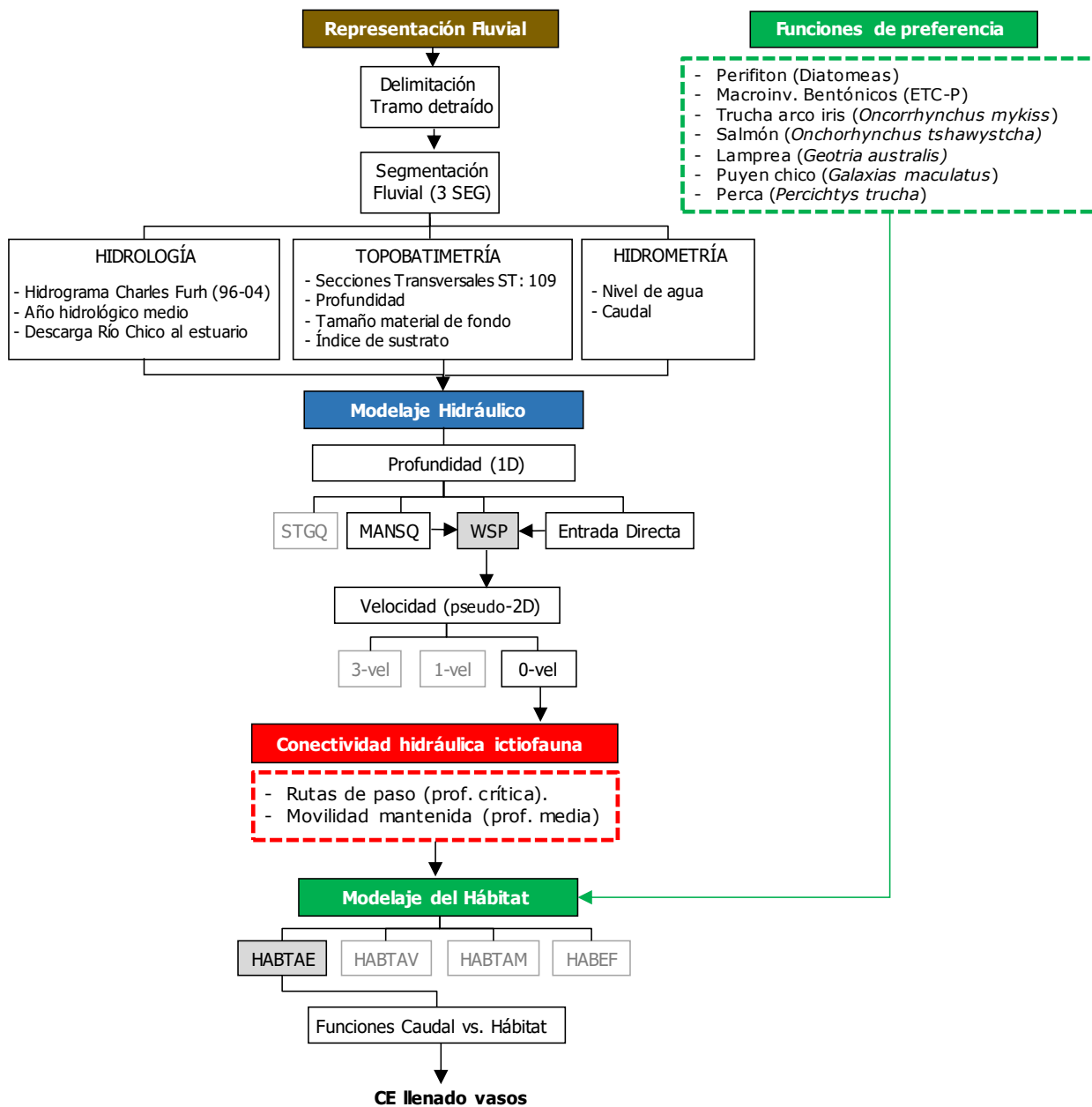


Figura 16. Configuración del modelaje PHABSIM para el Proyecto Aprovechamiento Hidroeléctrico del RSC.

10. MODELAJE HIDRÁULICO

El protocolo de caracterización fluvial posibilita la modelación del tramo para régimen permanente variado en 1D. Aplicaremos para ello el modelo de PHABSIM denominado WSP (*Water Surface Profile*), el cual resuelve el método conocido del “paso estándar”. La velocidad se modelará en cada sección transversal aplicando un esquema particularizado del régimen permanente uniforme al conjunto de celdas (franjas) asociadas a los nodos de la batimetría (pseudo-2D)

La modelación hidráulica y del hábitat ha sido ejecutada con el software RHABSIM 3.0 en español *Riverine Habitat Simulation Software* (Diez Hernández y Payne, 2004), que informatiza de modo fiel los algoritmos originales del modelo PHABSIM-IFIM incorporando algunos métodos complementarios prácticos.

Profundidad

Para calibrar el modelo WSP se deducen los coeficientes de rugosidad de Manning de todas las secciones, aplicando el método del paso estándar a la inversa, a partir del perfil hidráulico medido en campo y el caudal circulante en ese momento (Figura 17). Como esquema de cálculo optamos por resolver el subtramo entre dos secciones consecutivas, que ha resultado más estable. La pendiente de fricción representativa entre dos secciones se ha calculado dependiendo de la curva de remanso particular: media armónica (curva “S”) o media aritmética (curva “M”).

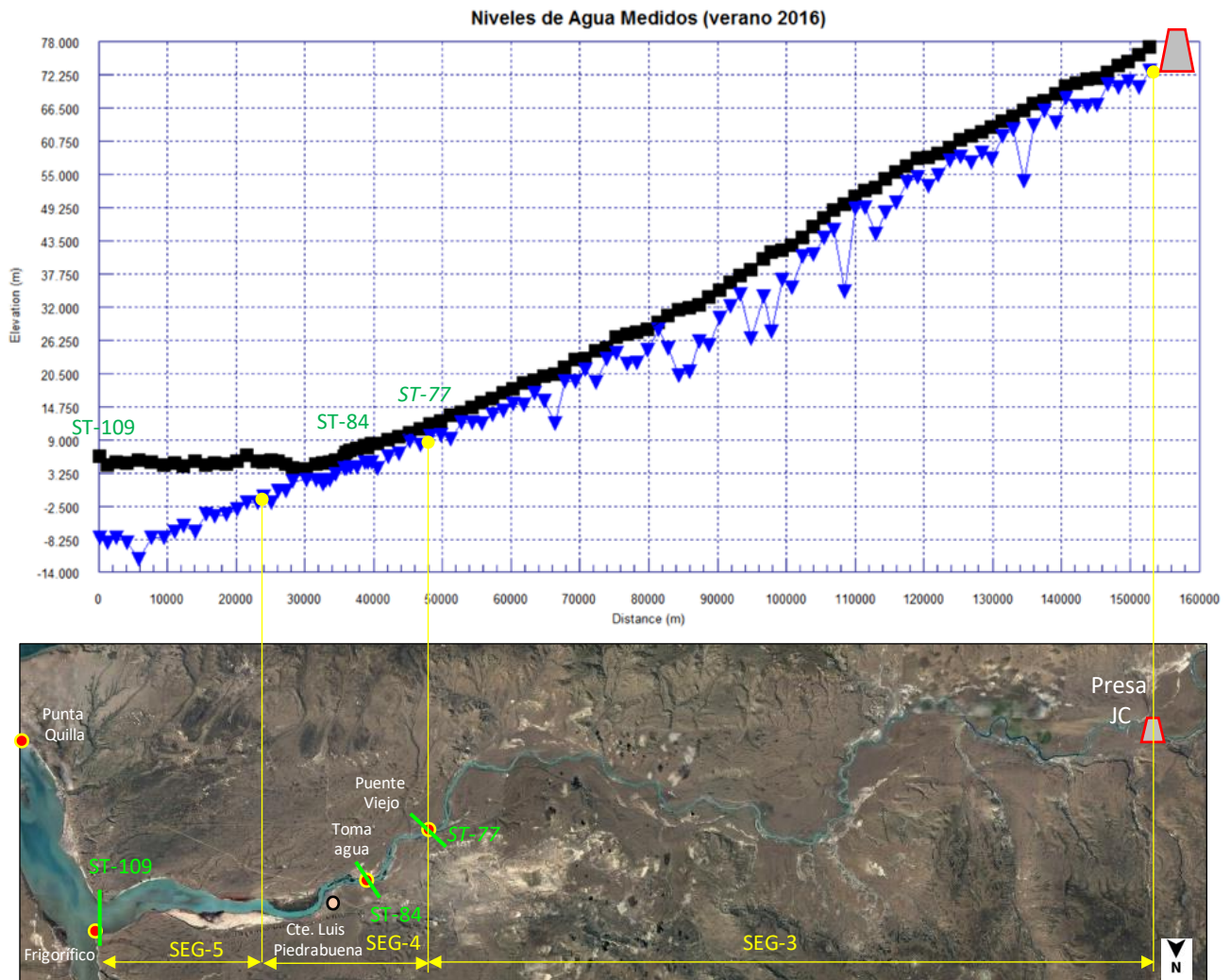


Figura 17. Perfil hidráulico medido en campo (invierno 2016) en un conjunto de 109 secciones transversales. Se señalan con círculos rojos los puntos con escalas instaladas por la UTE para el estudio de mareas.

El balance de energía del modelo del paso estándar entre dos secciones consecutivas resuelve:

$$Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \Delta E$$

Z = cota mínima del lecho en la sección - thalweg (m).

Y = profundidad máxima en la sección (m).

α = coeficiente de energía (adim).

v = velocidad media (m/s).

ΔE = pérdida de energía (m). Incluye las pérdidas continua y singular (estrechamiento/ensanch.).

$$\Delta E = L \cdot \bar{S}_e + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right|$$

L = distancia (m).

C = coeficiente de contracción/expansión (adimensional).

\bar{S}_e = pendiente de fricción representativa (m/m). Se obtiene a partir de las pendientes de energía individuales (S_e), calculadas mediante la fórmula de Manning. Se resuelve a partir del caudal (Q), el coeficiente de rugosidad de Manning (n), el radio hidráulico (Rh), y el área (S).

$$\bar{S}_e = \left(\frac{Q \cdot n}{Rh^{2/3} \cdot S} \right)^2$$

Condición de Contorno

- La sección transversal localizada en la confluencia del RSC con el Río Chico (ST109), en el sitio antiguo Frigorífico Armour impone las condiciones de contorno del modelaje, las cuales están determinadas por el nivel de marea durante el momento de cálculo.
- La única estación de marea incluida en la base de datos del Servicio de Hidrografía Naval (Tablas de Marea) es Punta Quilla, localizada en el sector inferior del estuario. La UTE en octubre 2016 instaló escalas de nivel de agua en un conjunto de cinco (5) puntos dentro del RSC distribuidos en sus últimos 40 km de desembocadura: la superior en el extremo del SEG-3 en Puente Viejo (ST77), y la inferior en la confluencia estricta en sitio Frigorífico (ST109).
- La UTE dentro del estudio que desarrolla sobre "Influencia de la marea sobre el RSC" ha determinado el Plano de Reducción de la Carta Náutica de Punta Quilla en la cota IGN=-6.038 m. El objetivo del estudio es caracterizar el proceso de mareas (niveles y tiempos) en el estuario y desembocadura.
- Analizando las predicciones de las Pleamares y Bajamares en la estación Punta Quilla para en trimestre más caudaloso enero-marzo 2017 del Servicio de Hidrografía Naval (www.hidro.gob.ar), consideramos en este primer avance las cotas medias de referencia en la ST109 (Tabla 10). Se ha determinado para cada nivel de marea la zona de influencia en el RSC, las cuales se describen en la tabla.

Tabla 10. Cotas de marea estimadas en la confluencia - ST109 - Frigorífico para el trimestre enero-marzo 2017, a partir de las tablas de marea para Punta Quilla producidas por el Servicio de Hidrografía Naval (www.hidro.gob.ar).

Marea	Nivel	Cota IGN (m)	Zona de influencia de marea en el RSC		
			Sitio	Longitud (km)	Sección
Pleamar	Máxima	7.232		44.9 km	ST 72
	Media	5.192	Sitio Puente Viejo	39.0 km	ST 77
Bajamar	Media	- 2.484	Curva aguas abajo Cte. Piedrabuena	21.5 km	ST 95
	Mínima	- 5.108		15.4 km	ST 99

Velocidad

Cada sección transversal se concibe compuesta de múltiples celdas computacionales, en cada una de las cuales se resuelve un esquema de flujo que se asume 1D uniforme mediante las ecuaciones de Manning y de Continuidad combinadas (Chow, 1959).

$$Q = \sum_1^n Q_i = \sum_1^n \left(\frac{1}{n_i} \cdot h_i^{2/3} \cdot A_i \right) \sqrt{S_o}$$

- n_i = coeficiente de rugosidad de Manning de la celda ($m^{1/6}$)
- h_i = profundidad media de la celda (m)
- A_i = área mojada de la celda (m^2)
- S_o = pendiente hidráulica (m/m)

En cada sección hemos deducido una distribución horizontal de velocidad a partir del caudal y la cota de agua medidos en campo, como el de la Figura 18 en un perfil en Isla Pavón muy próximo al puente. El modelo efectúa un balance de masas con el que determina la velocidad en una celda en función de su profundidad, asumiendo una rugosidad constante en el perímetro del cauce, de modo que el flujo más rápido ocurre en la zona más profunda. Para ríos muy grandes con cauce de material homogéneo con el RSC, esta premisa es asumible.

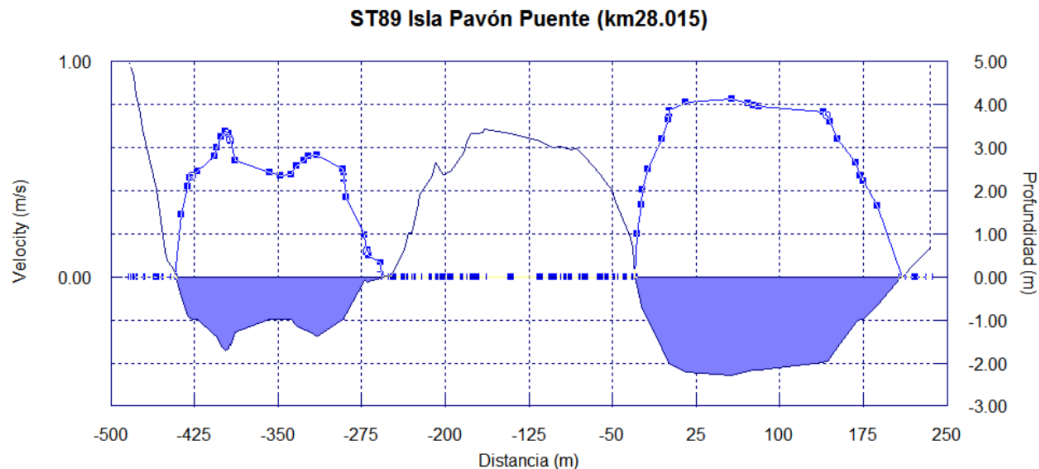


Figura 23. Simulación de velocidad en la ST inferior del Tramo 1. Abajo el patrón de distribución horizontal de rugosidad. Arriba la distribución horizontal de velocidad, calculada mediante el modelo de Manning particularizado (pseud-2D).

11. FUNCIONES DE PREFERENCIA DE HÁBITAT

Los factores abióticos desarrollan roles ecológicos conocidos para los organismos acuáticos, determinando la condición del hábitat en su entorno físico. Las variables hidráulicas clave en esta aplicación IFIM son las tres habituales: profundidad, velocidad, y sustrato.

- La velocidad origina la fuerza tractiva que experimenta la biota, y que influye en sus adaptaciones anatómicas y conductuales (Poff y Ward, 1989). Los gradientes de velocidad y de rugosidad son factores fundamentales que controlan la distribución local de la biota en un cauce (Goring y Biggs, 1996). Existe evidencia (Allan, 1995) de los efectos de la velocidad en: 1) el tamaño y concentración de los sólidos en suspensión y en la granulometría del lecho; 2) la distribución de gases (O_2 y CO_2) y de los nutrientes (detritus e insectos); y 3) los procesos de respiración y reproducción de algunas especies.
- La profundidad determina el espacio físico en el río utilizable por la biocenosis, y puede limitar la conectividad para los organismos móviles (Jowett, 1992). Otros procesos influidos por esta variable son la oxigenación mediante la turbulencia y la temperatura (McBride *et al.*, 1998), así como la fotosíntesis (Davies-Colley y Smith, 2001). Adicionalmente, la profundidad está ligada a la anchura superficial, variable que controla el área total disponible para los organismos bentónicos.
- El tamaño y composición del material del lecho tiene un papel primordial en la composición del ecosistema (De Nicola *et al.*, 1990). Las características del fondo condicionan en gran medida la actividad de los peces, ya que determinan sus estrategias bentónicas y el estado de la fauna macroinvertebrada, perifiton, y vegetación macrofítica.

Debe considerarse que existen otros atributos secundarios que jugar algún papel en la ecología del RSC cuando circule el CE, como son la temperatura del agua, turbidez, y luminosidad. También a mayor escala la calidad de agua influye en la idoneidad del macro-hábitat: materia orgánica, material suspendido, iones disueltos, nutrientes disueltos, gases, pH, y contaminantes (Davies-Colley *et al.*, 1993). No obstante, consideramos en principio que, por la excelente calidad de agua del río y por el carácter muy transitorio que tiene el CE en este caso, es de esperar que los potenciales efectos de cambios en la calidad-cantidad de hábitat que puedan ocurrir sean tolerados por el ecosistema. En cualquier caso, la evaluación de los aspectos anteriores está fuera del alcance de este estudio debido a dos hechos: (1) la capacidad de carga del sistema es desconocida, y (2) no existen curvas de preferencia de hábitat para esas variables.

11.1. Macroinvertebrados

Son un componente importante del ecosistema debido a que transforman el material alóctono poniéndolo a disposición de los niveles tróficos más altos, además de servir de alimento directo a múltiples organismos (Orth y Maughan, 1983). Son menos móviles que los peces, y por lo tanto más sensibles a cambios del caudal. Sus rangos de tolerancia son más estrechos que en los peces (Gore y Judy, 1981). Los órdenes indicadores del buen estado ecológico son los EPT – Efemerópteros, Tricópteros, y Plecópteros -, los cuales componen además la dieta de los peces del sector.

En ausencia de unas curvas de preferencia locales del tipo micro-hábitat que es necesario, juzgamos que por el carácter muy generalista de estos organismos resultan aplicables las genéricas de Gore *et al.* (2001) para los EPT. El estudio de Gore *et al.* (2001) recopila datos de diez años pertenecientes a unos 1200 ríos de EEUU, a partir de los cuales determina las curvas de preferencia de velocidad, profundidad, y sustrato mostradas en la Figura 24 (pg.sig.). La preferencia de los Coleópteros la representamos mediante las funciones desarrolladas por Jowett *et al.* (1991) para cuatro ríos de gravas neozelandeses a partir de un conjunto amplio de 334 muestras.

11.2. Perifiton

Juega un papel fundamental en la dinámica del ecosistema (Wetzel, 1979; Moreno, 1989) en tres facetas vitales: a) produce el 70%-80% de los metabolitos orgánicos; b) posee una alta tasa alta de reciclaje de nutrientes, dado que en él muchos organismos encuentran abrigo y otros alimentos (peces); y c) es un buen indicador del estado ecológico.

Para anticipar la respuesta de este organismo sombrilla utilizaremos las curvas de idoneidad de las algas diatomeas de la Figura 25 desarrolladas por Jowett *et al.* (1991). Una aproximación más simplista es la del trabajo de la Universidad de Concepción (EULA, 2000) en un río chileno, que determina a partir de unas 70 muestras las relaciones entre la biomasa de fitobentos y las variables velocidad, profundidad, y sustrato. Las funciones resultantes son equiparables a las de las algas filamentosas largas de Jowett *et al.* (1991) en cuanto a su forma y los rangos de idoneidades máximas y mínimas.

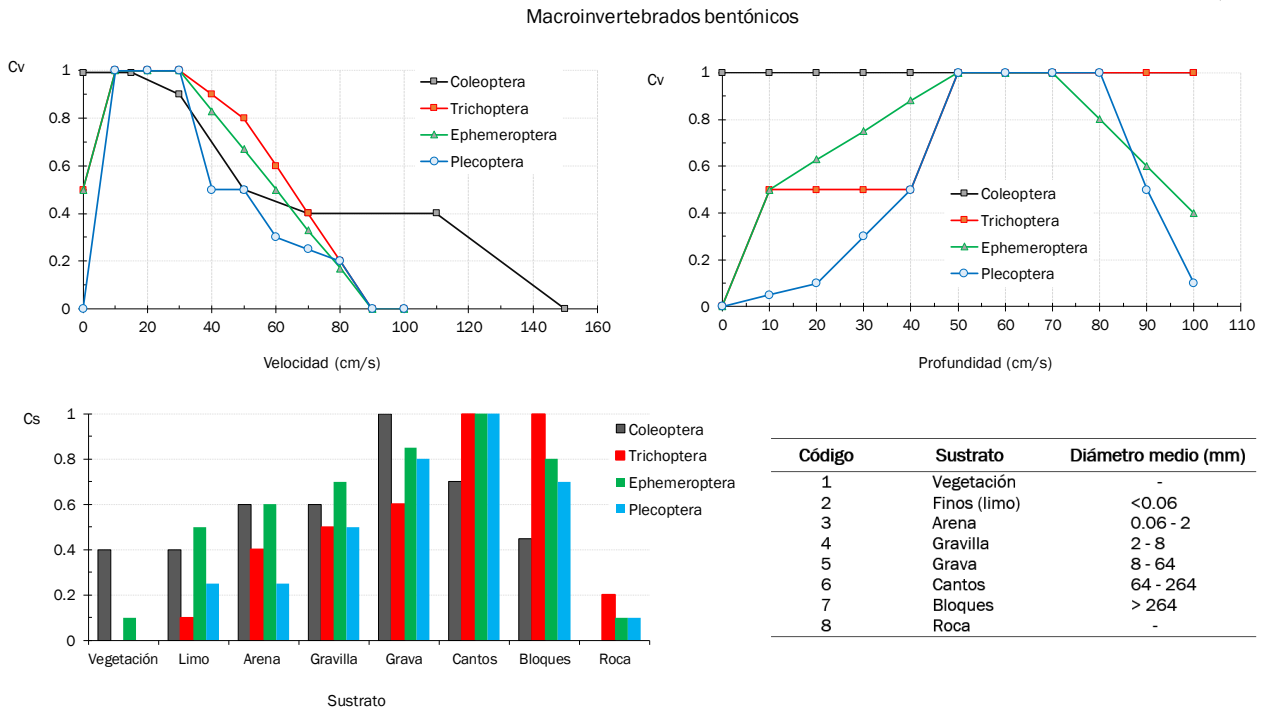


Figura 24. Curvas de preferencia de macroinvertebrados benthónicos para las variables profundidad, velocidad, y sustrato. Las de los EPT (Efemerópteros, Plecópteros y Tricópteros) fueron desarrolladas por Gore *et al.* (2001) a partir de unas 1200 muestras, y las de los Coleópteros por Jowett *et al.* (1991) con más de 300 muestras.

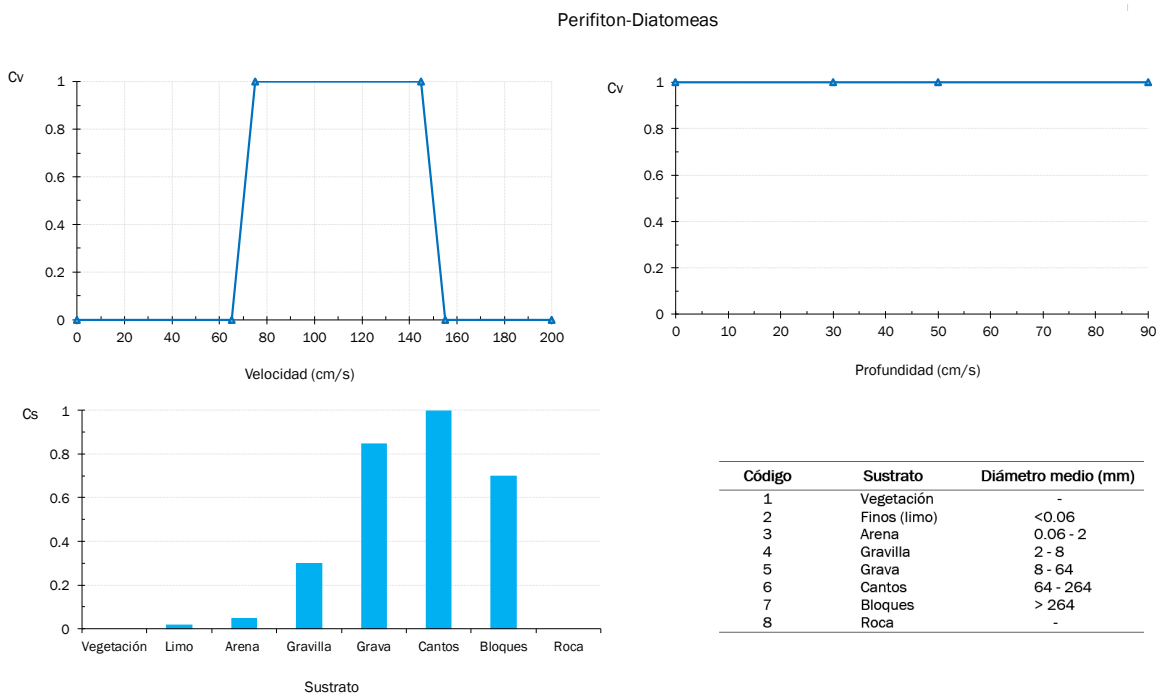


Figura 25. Curvas de preferencia para perifiton: diatomeas (Jowett *et al.*, 1991).

11.3. Peces nativos

Para la Lamprea y para el Puyen Chico hemos adoptado las funciones de preferencia desarrolladas en ríos australes, aunque fuera de Argentina, pero que pensamos que son suficientemente solventes para evaluar tendencias generales (Figura 26). Se trata de las curvas de preferencia Tipo III (estricta) obtenidas en Nueva Zelanda para la misma especie de lamprea (*Geotria australis*) por Jellyman y Glova (2002), y para la misma especie de puyén (*Galaxias maculatus*) por Jowett (2002).

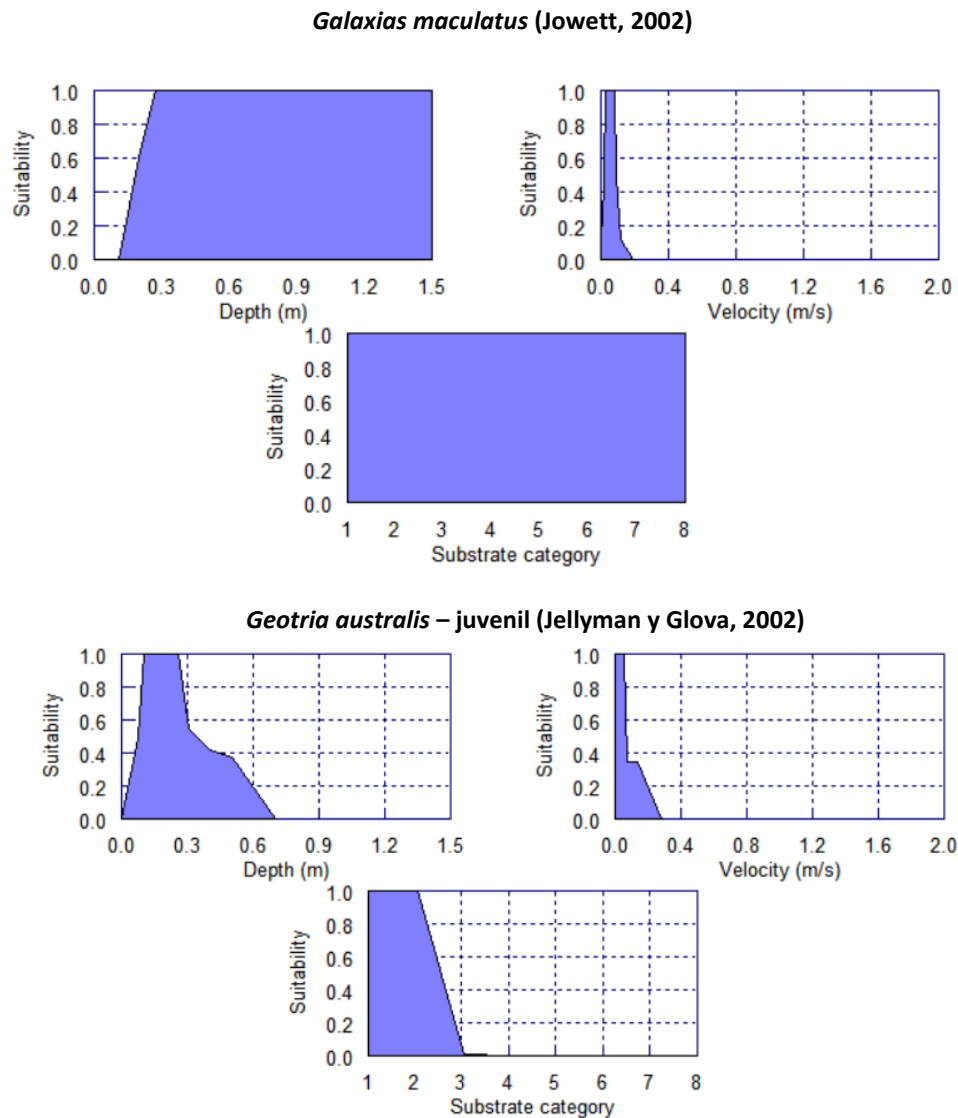


Figura 26. Curvas preferencia para la lamprea (Jellyman y Glova, 2002), y para el puyen chico (Jowett, 2002).

11.4. Salmónidos

- La trucha arco iris es uno de los primeros peces para los que se obtuvieron sus curvas de preferencia en EEUU. Las primeras funciones de Bovee (1978) para los estadios adulto, alevín, y juvenil en la Figura 27 han sido empleadas de modo extensivo en las aplicaciones IFIM en el ámbito internacional, y consideramos que también son aptas para predecir los rasgos generales de la respuesta en el RSC. Los criterios para el desove son los de Shirvell y Dungey (1983).
- Para el salmón chinook se ensayarán las curvas desarrolladas para el adulto en migración (Raleigh et al., 1986) y para el juvenil (Washington Fish and Wildlife) de la Figura 27.

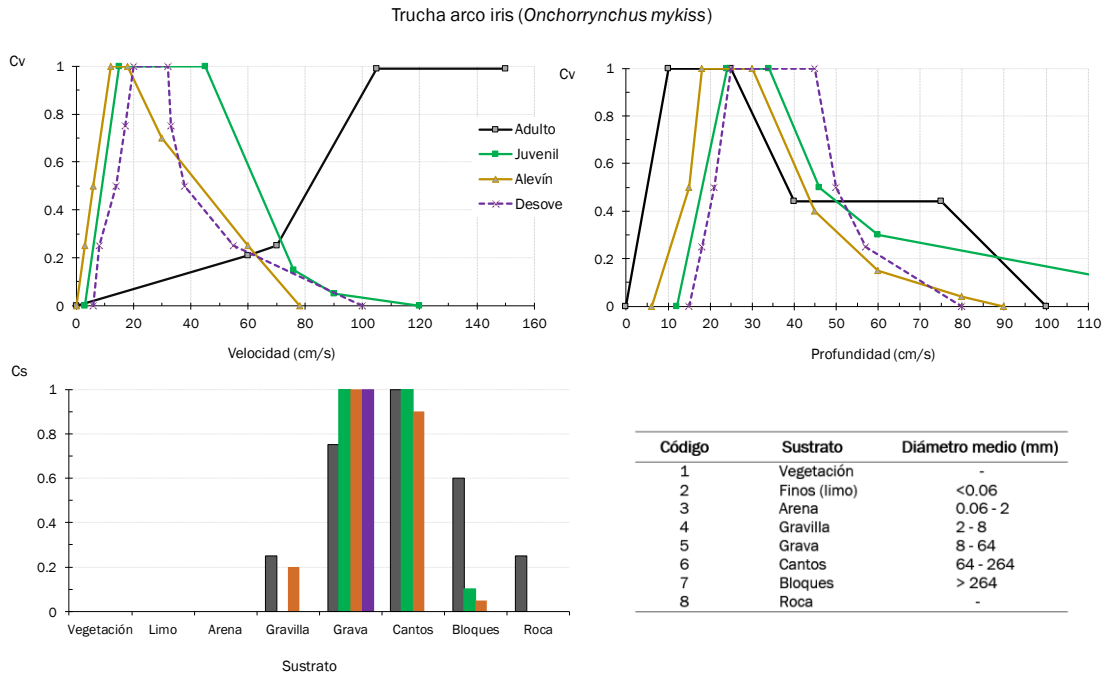


Figura 26. Curvas de idoneidad de hábitat para la trucha arcoiris (*Onchorynchus mykiss*). Las de los estadios adulto, juvenil, y alevín son las primeras de Bovee (1978). Las de la freza (desove) son las de Shirvell y Dungey (1983).

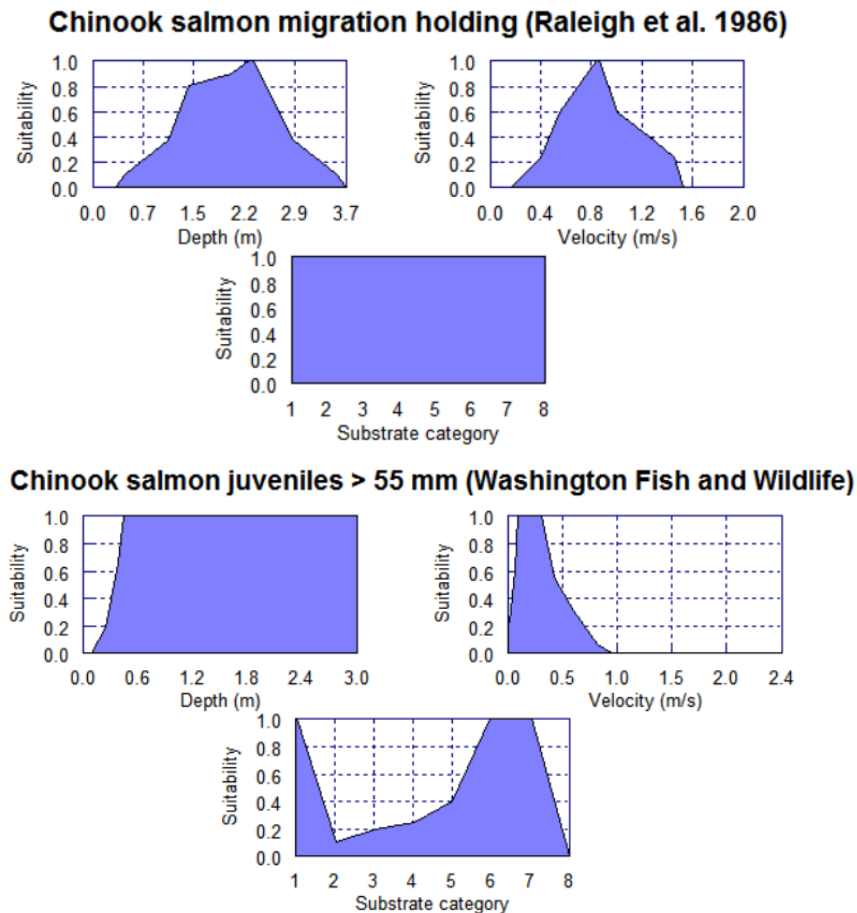


Figura 26. Curvas preferencia para el salmón chinook: adulto migración ascendente y juveniles descendentes.

12. EVALUACIÓN DEL HÁBITAT

El índice de hábitat utilizado generalmente en las aplicaciones PHABSIM es el Área Ponderada Útil o “Weighted Usable Area”-WUA, el cual también empleamos aquí. La premisa del WUA es que la suma de las áreas de las celdas (A_i) ponderadas por los respectivos índices de hábitat (IH_i) es un indicador de las condiciones globales del hábitat en un tramo fluvial durante un caudal concreto. El WUA se expresa como metros cuadrados de hábitat utilizable en una longitud fluvial unitaria de 1 m (m^2/m).

$$WUA = \sum A_i \cdot IH_i$$

La configuración de PHABSIM se ha particularizado para su aplicación en el RSC según la Tabla 11.

Tabla 11. Opciones PHABSIM (IOC) configuradas.

Método	Configuración	Opción
Modelo de hábitat		HABTAE
Índice de hábitat	WUA (m^2/m)	IOC01
Agregación idoneidades	Multiplicativa	IOC09
Anchura mínima contigua	No	IOC11
Índice de hábitat mínimo	No	IOC19
Resolución hábitat en celda	Interpolado	-
Velocidad adyacente	No	IOCV5
Hábitat de orilla	No	IOC22
Tipo de velocidad en celda	Media	IOC14
Exploración vertical en celda	Toda	IOC16
Variable hidráulica alternativa	no	IOC17

- ☛ De modo muy preliminar, y con el propósito de ilustrar el tipo de algunos de los resultados que serán generados e interpretados en el ECE final, presentamos a continuación la simulación Q-WUA de todo el sector detraído JC→Desembocadura para los organismos objetivo anteriores.
- ☛ Se trata de unos resultados aproximados, de tendencias muy generales.
- ☛ Serán perfeccionados con mejoras del modelaje hidráulico y de las funciones de preferencia que se realizarán en el ECE final.

12.1. Funciones Caudal - Habitat

La Figura 27 presenta los resultados principales.

- ✓ Arriba el conjunto de las curvas hábitat-caudal, donde se observa que los patrones son en general bastante consistentes, creciendo hasta un entorno de caudal a partir del cual las funciones se estabilizan (maximizan). Es claro que en general el RSC ofrece la mayor cantidad de hábitat disponible para el puyen común (función superior). También el río pone a disposición del salmón y de los macroinvertebrados una cantidad de hábitat destacada en relación al conjunto de organismos objetivo. Existe una tendencia bastante común a estabilizarse el máximo de hábitat utilizable en el entorno de los 400 m^3/s .
- ✓ En el centro las respuestas para el puyen y la lamprea juvenil. En cuanto al puyen la pendiente de la curva tiene pendiente fuerte hasta unos 300 m^3/s , punto a partir del cual el hábitat aumenta en menor proporción. En cuanto a la lamprea juvenil, el hábitat generado es máximo con caudales que rondan los 200 m^3/s .
- ✓ Abajo las funciones de la trucha arco iris. El hábitat máximo para el adulto ocurre con 400 m^3 , que es un punto de inflexión claro. Los estadios pre-adultos encuentran la mayor cantidad de hábitat usable con caudales en torno a los 300 m^3/s .

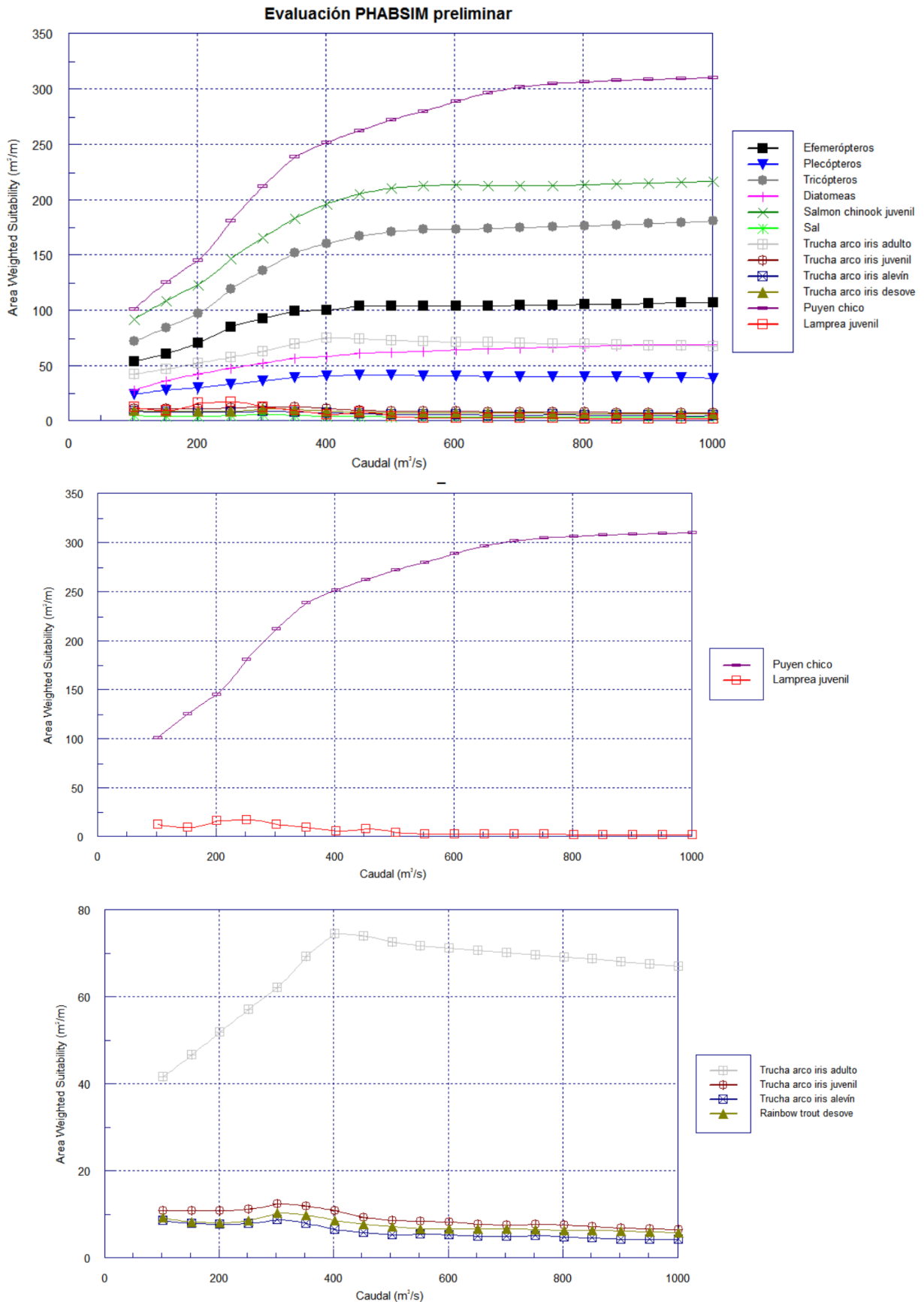


Figura 27. Modelaje PHABSIM preliminar básico del tramo del RSC detraído por el llenado de los vasos.

12.2. Retención de Hábitat

El objetivo del CE mínimo no es en modo alguno maximizar el hábitat utilizable, sino evaluar la reducción del mismo asociado a cada uno de los distintos escenarios incrementales de detracción. En la Figura 28 hemos calculado el hábitat remanente respecto al que ocurre con el caudal medio durante los 3 meses más secos del año: $Q_{\text{mín-90días}} = 313 \text{ m}^3/\text{s}$. Tomamos por lo tanto como referencia esa condición de estiaje natural. Los porcentajes indican la proporción del hábitat original que se mantiene en función del $CE_{\text{mín}}$ seleccionado.

Los resultados de esta simulación indican que para el conjunto de los organismos objetivo se consiguen retenciones de hábitat substanciales caudales mucho menores que los que circulan durante aguas altas. Eso indica que, según el modelo PHABSIM, solo una porción del caudal natural es estrictamente necesario para mantener niveles suficientes de hábitat:

- ➔ Con un $CE_{\text{mín}}$ de 250 m^3 queda remanente el 80% del hábitat acuático natural para la biocenosis.
- ➔ Inclusive, para un $CE_{\text{mín}}$ de $188 \text{ m}^3/\text{s}$ se mantienen niveles de hábitat por encima del 60% de la condición original.

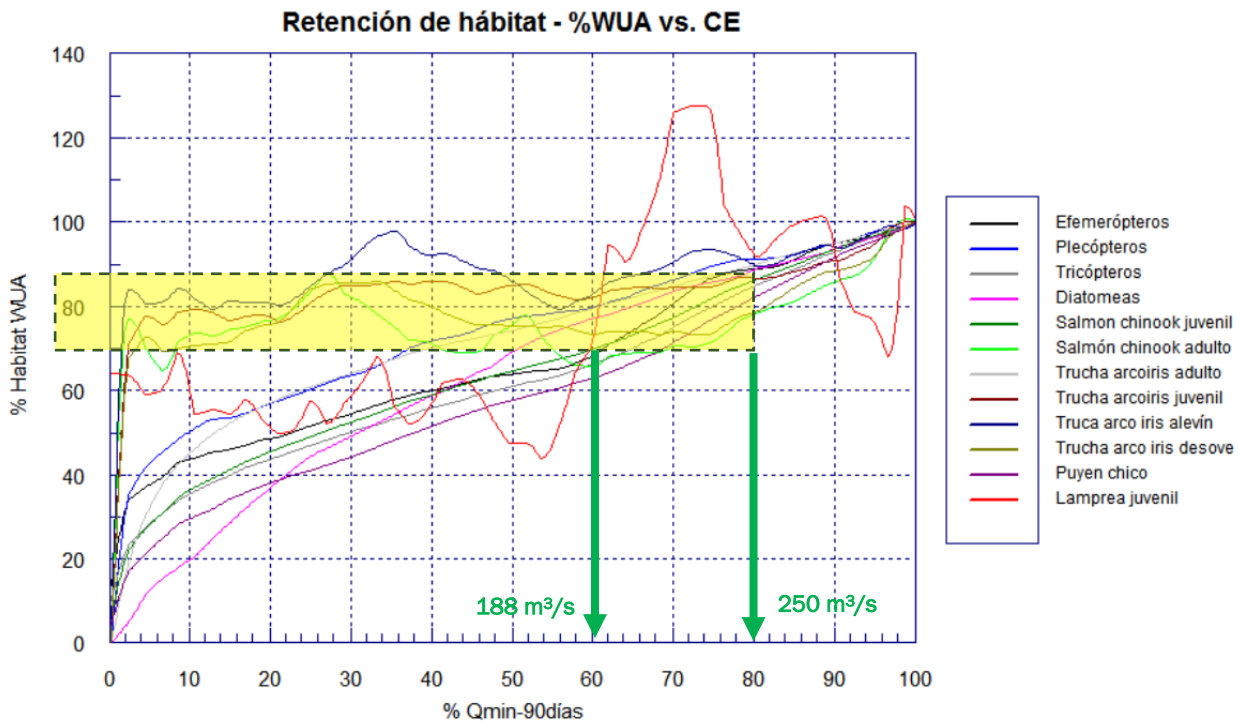



Figura 28. Evaluación PHABSIM del hábitat remanente para distintos escenarios incrementales de $CE_{\text{mínimo}}$.

13. REFERENCIAS

- Aguilera, G. y Cancino, F. 2015. Modelos de preferencia de hábitat para la adaptación del método de evaluación de caudales ecológicos PHABSIM. IV Simposio Argentino de Ictiología 2015.
- AIGO, J; V CUSSAC; S PERIS; S ORTUBAY; S GÓMEZ; H LÓPEZ ET AL. 2008. Distribution of introduced and native fish in Patagonia (Argentina): patterns and changes in fish assemblages. *Rev. Fish Biol. Fisheries*,18: 387-408.
- ALEX, J. 2008. Ecology of the New Zealand lamprey (*Geotria australis*). New Zealand Department of Conservation, Wangani, New Zealand.
- Arismendi, I. y Penaluna, B. 2009. Peces nativos en aguas continentales del Sur de Chile / Native inland fishes of Southern Chile.
- BAIGUN, C.M.R. Y M.C. MARINONE. 1995. Cold-temperate lakes of South América: do they fit Northern hemisphere models? *Archiv. Hydrobiol.* 135 (1): 23-51.
- Baker D.B., Richards R.P., Loftus T.T., Kramer J.W.,(2004). A New Flashiness Index: Characteristics and Applications to Midwestern Rivers and Streams. *Journal of the American Water Resources Association* 40(2):503-522.
- BARROS, V., C. VERA, E. AGOSTA, D. ARANEO, I. CAMILLONI, A. CARRIL, M. DOYLE, O. FRUMENTO, M. NUÑEZ, M. ORTIZ DE ZÁRATE, O. PENALBA, M. RUSTICUCCI, C. SAULO Y S. SOLMAN. 2015. Cambios climáticos en la región Patagonia, Antártida e islas del Atlántico sur. En: Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. Tercer comunicación nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Capítulo 8. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA).
- Biggs, B., Kilroy, C., Mulcock, C., Scarsbrook, M., y Ogilvie, S. 2002. New Zealand Stream Health Monitoring and Assessment Kit. *Stream Monitoring Manual. NIWA Technical Report 111-1.* 190 p.
- Bovee, K. D. 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. *Instream Flow Information Paper No. 12.* U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/26. Fort Collins, Colorado. 248 pp.
- Bovee, K.D. 1977. Development and evaluation of weighted criteria, probability-of-use curves for instream flow assessment: fisheries. Washington, D.C.: Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior *Instream Flow Information Paper #3, FWS/OBS-77/63.* 38 p.
- Bovee, K.D. y Milhous, R. T. 1978. Hydraulic simulation in instream flow studies: theory and techniques. *Instream Flow Information Paer No. 5.* U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-78/33. 130 pp.
- CIANCIO, J. E., M. A. PASCUAL, J. LANCELOTTI, C. M. RIVA ROSSI Y F. BOTTO. 2005. Natural colonization and establishment of a chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, population in the Santa Cruz River, an Atlantic basin of Patagonia. *Environmental Biology of Fishes* (2005) 74:219–227.
- Collins, G.B.; Weber, C.I. 1978: Phycocriphyton(algae) as indicators of water quality. *Transactions of the American Microscopical Society* 97: 36-43
- Colwell, R.K. (1974) Predictability, constancy, and contingency of periodic phenomena. *Ecology*, 55, 1148-1153.
- Davies-Colley, R.J., Vant, W.N., y D. G. Smith. 1993. *Colour and Clarity of Natural waters: science and management of optical water quality.* Ellis Harwood, New York.
- Davies-Colley, R. J., y Smith, D.G. 2001. Turbidity suspended sediment, and water clarity: a review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37: 1085–1101.
- De Nicola, D.M., McIntire, C.D., Lamberti, G.A., Gregory, S.V., y Ashkenas, L.R. 1990. Temporal patterns of grazer-periphyton interactions in laboratory streams. *Freshwater Biology* 23:475-489.
- Diez Hernández, J.M. y Payne, T.R. 2004. Riverine Habitat Simulation Software: RHABSIM Spanish Version. *Proceedings V International Symposium on Ecohydraulics.* 12-17/09/04, Madrid, España.
- DUNBAR, M.J., GUSTARD, A., ACREMAN, M.C. y ELLIOT, C.R. 1998. Overseas approaches to setting River Flow Objectives. Institute of Hydrology, Environment Agency, R&D Technical Report W6-161. Wallingford, Reino Unido.
- Eiseng, W., Strange, R.J. y Moore, S.E. 1990. Summer food limitation reduces brook and rainbow trout biomass in a southern Appalachian stream. *Transactions of American Fisheries Society*, 119: 894-901.
- EPELE L.B., MISERENDINO M.L. y P. PESSACQ. 2011. Life history, seasonal variation and production of *Andesiops torrens* (Lugo-Ortiz and McCafferty) and *Andesiops peruvianus* (Ulmer) (Ephemeroptera: Baetidae) in a headwater Patagonian stream. *Limnológica* 41: 57–62.
- Giraud, A., M. Duré, E. Schaefer, J. N. Lescano, E. Etchepare, M. A. Akmentins, G. S. Natale, V. Arzamendia, G. Bellini, R. Ghirardi y M. Bonino. 2012. Revisión de la metodología utilizada para categorizar especies amenazadas de la herpetofauna argentina. *Cuad. Herpetol.* 26 (Supl. 1): 117-130.
- Gore, J. A. y R. D. J. Judy. 1981. Predictive models of benthic macroinvertebrate density for use in stream flow studies and regulated flow management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(11): 1363-1370.
- Goring, D. G., y Biggs, B.J.F. 1996. The effect of velocity and turbulence on the growth of periphyton in a cobble-bed stream: The five stone experiment, in *Proceedings of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics*, edited by M. Leclerc et al., pp. A239–A250, INRS-Eau, Quebec, Quebec, Canada, 1996.
- Gotceitas V, Godin JGJ (1991) Foraging under the risk of predation in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effects of social status and hunger. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 29: 255–261.
- Guzmán, L. & I. Campodonico. 1973. Algunos aspectos de la biología de *Eleginops maclovinus* (Cuv. y Val.) 1830, con especial referencia a su morfometría, caracteres merísticos y alimentación. *Ans. Inst. Pat., Punta Arenas (Chile)*, 4: 1-3.
- HEC. 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual.* Davis, California, EEUU. 149 p.
- HEC, 2007. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS version 4.2.1.* www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/
- Hegge, O., Hesthagen, T. y Skurdal, J. 1993. Juvenile competitive bottlenecks in the production of brown trout in hydroelectric reservoirs due to intraspecific habitat segregation. *Regulated Rivers*, 8: 41-48.

- ÍTURRASPE, R.J. Y SOTFÍNÍ, 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.
- IUCN, 2004. Red List Categories. Gland Suize.
- Jowett, I.G. 1992. Models of the abundance of large brown trout in New Zealand rivers. *North American Journal of Fisheries Management* 12:417-432.
- Karr, J.R. y Dudley.D.R. 1981. Ecological perspectives on water quality goals. *Environmental Management*, 5: 55-68.
- Langa Sánchez, A., Pagot, A., Rodríguez, A., Martínez Capel, F. 2009. Estudio de Caudales Ecológicos en ríos de la provincia de Córdoba. Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de ríos. Salta, Argentina.
- LIBEROFF, A. L., J. A. MILLER, C. M. RIVA-ROSSI, F. J. HIDALGO, M. L. FOGEL Y M. A. PASCUAL. 2014. Transgenerational effects of anadromy on juvenile growth traits in an introduced population of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71: 398-407.
- McBride, G.B., Wilcock, R.J., Nagels, J.F., Collier, J.J., Wilson, B.T., and Huser B.A. 1998. Characterisation of lowland streams using a single station diurnal curve analysis model with continuous monitoring data for dissolved oxygen and temperature. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 32:1, 67-79,
- Metcalfe, R.A., y Schmith, B.J. 2014. Streamflow Analysis and Assessment Software (SAAS v4).
- Milhous, R.T. 1999. History, theory, use, and limitations of the Physical Habitat Simulation System. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Ecohydraulics*. Logan, UT: Utah State University Extension. p. 1-25.
- Mills, Heath; Reese, B K; Peter, Cruz St (2012): Shifts in the microbial community structure in different temperatures during sample storage from IODP Hole 325-M0058A. doi:10.1594/PANGAEA.788626
- Orth, D. J. y Maughan, O.E. 1983. Microhabitat preferences of benthic fauna in a woodland stream. *Hydrobiologia*, 106, 157-168.
- 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.
- Pascual, M.A., P. Bentzen, C. Riva Rossi, G. Mackey, M. Kinnison y R. Walker. 2001: First Documented Case of Anadromy in a Population of Introduced Rainbow Trout in Patagonia, Argentina. *Transactions of the American Fisheries Society* 130: 53-67.
- PASCUAL M.A., CUSSAC V., DYER B., SOTO D., VIGLIANO P., ORTUBAY S. y P. MACCHI. 2007. Freshwater fishes of Patagonia in the 21st century after a hundred years of human settlement, species introductions, and environmental change. *Aquat. Ecosyst. Health* 10: 212-227.
- Pequeño, G. 1981. Peces de las riberas estuariales del río Lingue, Chile. *Biol. Mar.*, 22: 141-163.
- Poff, N.L., Ward, J.V. 1989. Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow pattern. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46: 1805-1818.
- 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.
- Riva Rossi, C.M., M. Arguimbau y M.A Pascual. 2003. The range and timing of the spawning migration of anadromous rainbow trout in the Santa Cruz River, Patagonia (Argentina) through radio - tracking. *Ecología Austral* 13: 151 - 159.
- Riva-Rossi, C., M.A. Pascual, J.A. Babaluk, M. García-Asorey y N.M. Halden. 2007. Intra-population variation in anadromy and reproductive life span in rainbow trout introduced in the Santa Cruz River, Argentina. *Journal of Fish Biology* (2007) 70, 1-18
- Rosguen, 1994. A classification of natural rivers. *Catena*, 22, 169-199.
- RUZZANTE D.E., S. J. WALDE, V. E. CUSSAC, M. L. DALEBOUT, J. SEIBERT, S. ORTUBAY Y E. HABIT. 2006. Phylogeography of the Percichthyidae in Patagonia: roles of orogeny, glaciation, and volcanism. *Molecular Ecology*, 15: 2949-2968
- SECRETARIA RECURSOS HÍDRICOS. 1994. Estadística Hidrológica de la República Argentina. Buenos Aires. (C, D)
- SECRETARIA RECURSOS HÍDRICOS-EVARSA. 2004. Estadística Hidrológica de la República Argentina. Buenos Aires. (C, D)
- Serman & Asociados, 2016. EIA Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz: Rev1. Elaborado para la UTE Represas Patagonia.
- Serman & Asociados, 2017. EIA Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz: Rev2. Elaborado para la UTE Represas Patagonia.
- Soldano, F. 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina II: 1-264. Ed. Cimera. Buenos Aires.
- TAGLIAFERRO M., MISERENDINO M.L., LIBEROFF A., QUIROGA A. y M. PASCUAL. 2013. Dams in the last large free-flowing rivers of Patagonia, the Santa Cruz River, environmental features, and macroinvertebrate community. *Limnológica* 43 (2013) 500-509.
- TAGLIAFERRO, M., A. P. QUIROGA Y M. A. PASCUAL, 2014. Spatial pattern and habitat requirements of *Galaxias maculatus* in the last un-interrupted large river of Patagonia: a baseline for management. *Environment and Natural Resources Research* 4: 54-63.
- VALLADARES, A. 2004. Cuenca del río Santa Cruz. Cuenca N° 70. Subsecretaría de Recursos Hídricos.



UTE China Gezhouba Group Company Limited – Electroingeniería S.A – Hidrocuyo S.A
Monseñor Fagnano, 86 Piso 1
Río Gallegos – Santa Cruz, Argentina
 www.represaspatagonia.com.ar



Grupo de Ecohidrología Fluvial - GEF. Universidad de Valladolid.
ETS. Ingenierías Agrarias. Av. Madrid 57, Palencia 34004 - España.
Tel: +34 695260235. E-mail: jmdiez@iaf.uva.es

Universidad de Valladolid

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

ACTUALIZACIÓN

CAPÍTULO 3 – LINEA DE BASE AMBIENTAL Y ESTUDIOS ESPECIALES

**PUNTO 2 - MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE
DE SEDIMENTOS EN EL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ**

ANEXO II – INFORME DE AVANCE

MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Estuario del Río Santa Cruz, Provincia de Santa
Cruz

INFORME DE AVANCE

Preparado para

REPRESAS PATAGONIA

**China Gezhouba Group Company Limited | Electroingeniería SA
| Hidrocuyo SA | UTE**

Por

EZCURRA & SCHMIDT S.A. (ESSA)

Blanco Encalada 1721 P10 E, (1428)
Buenos Aires, Argentina. Tel / Fax: 54 1 4786-0851
www.essa.com.ar

Contactos:

Sergio Schmidt, sschmidt@essa.com.ar

Gabriel Danieli, gdanieli@essa.com.ar

Marzo 2017

ÍNDICE

1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO	4
2. ESTADO DE LOS TRABAJOS	5
3. MODELOS UTILIZADOS.....	6
4. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	7
4.1. Base de datos globales WOD13.....	7
4.2. Tablas de Marea.....	8
4.3. Mediciones de ESSA (Vientos, temperatura y humedad).....	9
4.4. Mediciones de ESSA en la Estación Mar y Estación Estuario 2 (nivel del mar, temperatura y turbidez)	11
4.5. Mediciones de ESSA (perfiles de turbidez en creciente y bajante)	15
4.6. Perfiles de corrientes	22
4.7. Batimetría	22
4.8. Temperatura del aire en Puerto Santa Cruz.....	23
4.9. Caudales mensuales del Río Santa Cruz	23
5. CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS.....	24
5.1. Introducción.....	24
5.2. Grilla del modelo.....	24
5.3. Características de las simulaciones.....	27
5.4. Corrientes y niveles del mar	28
5.5. Temperatura.....	40
5.6. Salinidad.....	44
5.7. Turbidez	47
6. RESULTADOS	48
6.1. Estimación de la renovación del agua del estuario con la marea	48
6.2. Temperatura cerca del fondo y corrientes de marea.....	49
6.3. Temperatura y corrientes de marea para la Condición 6.....	55
6.4. Salinidad y corrientes para distintas condiciones de marea	58
6.5. Salinidad y corrientes para la Condición 6	63
6.6. Corte longitudinal de salinidad	66
6.7. Salinidad, temperatura y corrientes en la Estación 10 a distintas profundidades.	72
6.8. Comparación entre valores de salinidad para dos caudales del río	74
6.9. Comparación entre los campos de temperatura, salinidad, corrientes y niveles del mar para los caudales mínimos, máximos y medios del mes de junio	75
7. CONCLUSIONES	85
8. PROFESIONALES INTERVINIENTES	88

9. REFERENCIAS	89
10. ANEXO A. MIKE 3 HD (HYDRODYNAMICS)	90
11. ANEXO B. MIKE AD TRANSPORT	104
12. ANEXO C. MIKE MT (MUD TRANSPORT).....	111

MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Estuario del Río Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz

INFORME DE AVANCE

1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

Realizar la modelación de niveles del mar, corrientes, temperatura, salinidad y turbidez en el Estuario del Río Santa Cruz para diferentes escenarios asociados a la estación del año (incluyendo variaciones estacionales de los caudales de los ríos que desembocan en el Estuario) y condiciones de antes, durante y después de la construcción de las represas.

El presente informe de avance cubre hasta la calibración de los modelos excepto la turbidez ya que no se dispone de toda la información necesaria para la calibración, que será completada a la brevedad.

Se incluyen los resultados de algunas simulaciones con los campos de niveles del mar, corrientes, salinidad y temperatura.

2. ESTADO DE LOS TRABAJOS

Este informe de avance incluye los resultados del trabajo a mediados de febrero de 2017. La Tabla 2.1 muestra el avance a la fecha y los trabajos a realizar.

Tabla 2.1 Estado de los trabajos

Tarea	Grado de evolución (%)
Mediciones en el campo	100
Procesamiento de los datos	100
Preparación de los modelos, batimetría, condiciones iniciales y de contorno	100
Calibración del modelo hidrodinámico, incluyendo los campos de salinidad y temperatura	100
Calibración del modelo de transporte de sedimentos (turbidez)	75
Modelación de los escenarios asociados a la construcción y operación de las represas	0

3. MODELOS UTILIZADOS

Para realizar la modelación de niveles del mar, corrientes, temperatura, salinidad y turbidez en el Estuario del Río Santa Cruz se han utilizado los siguientes modelos:

- Modelo hidrodinámico 3D, Sistema MIKE 3 (HD, Hydrodynamic), desarrollado por el DHI (Danish Hydraulic Institute), detalles en www.dhigroup.com. Este módulo es la base para el cálculo de niveles del mar y corrientes locales sobre la cual se difunden diferentes propiedades del agua de mar, como la temperatura, salinidad y concentraciones de sedimentos en suspensión.

Específicamente en el presente trabajo, este modelo calcula las variaciones de elevación de la superficie y el campo 3D de corrientes como consecuencia de fuerzas externas como la marea y el viento y la descarga del río. Calcula las variaciones del nivel del mar y el campo de corrientes, tanto en el mar y en el estuario.

- Las variaciones de temperatura y salinidad se ha utilizado el módulo MIKE 3 (AD, Advección-Dispersión) incorporado como variaciones de estas variables en MIKE 3 (HD).

Específicamente en el presente trabajo, este modelo calcula el transporte, dispersión y decaimiento de sustancias disueltas o suspendidas. Calcula las concentraciones de sal y temperatura, tanto en el mar y en el estuario

- Para el seguimiento de los sedimentos en suspensión asociados a la turbidez se ha utilizado el modelo MIKE 3 (MT, Mud Transport) que permite el transporte de sedimentos cohesivos y no cohesivos finos.

Específicamente en el presente trabajo, este modelo calcula el transporte de sedimentos en suspensión y re-suspensión de los sedimentos para cálculo de turbidez.

Los modelos indicados son propiedad de Ezcurra & Schmidt S.A., licenciados por el DHI en 2015.

Las características de los modelos se presentan en los ANEXOS A, B y C.

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

Se han utilizado diferentes fuentes de información para la calibración de los modelos como se detalla a continuación

4.1. Base de datos globales WOD13

Estos datos fueron tomados para analizar la variación temporal de la temperatura y salinidad que se incorporaron al modelo por los bordes abiertos de la grilla utilizada en las simulaciones.

Se analizaron datos de temperatura y salinidad de las estaciones en el lugar de World Ocean Database 2013 (<https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13/>) de la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA). Esta base de datos contempla todas las estaciones argentinas de CEADO (Centro Argentino de Datos Oceanográficos, del Servicio de Hidrografía Naval). La base de datos cuenta con información de temperatura (T), salinidad (S) y otras variables. Las Figuras 4.1.1 y 4.1.2 muestran los valores de temperatura y salinidad obtenidos de la base de datos WOD13.

Figura 4.1.1 Rango de temperaturas del agua y valores medios mensuales interpolados de la base de datos WOD13

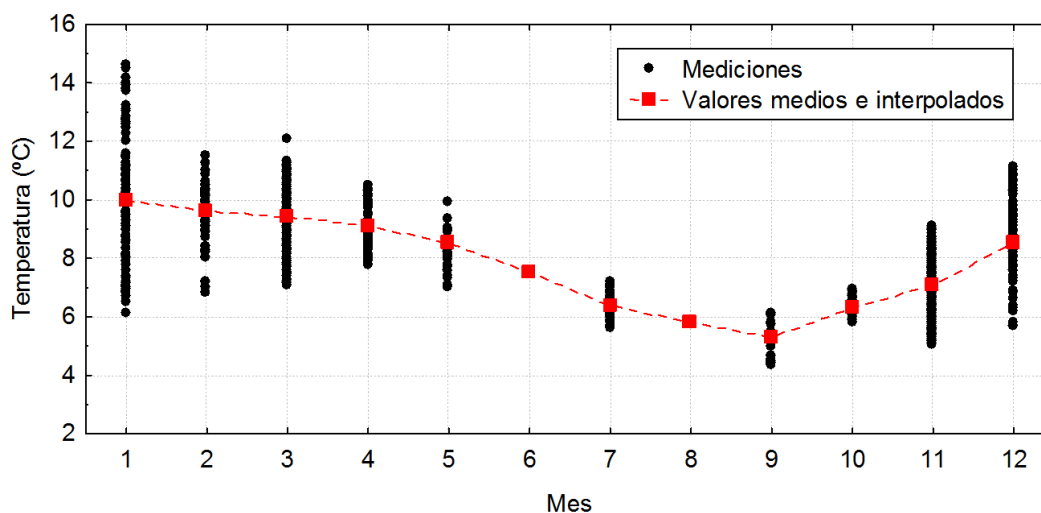
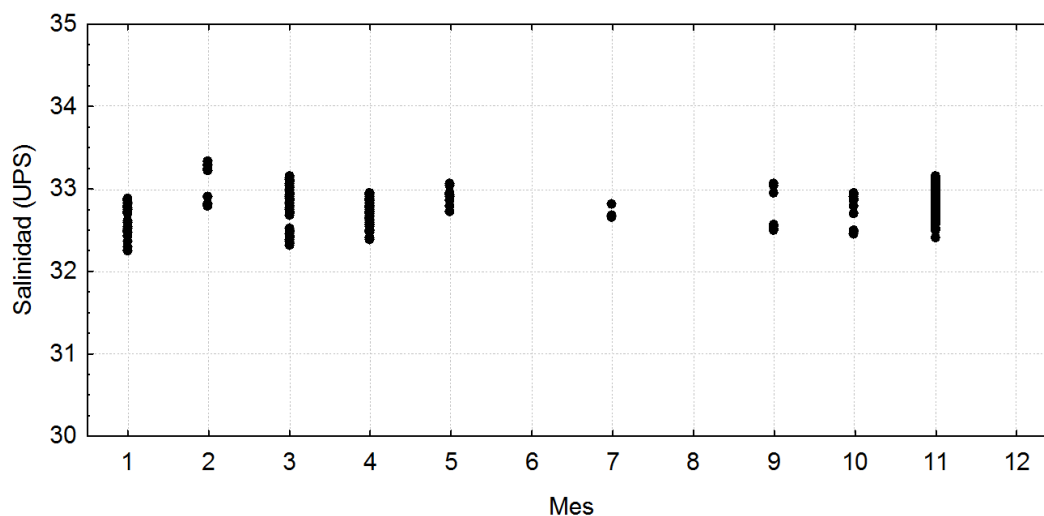


Figura 4.1.2 Rango de valores de salinidad de la base de datos WOD13



4.2. Tablas de Marea

Las Tablas de Marea (Servicio de Hidrografía Naval, SHN, 2016) suministran las alturas de la marea para Punta Quilla, como se indica a continuación.

PUNTA QUILLA (Puerto Santa Cruz)

Carta argentina: H-367

Lat.: 50° 07' S Long.: 68° 24' W

Huso Horario + 3

Régimen de marea: Semidiurno.

Establecimiento de puerto medio: IX^h 30^{min}

Nivel medio 6,20 m.

Las alturas están en metros y referidas al plano de reducción que pasa 6,20 m debajo del nivel medio.

Alturas en metros sobre el plano de reducción, correspondientes a la predicción 2016				Amplitud	
Pleamar		Bajamar		Máxima	Media
Máxima	Media	Más baja	Media		
12,69	10,36	0,05	2,25	12,63	8,11

Diciembre / 2016						04	0142	10,11	19	0249	10,81	10	0108	2,59	25	0240	3,31		
DIA	HORA	ALT	DIA	HORA	ALT	D	0803	3,17	L	0929	2,16	S	0721	10,24	D	0830	9,27		
	h min	m		h min	m														
							1352	10,33		1505	10,45		1347	2,43		1509	3,06		
							2027	2,33		2153	1,56		1952	10,22		2057	9,23		
01	0630	2,91	16	0018	11,9														
J	1201	10,44	V	0653	1,16	05	0224	9,98	20	0344	10,26	11	0214	2,29	26	0331	3,32		
	1846	2,07		1234	11,91		L	0844	3,23	MA	1024	2,6	D	0821	10,75	L	0911	9,45	
				1919	0,37			1436	10,13		1601	9,86		1450	1,88		1555	2,81	
							2111	2,48		2248	2,1		2052	10,75		2139	9,46		
02	0029	10,26	17	0107	11,7	06	0311	9,82	21	0444	9,76	12	0316	1,92	27	0415	3,27		
V	0659	3,02	S	0745	1,38		MA	0933	3,27	MI	1120	2,98	L	0916	11,28	MA	0949	9,7	
	1235	10,48		1323	11,55			1528	9,89		1703	9,37		1549	1,31		1636	2,55	
	1917	2,12		2009	0,63			2202	2,63		2345	2,59		2147	11,26		2218	9,71	
03	0104	10,21	18	0157	11,32														
S	0729	3,11	D	0836	1,73	07	0406	9,7	22	0546	9,4	13	0414	1,54	28	0454	3,19		
	1312	10,44		1412	11,04		MI	1030	3,26	J	1219	3,23	MA	1008	11,72	MI	1026	9,99	
	1950	2,2		2101	1,05			1628	9,68		1809	9,07		1645	0,81		1714	2,3	
							2259	2,74						2239	11,66		2255	9,96	
						08	0508	9,68	23	0045	2,97	14	0509	1,26	29	0530	3,08		
						J	1133	3,15	V	0647	9,21		MI	1058	12	J	1102	10,29	
							1736	9,62		1319	3,32			1737	0,46		1749	2,08	
								1912	8,99					2329	11,89		2331	10,19	
						09	0003	2,74	24	0144	3,2	15	0602	1,12	30	0605	2,95		
						V	0615	9,86	S	0742	9,18		J	1146	12,06	V	1138	10,55	
							1240	2,87		1417	3,24			1828	0,31		1824	1,91	
							1846	9,81		2008	9,06								
						10	0108	2,59	25	0240	3,31					31	0008	10,39	
							S	0721	10,24	D	0830	9,27					S	0638	2,82
								1347	2,43		1509	3,06						1216	10,75
								1952	10,22		2057	9,23						1859	1,81

4.3. Mediciones de ESSA (Vientos, temperatura y humedad)

En el aeropuerto de Santa Cruz se instaló una estación meteorológica automática, con anemómetro a 10 m de altura sobre el nivel del suelo, Davis Instruments Vantage Vue Wireless Weather Station para medir y registrar datos cada media hora. La estación midió dirección y velocidad del viento, presión, humedad relativa, y precipitaciones (ESSA, 2017a). Ver Figura 4.3.1

Figura 4.3.1 Ubicación de las estaciones de medición (ESSA, 2017a).

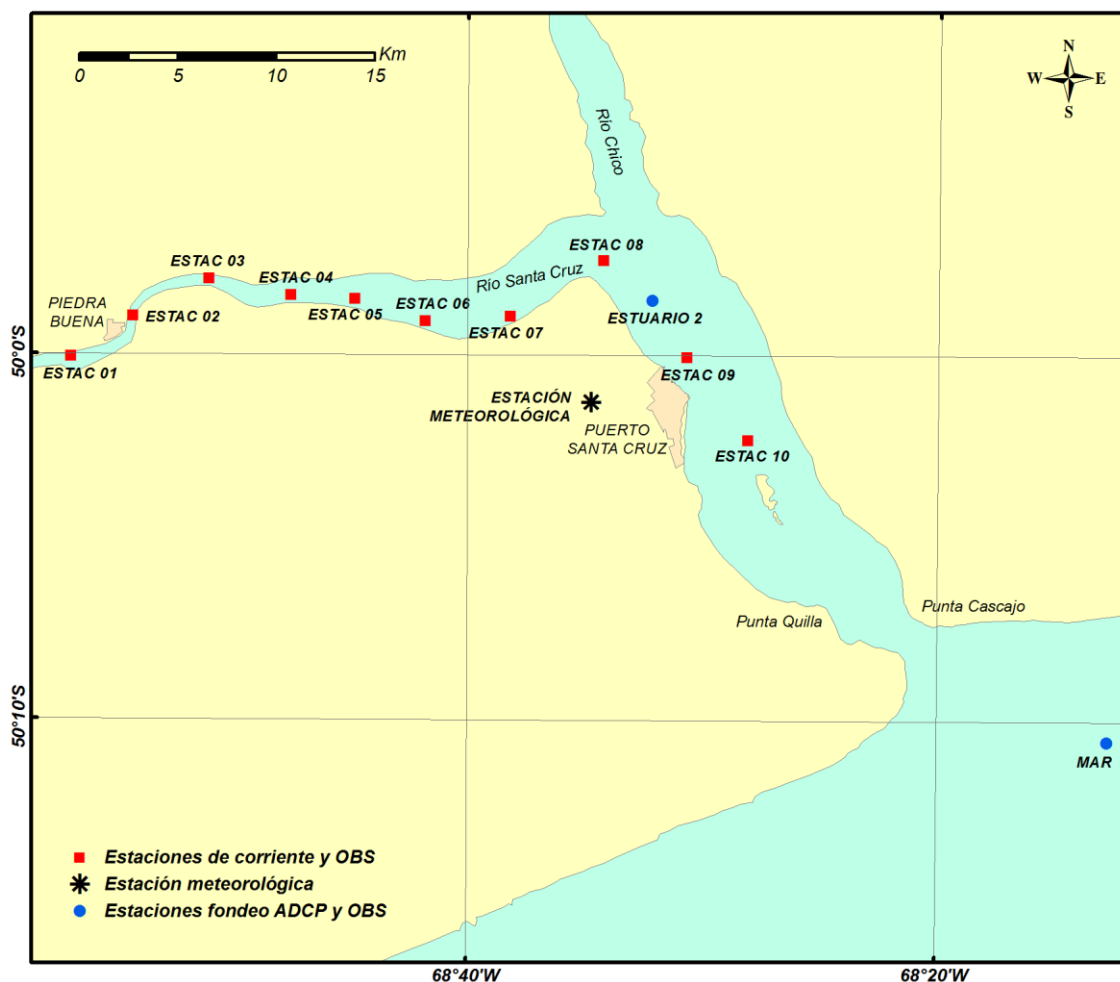


Figura 4.3.2 Mediciones de la velocidad y dirección del viento

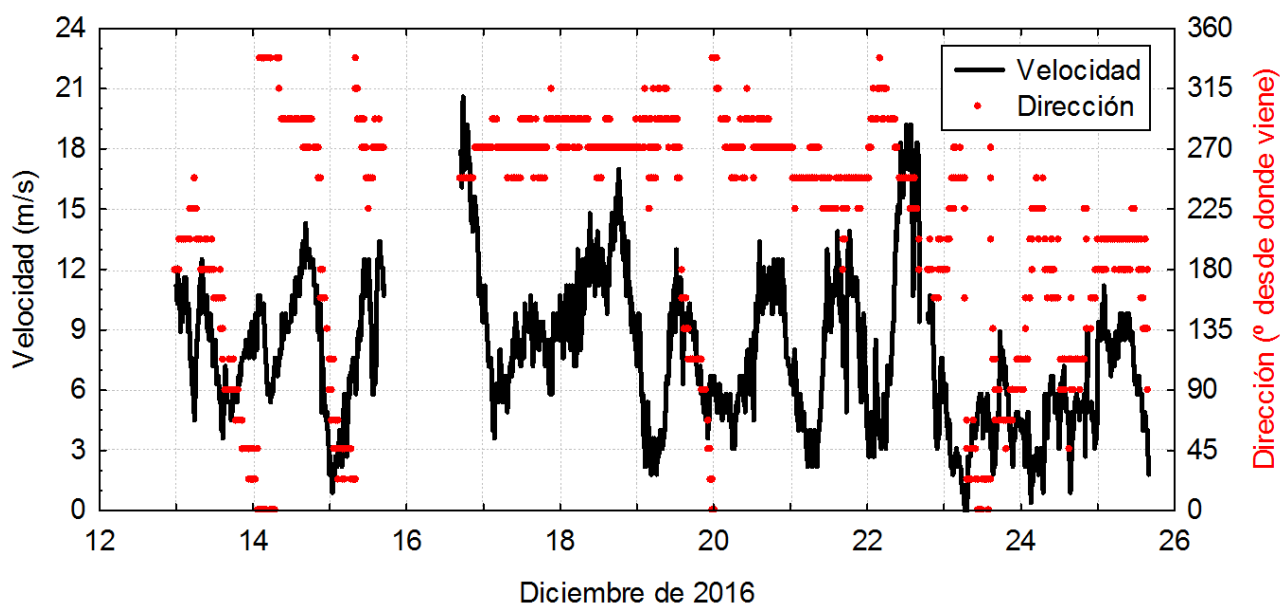


Figura 4.3.3 Mediciones de temperatura y humedad relativa

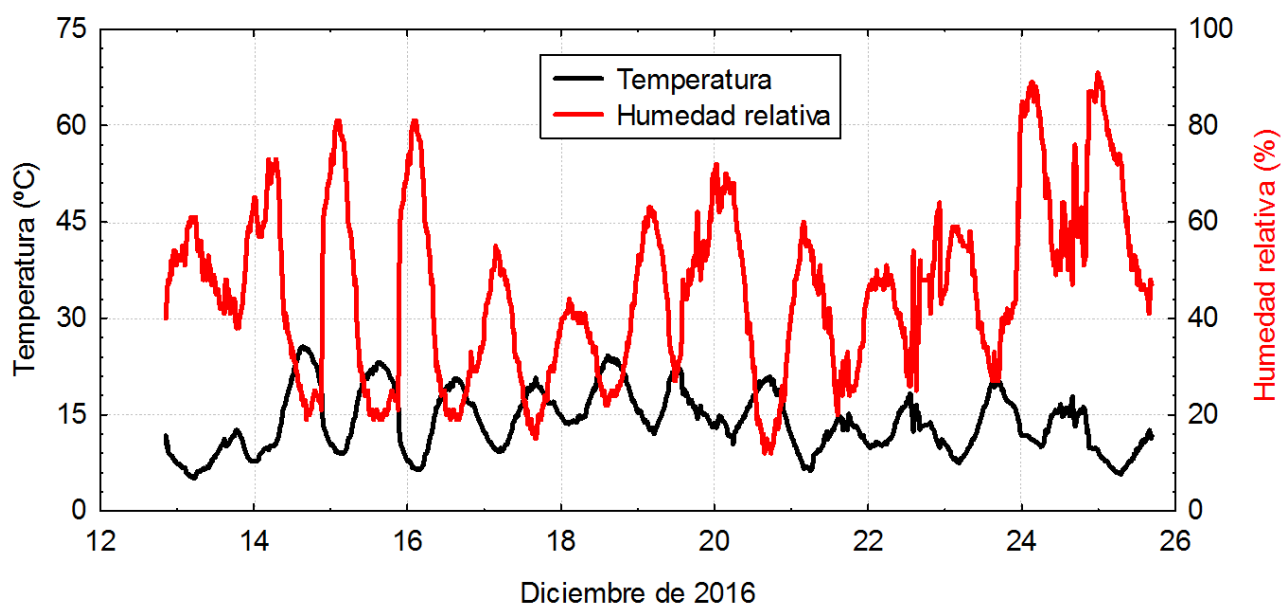


Tabla 4.3.1 Valores característicos de las variables medidas en la Estación Meteorológica. Intervalo de muestreo: 10 min.

Variable	N	Máximo	Mínimo	Medio	Desvío
Temperatura (°C)	1680	25.6	5.2	13.9	4.7
Humedad (%)	1680	91	12	46	17
Presión (mbar)	1680	1005.3	973.0	985.6	7.2
Lluvia (m)	1680	1.6	0	0	0
Velocidad viento (m/s), (a 10 m de altura)	1680	20.6	0.0	7.9	3.6

4.4. Mediciones de ESSA en la Estación Mar y Estación Estuario 2 (nivel del mar, temperatura y turbidez)

Se instalaron dos estaciones oceanográficas completas, de registro automático, una en el mar (Estación Mar) afuera del estuario y otra dentro del mismo (Estación Estuario). Debido a algunos problemas surgidos luego del fondeo de esta última estación, los equipos se levantaron y fueron fondeados nuevamente como Estación Estuario 2 (ver Figura 4.3.1). Para detalles ver (ESSA, 2017a). En estas estaciones se midieron

a) Perfil vertical de velocidades, cada 10 minutos, con equipos ADCP Nortek AWAC, de 600 kHz y 400 kHz de frecuencia acústica.

b) Salinidad, Temperatura, Mareas y Turbidez, cada 10 minutos, con equipos turbidímetros nefelométricos digitales OBS-3A.

La Figura 4.4.1 muestra los resultados de las mediciones de temperatura (a medio metro del fondo) y profundidad absoluta del lugar para la Estación Mar. Las Figuras 4.4.2 y 4.4.3 muestran los resultados de las mediciones de salinidad y profundidad y turbidez para la Estación Mar. La profundidad total de la columna de agua se obtiene sumando 0.5 m a la profundidad del sensor.

Las Figuras 4.4.4 a 4.4.6 presentan los resultados de las mediciones de temperatura y profundidad, salinidad y turbidez profundidad en la Estación Estuario.

Las Tablas 4.4.1 y 4.4.2 presentan un resumen de los valores característicos de las variables medidas.

Figura 4.4.1 Mediciones de temperatura y profundidad (Estación Mar). Nota: La profundidad total de la columna de agua se obtiene sumando 0.5 m a la profundidad del sensor.

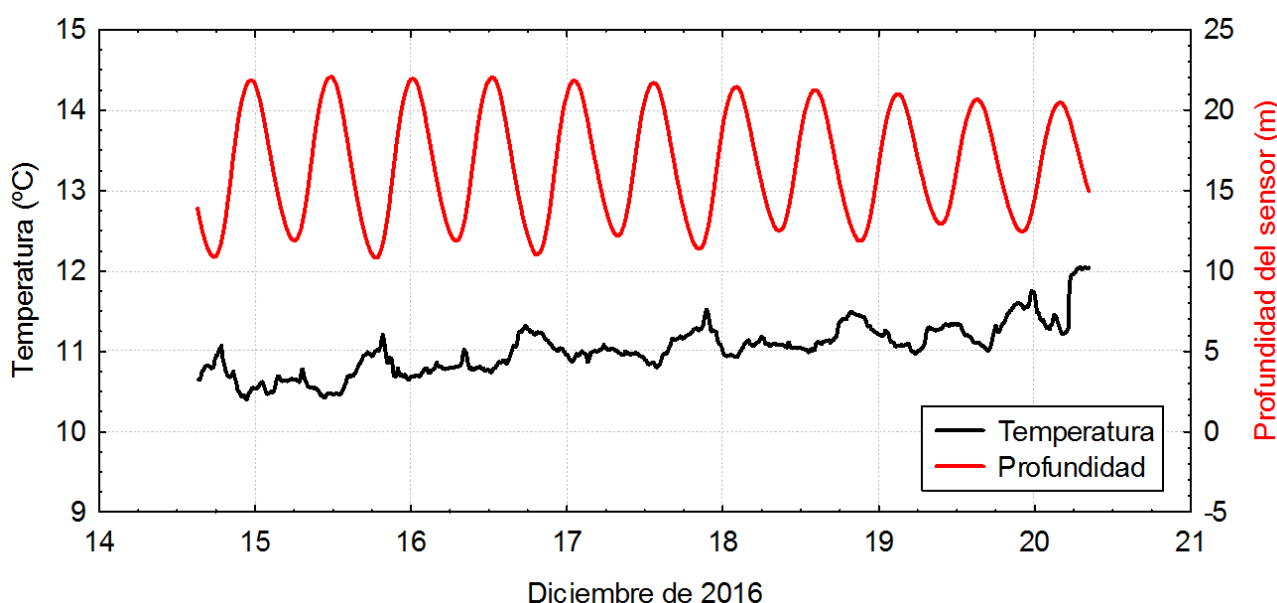


Figura 4.4.2 Mediciones de salinidad y profundidad (Estación Mar). Nota: La profundidad total de la columna de agua se obtiene sumando 0.5 m a la profundidad del sensor.

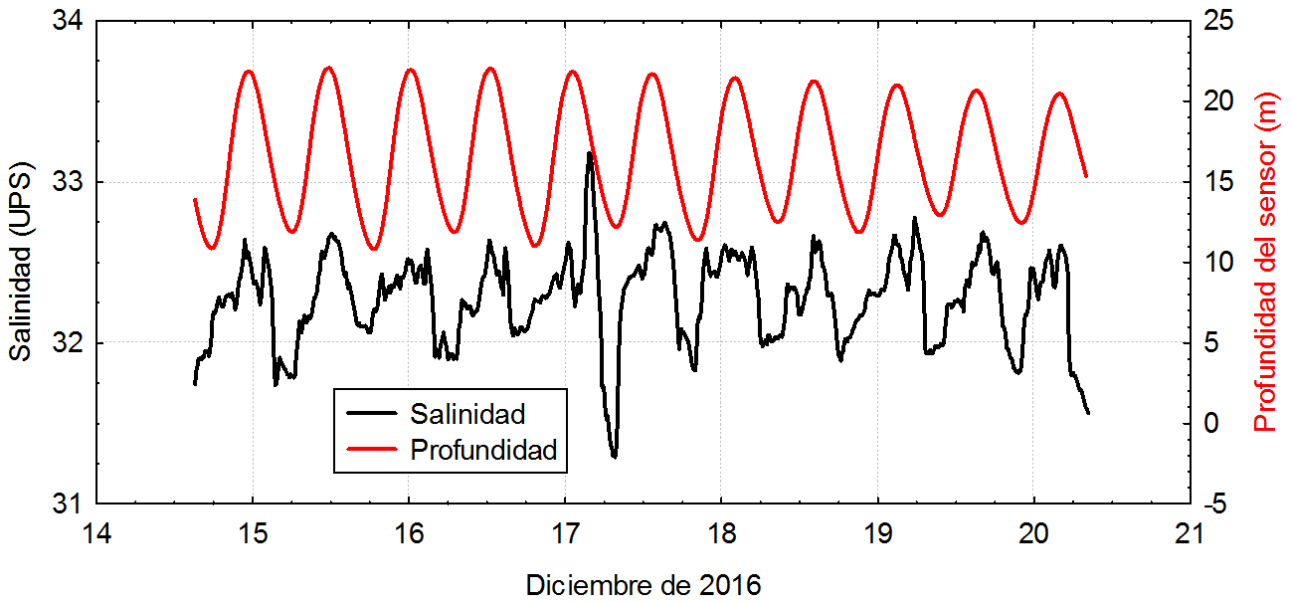


Figura 4.4.3 Mediciones de turbidez y profundidad (Estación Mar). Nota: La profundidad total de la columna de agua se obtiene sumando 0.5 m a la profundidad del sensor.

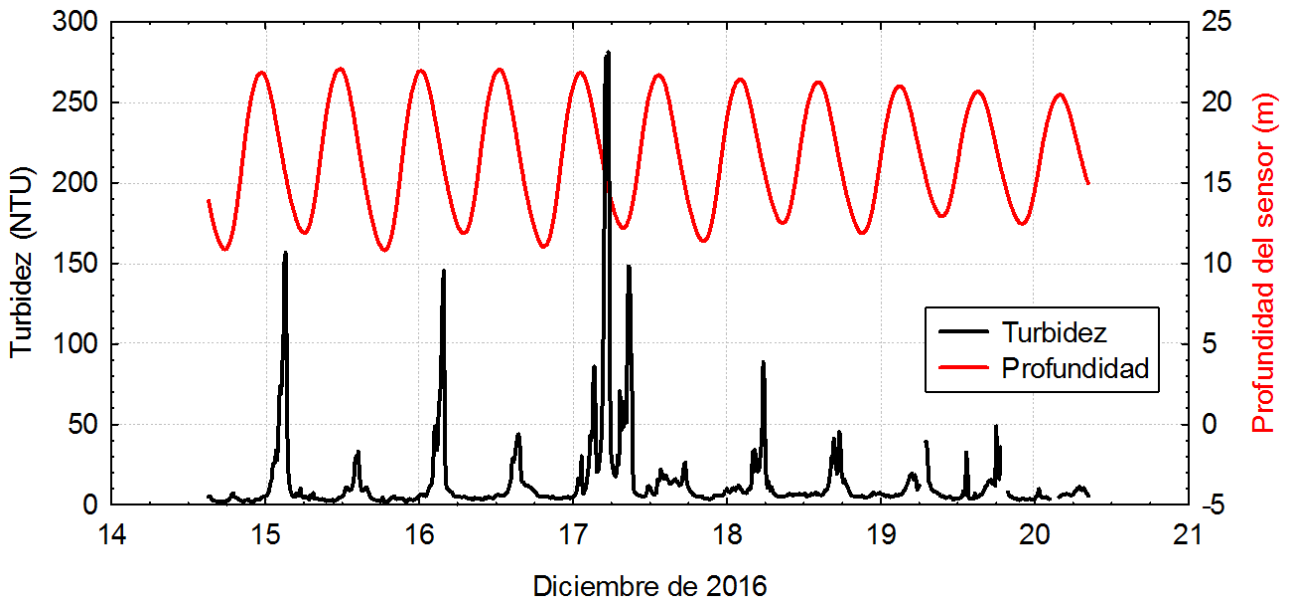


Figura 4.4.4 Mediciones de temperatura y profundidad (Estación Estuario). Nota: La profundidad total de la columna de agua se obtiene sumando 0.5 m a la profundidad del sensor.

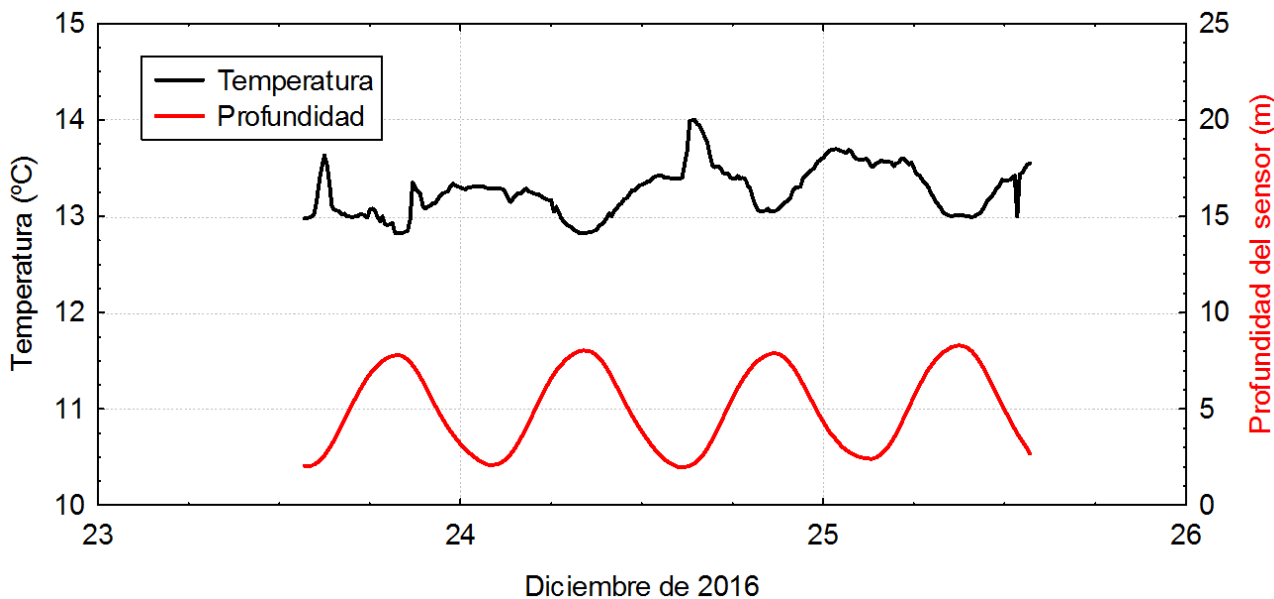


Figura 4.4.5 Mediciones de salinidad y profundidad (Estación Estuario). Nota: La profundidad total de la columna de agua se obtiene sumando 0.5 m a la profundidad del sensor.

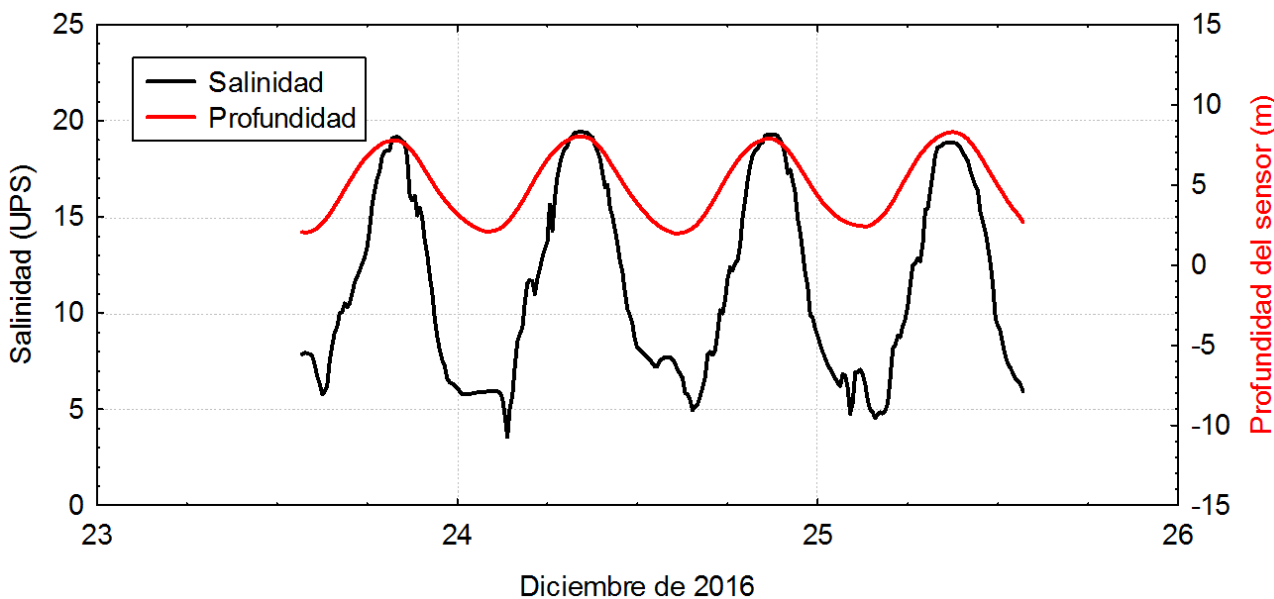


Figura 4.4.6 Mediciones de turbidez y profundidad (Estación Estuario). Nota: La profundidad total de la columna de agua se obtiene sumando 0.5 m a la profundidad del sensor.

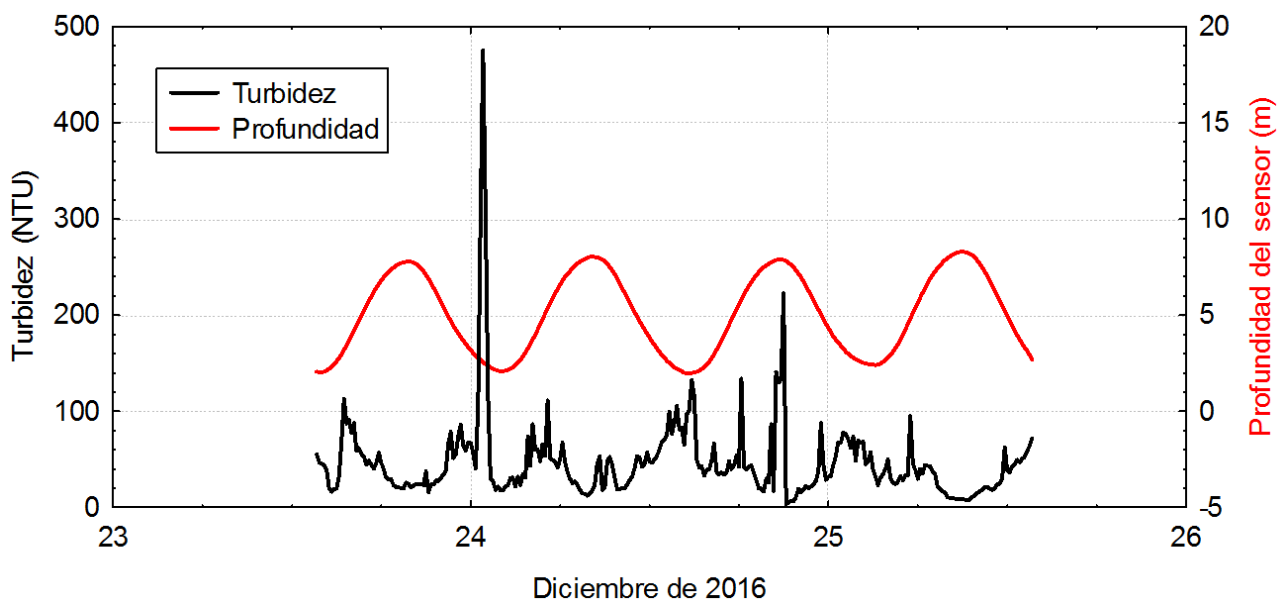


Tabla 4.4.1 Valores característicos de las variables medidas en la Estación Mar. Profundidad del lugar: 17.1 m referido al Nivel Medio del Mar (NMM). Intervalo de muestreo: 10 min. UPS: unidades prácticas de salinidad equivalentes a gr/l

Variable	N	Máximo	Mínimo	Medio	Desvío
Temperatura (°C), OBS	825	12.1	10.2	11.0	0.3
Turbidez (NTU), OBS	810	281	2	15	30
Salinidad (UPS) con datos del OBS	825	33.2	31.2	32.3	0.3
Profundidad del lugar (m)	825	22.6	11.3	17.1	3.5
Velocidad corriente (m/s), AWAC (2.5 m del fondo)	823	1.02	0.07	0.57	0.16
Velocidad corriente (m/s), AWAC (6.5 m del fondo)	825	1.15	0.15	0.67	0.17
Velocidad corriente (m/s), AWAC (10.5 m del fondo)	792	1.27	0.23	0.75	0.20
Velocidad corriente (m/s), AWAC (14.5 m del fondo)	458	1.40	0.22	0.85	0.27
Velocidad corriente (m/s), AWAC (16.5 m del fondo)	336	1.57	0.18	0.96	0.31
Velocidad corriente (m/s), AWAC (18.5 m del fondo)	190	1.70	0.37	1.11	0.30

Tabla 4.4.2 Valores característicos de las variables medidas en la Estación Estuario 2. Profundidad del lugar: 5.6 m referido al Nivel Medio del Mar (NMM). Intervalo de muestreo: 10 min.

Variable	N	Máximo	Mínimo	Medio	Desvío
Temperatura (°C), OBS	289	14.0	12.8	13.3	0.3
Turbidez (NTU), OBS	289	476	4	47	44
Salinidad (UPS) con datos del OBS	290	19.4	3.6	11.5	5.0
Profundidad del lugar (m)	289	8.8	2.5	5.6	2.1
Velocidad corriente (m/s), AWAC (1.25 m del fondo)	289	0.81	0.01	0.38	0.22
Velocidad corriente (m/s), AWAC (2.25 m del fondo)	262	0.93	0.01	0.48	0.24
Velocidad corriente (m/s), AWAC (3.25 m del fondo)	198	1.01	0.01	0.61	0.25
Velocidad corriente (m/s), AWAC (4.25 m del fondo)	159	1.13	0.03	0.69	0.31
Velocidad corriente (m/s), AWAC (5.25 m del fondo)	124	1.28	0.04	0.68	0.33
Velocidad corriente (m/s), AWAC (6.25 m del fondo)	86	1.26	0.12	0.60	0.31

4.5. Mediciones de ESSA (perfiles de turbidez en creciente y bajante)

Se midieron perfiles verticales de corrientes, velocidad y dirección, usando un equipo ADCP Nortek AWAC de 1000 kHz., y perfiles verticales de conductividad (salinidad), temperatura (°C), turbidez (NTU), y profundidad (como presión hidrostática) con un equipo OBS 3A, en 10 estaciones a lo largo del estuario (ver Figura 4.3.1), en situación de bajante y 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 (ver Figuras 4.5.1 a 4.5.5). En todos los casos, la profundidad se ha medido desde la superficie del mar.

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.

La temperatura varía en su valor a medida que se recorren los puntos de muestreo hacia el mar. Típicamente, las estaciones en el río Santa cruz muestran valores de temperatura mayor en creciente que en bajante, de hasta unos 2°C (entre 12 y 14°C, aproximadamente), ver Figuras 4.5.6 a 4.5.9. Las Estaciones 09 y 10 (Figuras 4.5.9 a 4.5.10) muestran poca diferencia de temperaturas en creciente y bajante y sus valores no superan los 14°C.

Los perfiles de salinidad indican cero salinidades 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 (ver Figura 4.5.11).

Figura 4.5.1 mediciones de turbidez en las Estaciones 01 (izquierda) y 02 (derecha).

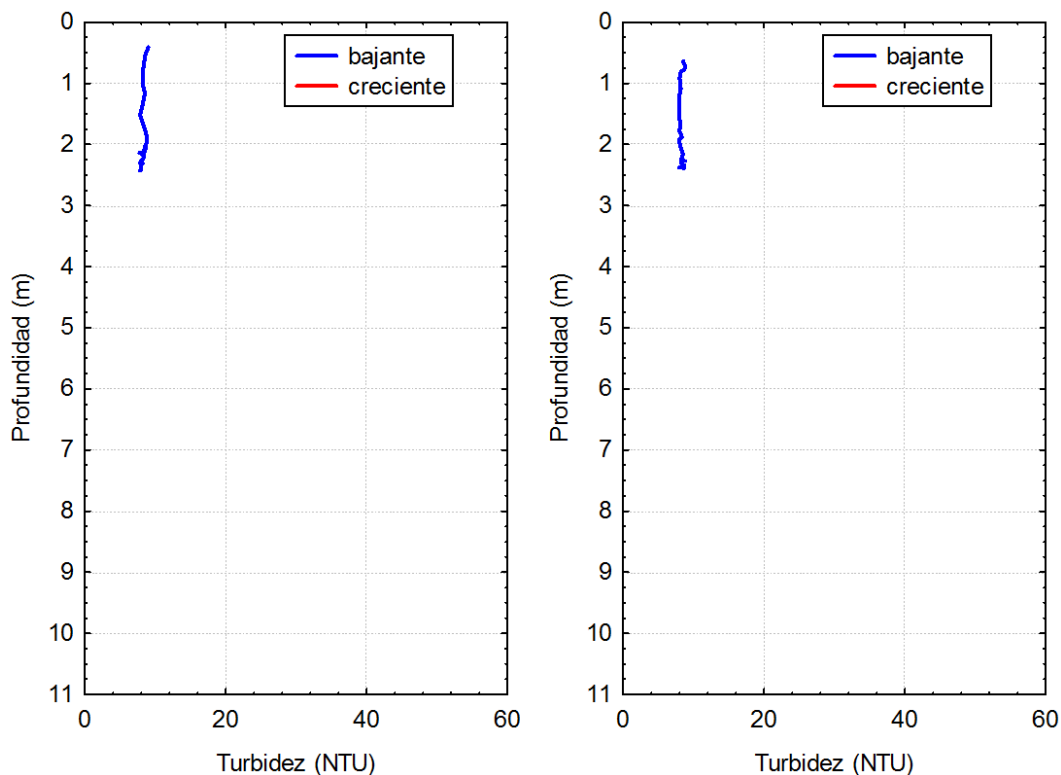


Figura 4.5.2 mediciones de turbidez en las Estaciones 03 (izquierda) y 04 (derecha)

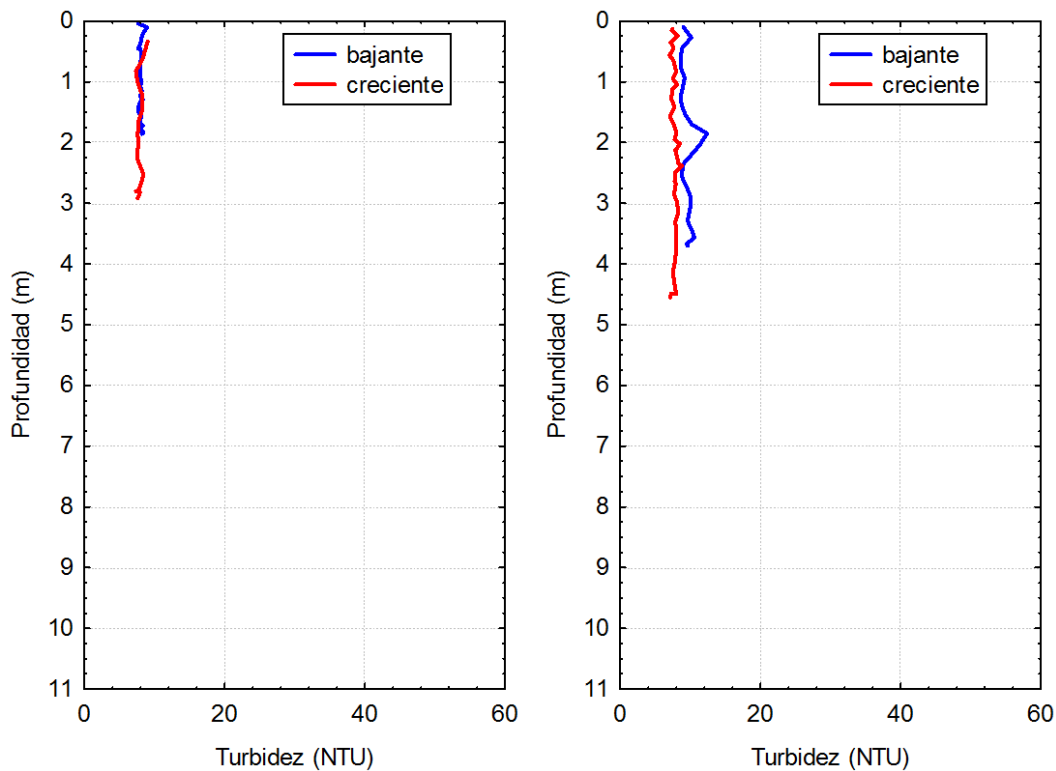


Figura 4.5.3 mediciones de turbidez en las Estaciones 05 (izquierda) y 06 (derecha)

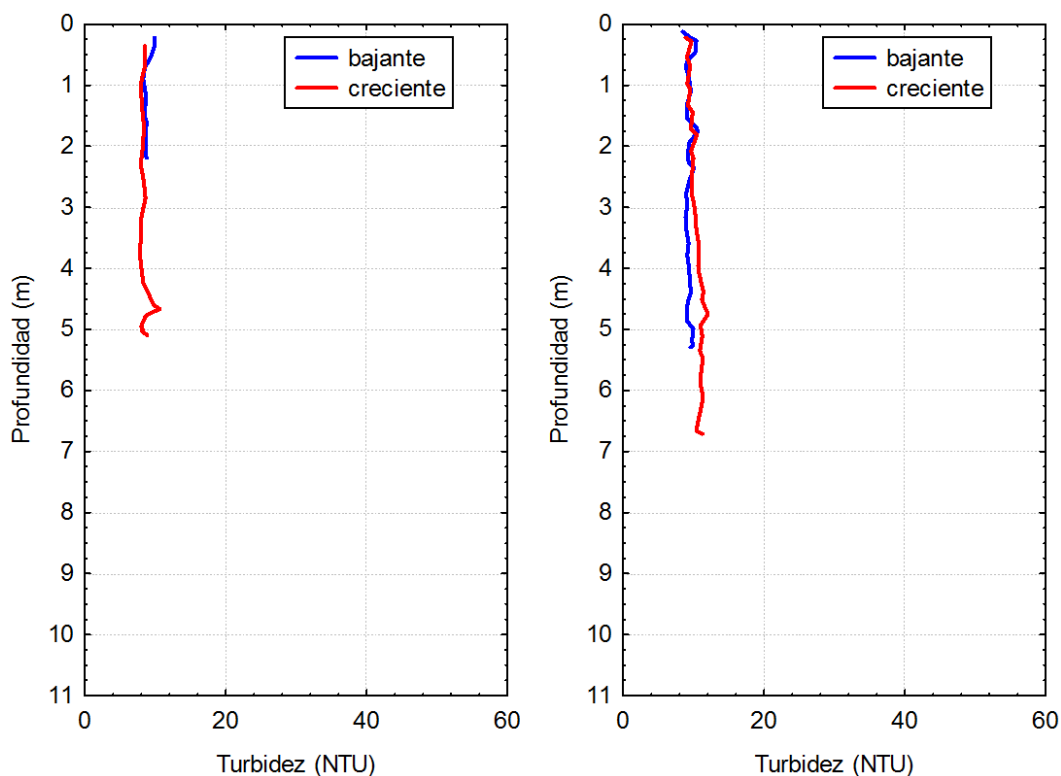


Figura 4.5.4 mediciones de turbidez en las Estaciones 07 (izquierda) y 08 (derecha)

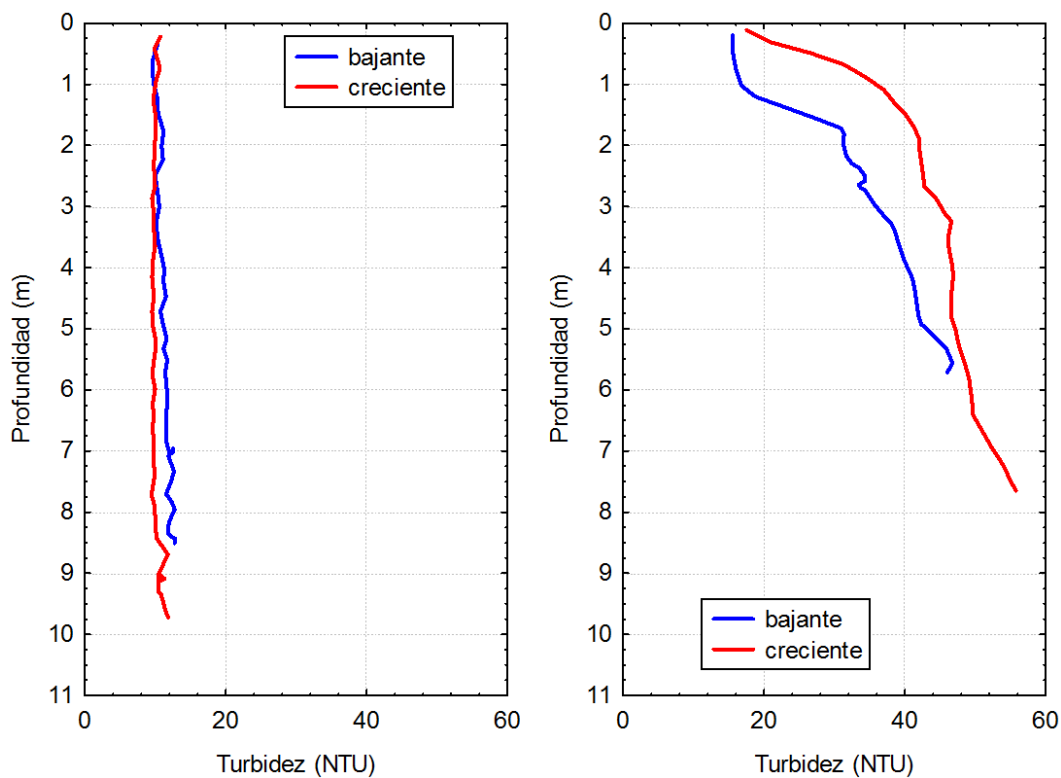


Figura 4.5.5 mediciones de turbidez en las Estaciones 09 (izquierda) y 10 (derecha)

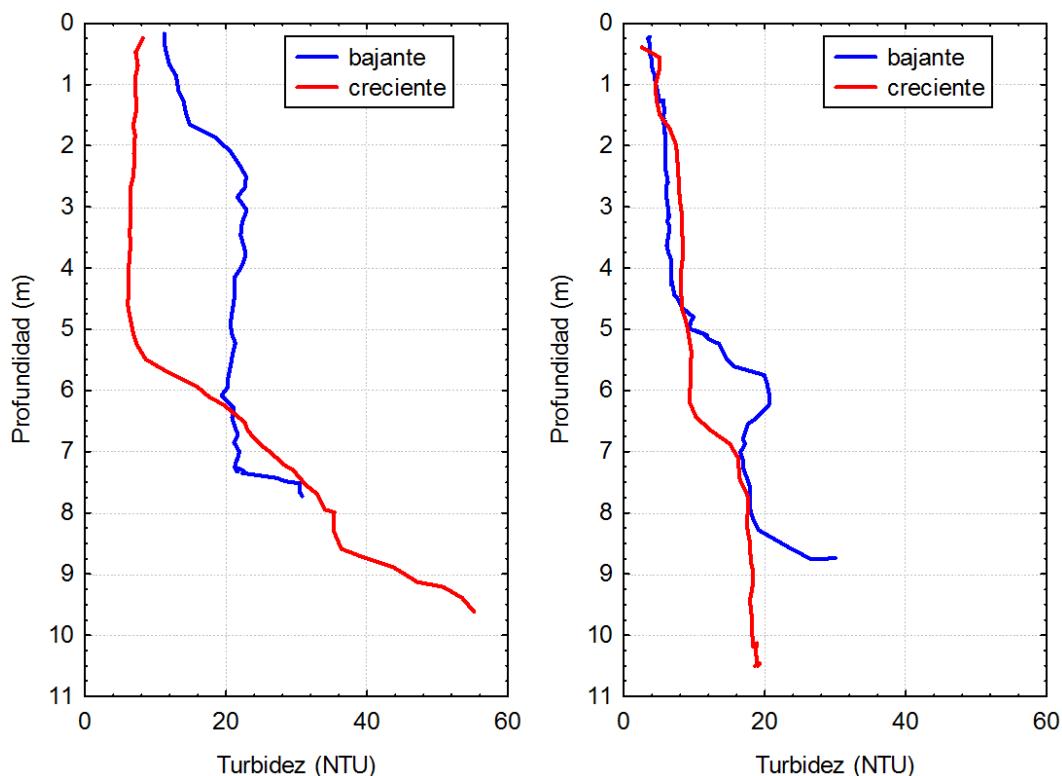


Figura 4.5.6 Mediciones de temperatura en las Estaciones 01 (izquierda) y 02 (derecha)

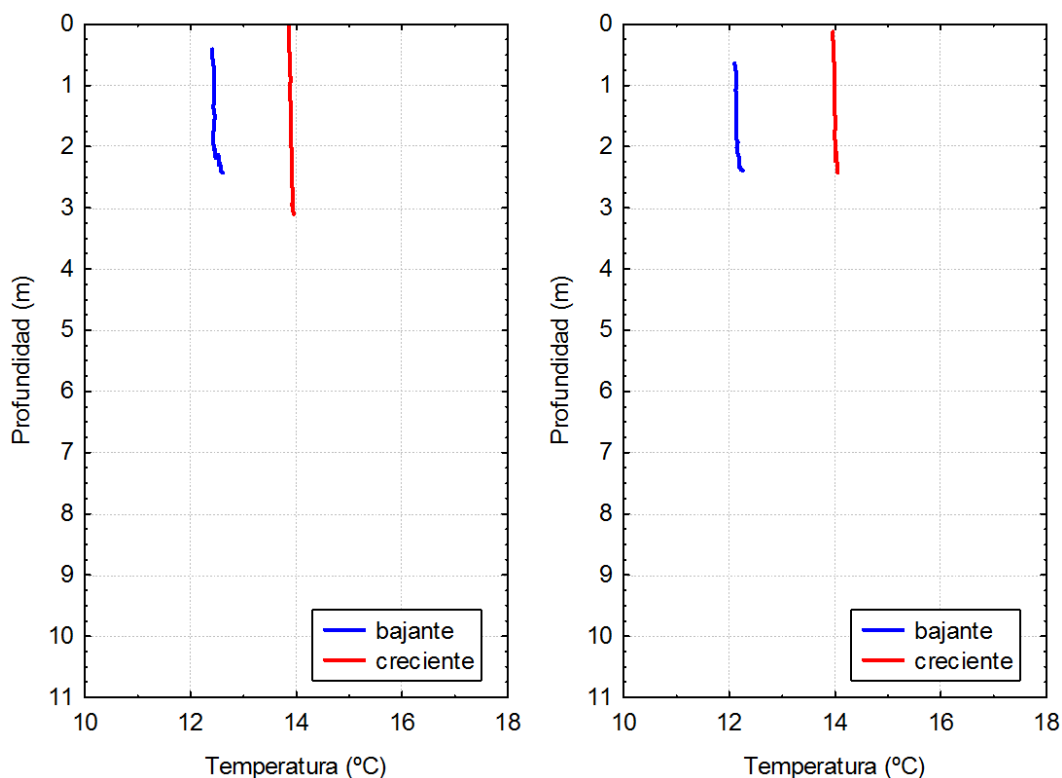


Figura 4.5.7 Mediciones de temperatura en las Estaciones 03 (izquierda) y 04 (derecha)

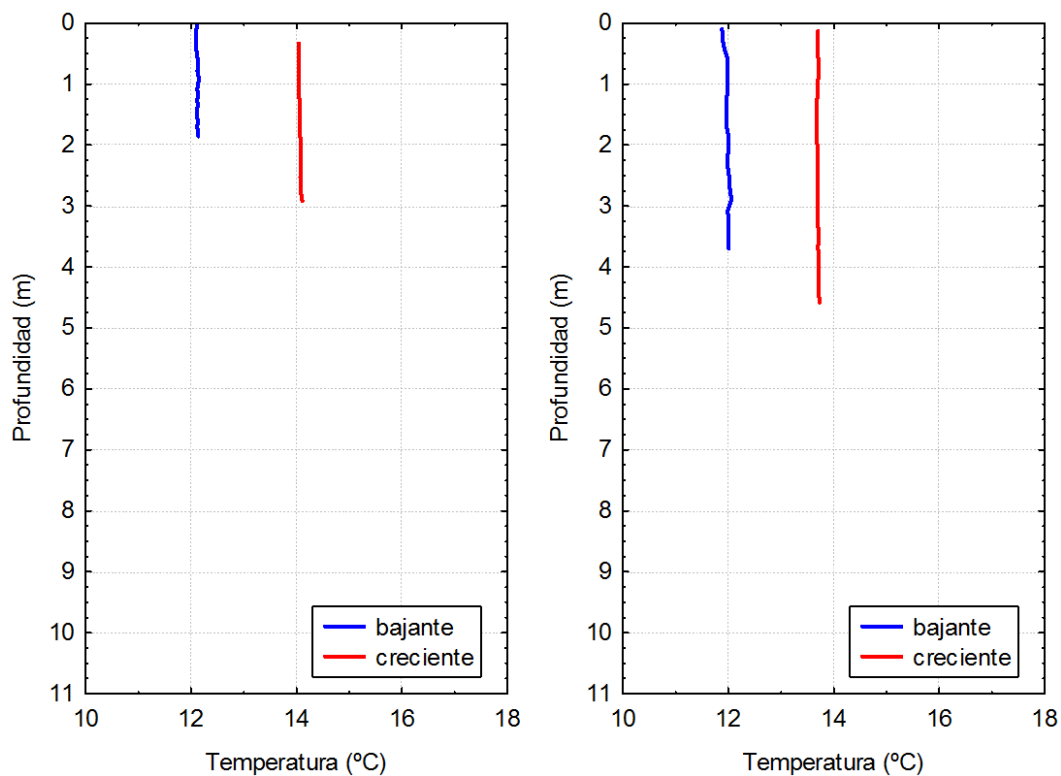


Figura 4.5.8 Mediciones de temperatura en las Estaciones 05 (izquierda) y 06 (derecha)

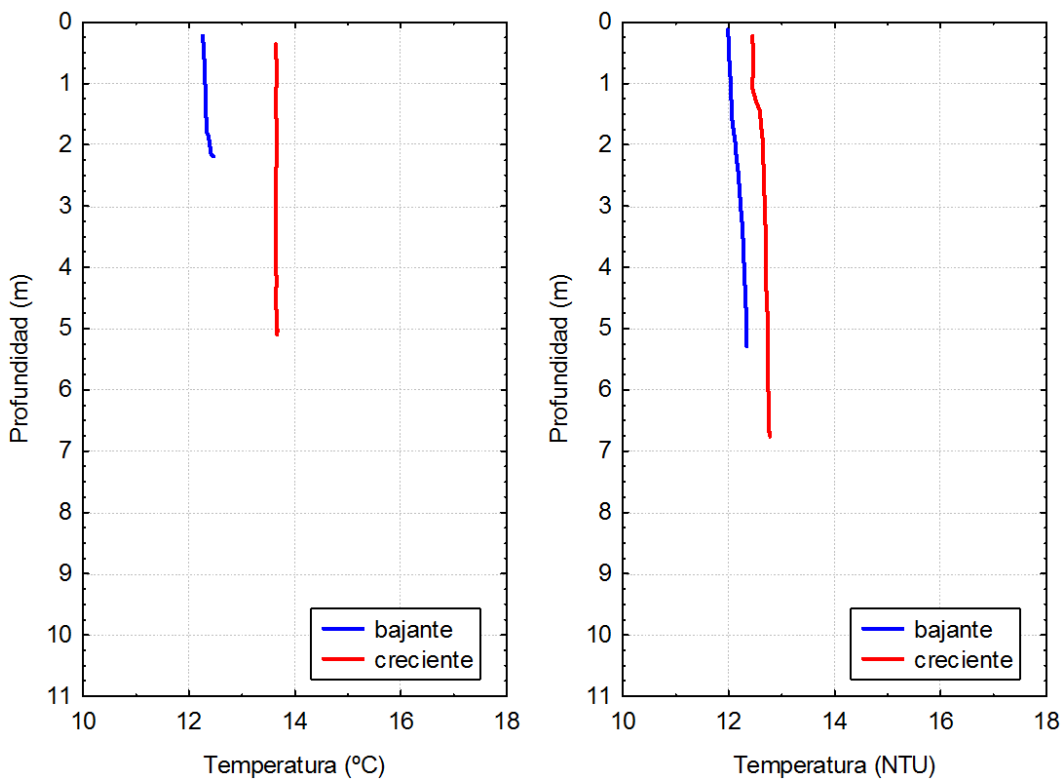


Figura 4.5.9 Mediciones de temperatura en las Estaciones 07 (izquierda) y 08 (derecha)

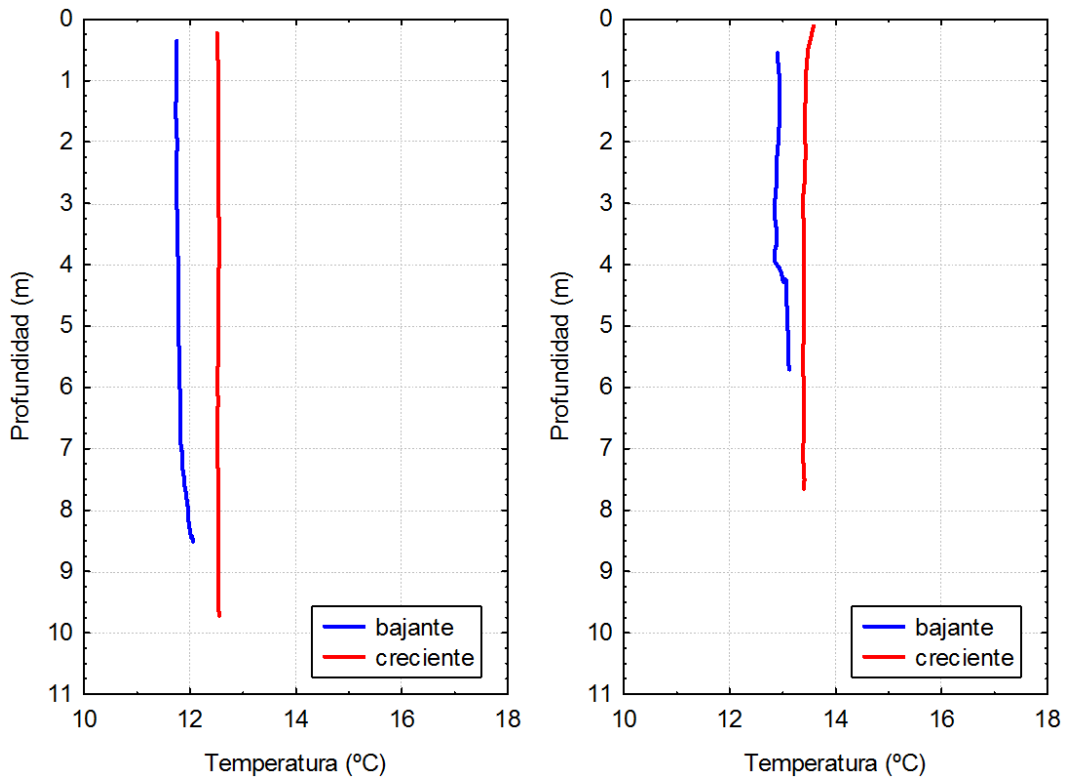


Figura 4.5.10 Mediciones de temperatura en las Estaciones 09 (izquierda) y 10 (derecha)

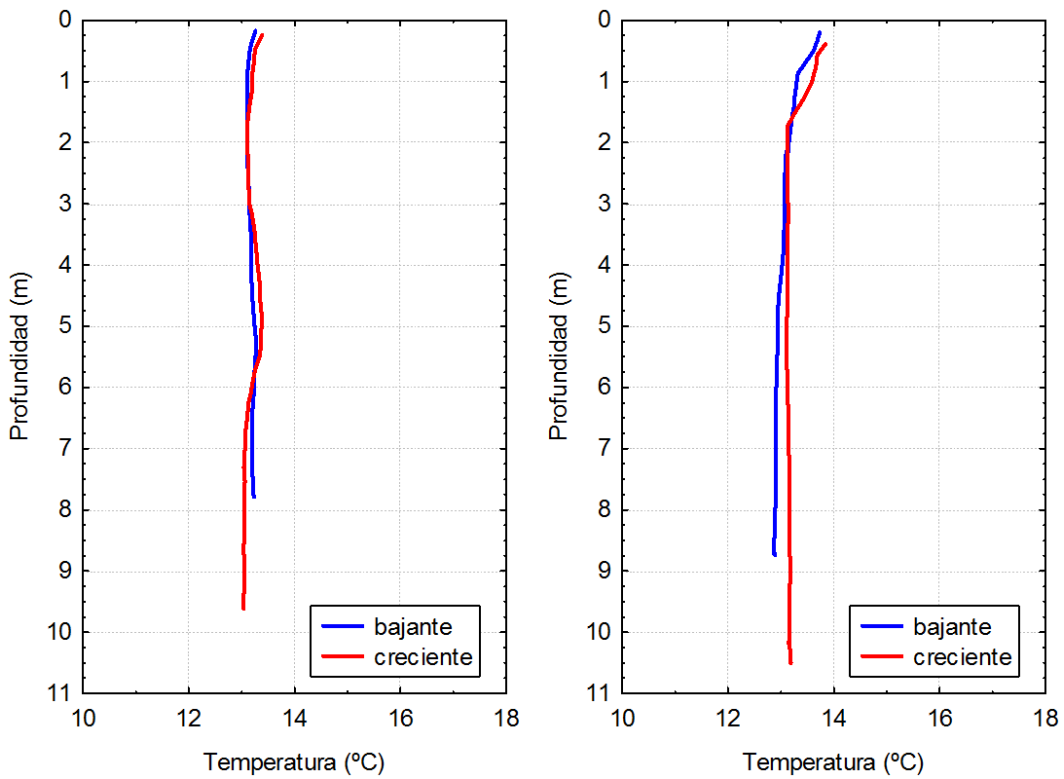
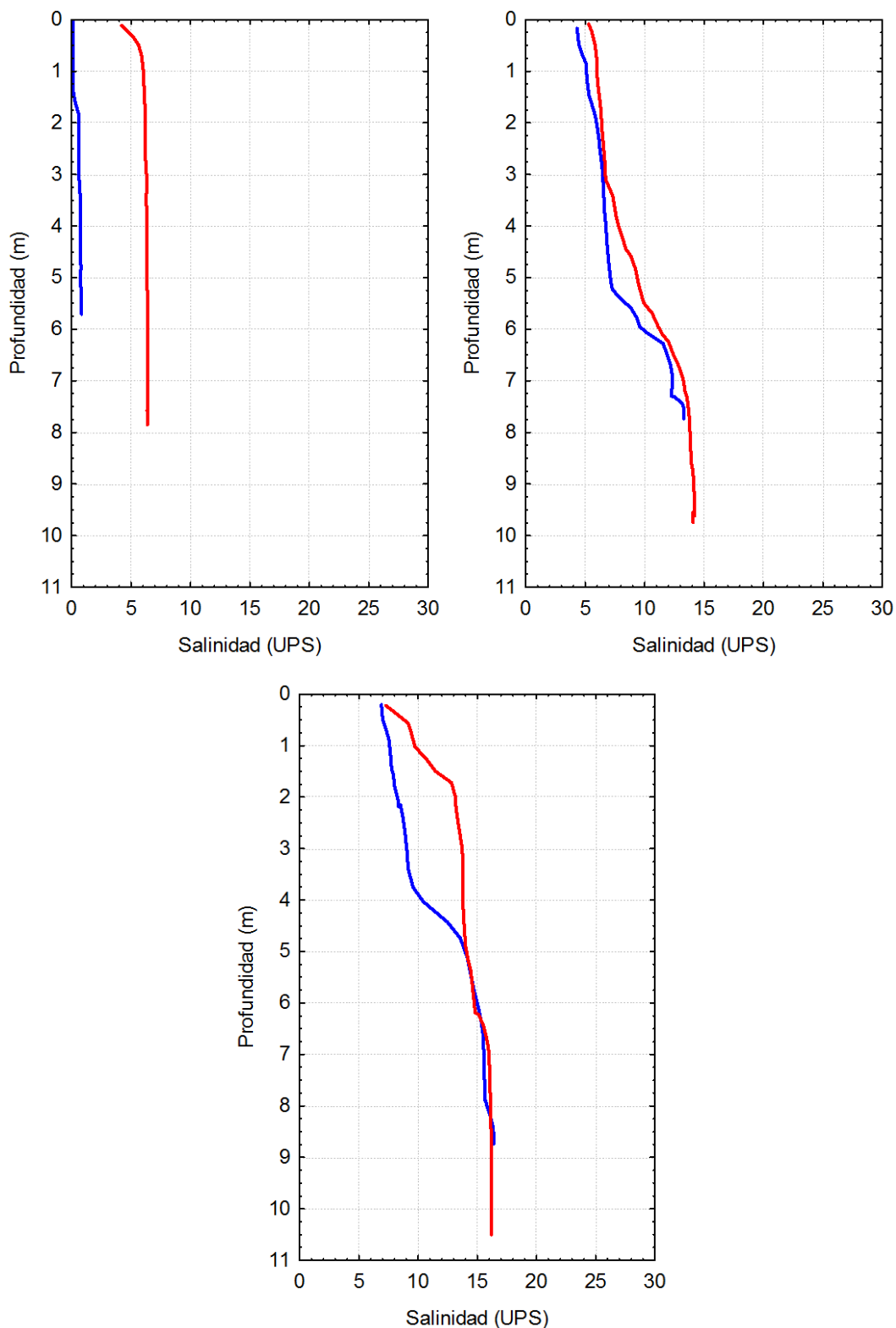


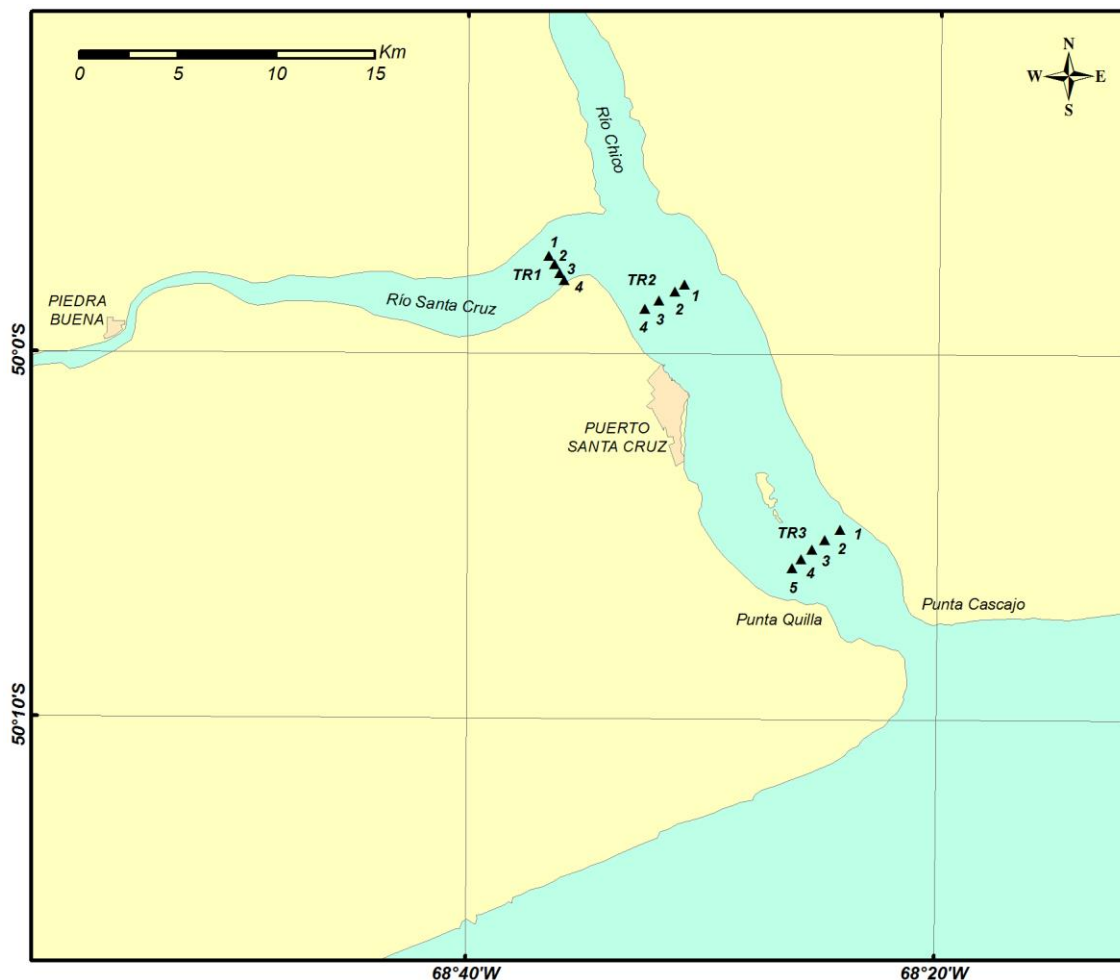
Figura 4.5.11 Perfiles de salinidad en los puntos P8 (izquierda), P9 (derecha) y P10 (abajo). Nota: los perfiles P1 a P7 no muestran salinidad durante las mediciones.



4.6. Perfiles de corrientes

Durante el estudio de campo realizado en diciembre de 2016, se hicieron mediciones de perfiles de corrientes en 13 puntos, ubicados sobre 3 transectas, como se muestra en la Figura 4.6.1. Los perfiles medidos se presentan en la parte de calibración del modelo.

Figura 4.6.1 Ubicaciones de las transectas con estaciones de mediciones de perfiles de corrientes



4.7. Batimetría

La batimetría para la grilla de modelo se ha construido a partir de varias fuentes:

Servicio de Hidrografía Naval

Carta náutica H413 "De Puerto San Julián a Río Gallegos"

Carta náutica 2 "Puerto Santa Cruz"

Carta náutica H367 "Punta Quilla"

ESSA

ESSA realizó un relevamiento complementario con 40 km de perfiles

5 Perfiles en Río Chico

6 Perfiles en el Río Santa Cruz

6 Perfiles en la zona del estuario

Batimetría entregada por el cliente

Consta de 20 Perfiles en el Río Santa Cruz entre Piedrabuena y el estuario y 3 Perfiles en la zona del estuario

4.8. Temperatura del aire en Puerto Santa Cruz

Se han obtenido los datos de temperatura del aire para Puerto Santa Cruz, que se muestran en la Tabla 4.8.1.

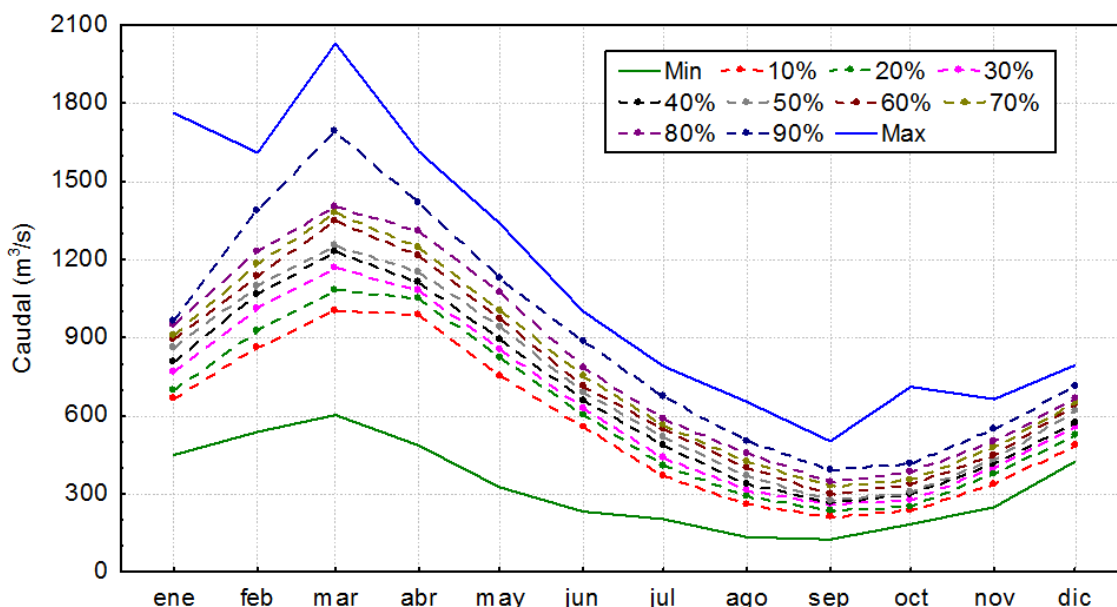
Tabla 4.8.1 temperatura del aire para la Estación Puerto Santa Cruz (Servicio Meteorológico Nacional), período 1901-1960. Altura 12 m s/NMM

Temperatura (°C)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Media	14.3	14.1	12.2	8.6	4.6	1.7	1.8	3.5	6.1	8.8	11.4	12.8	8.3
Máxima Media	21.0	20.9	18.8	14.3	9.2	5.4	5.6	8.2	11.8	16.0	18.7	21.1	14.3
Mínima Media	8.9	8.4	6.6	3.5	0.6	-2.0	-1.9	-0.5	1.2	3.6	6.0	8.0	3.5
Mínima Absoluta	0.0	-3.8	-3.2	-8.0	-12.1	-17.0	-16.5	-17.0	-7.4	-6.6	-3.4	-0.6	-17.0

4.9. Caudales mensuales del Río Santa Cruz

Se han obtenido los datos de caudales del Río Santa Cruz en Estación Charles Führ para el período septiembre de 1955 – agosto de 2015, provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos. La Figura 4.9.1 muestra los caudales en términos de los caudales medios, mínimos y máximos.

Figura 4.9.1 Frecuencia de caudales medios mensuales del Río santa Cruz en Estación Charles Führ (septiembre de 1955 – agosto de 2015) (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar>)



5. CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS

5.1. Introducción

El programa utilizado es MIKE 3 HD (HYDRODYNAMIC) versión FM (FEXIBLE MESH) con módulo AD (ADVECTION-DISPERSION) y módulo MT (MUD TRANSPORT), desarrollado por Danish Hydraulic Institute (DHI).

MIKE 3 FM es una herramienta de modelado tridimensional general para aplicaciones oceanográficas, costeras y estuarinas. El modelo comprende varios modelos de turbulencia e incorpora efectos baroclínicos dinámicos a partir de diferencias de salinidad y temperatura, por lo que es posible introducir la presencia de flujo estratificado. El modelo puede depender de una serie de tiempo de forzantes externos como efectos meteorológicos y mareológicos.

La malla es desestructurada y flexible, lo que proporciona una flexibilidad óptima mientras se conserva una solución numérica eficiente. La discretización horizontal puede combinar triángulos y elementos cuadriláteros, mientras que la vertical se basa en una discretización sigma. La resolución a escala regional y la batimetría pueden aproximarse muy bien en los contornos y límites, imponiendo gradualmente una mayor resolución a través del método de malla flexible.

Las áreas de aplicación son generalmente problemas donde el flujo, el transporte y / o los efectos baroclínicos son importantes con énfasis en aplicaciones costeras y marinas. Ejemplos son el flujo y los transportes en estuarios de mareas, maremotos, circulación baroclínica, dispersión y efluentes o agua de enfriamiento e hidrodinámica de los lagos.

Las características de los modelos se presentan en los ANEXOS A, B y C.

5.2. Grilla del modelo

Se realizó un relevamiento batimétrico, que se adicionó a la batimetría realizada por la Represas Patagonia y a la batimetría de las cartas náuticas. Los datos batimétricos en formato X, Y y Z, fueron incorporados al MIKE 3 (HD) que, a partir de una subrutina, generó la grilla de modelación sobre la cual se hicieron las simulaciones. La grilla seleccionada cuenta con 20874 elementos de variada forma y tamaño para hacer eficiente el cálculo.

Los datos batimétricos obtenidos por ESSA, y por Represas Patagonia coinciden con los datos de las cartas náuticas. En algunos sitios puntuales donde se detectaron algunas diferencias entre los sondeos de las cartas respecto a los sondeos de los relevamientos de Represas Patagonia y ESSA, se utilizaron los valores de estos últimos relevamientos para la grilla de modelación.

La batimetría sobre la cual se soporta la grilla se presenta en la Figura 5.2.1. Un detalle de la grilla del modelo se presenta en la Figura 5.2.2

Figura 5.2.1 Batimetría completa del modelo sobre la cual se soporta la grilla

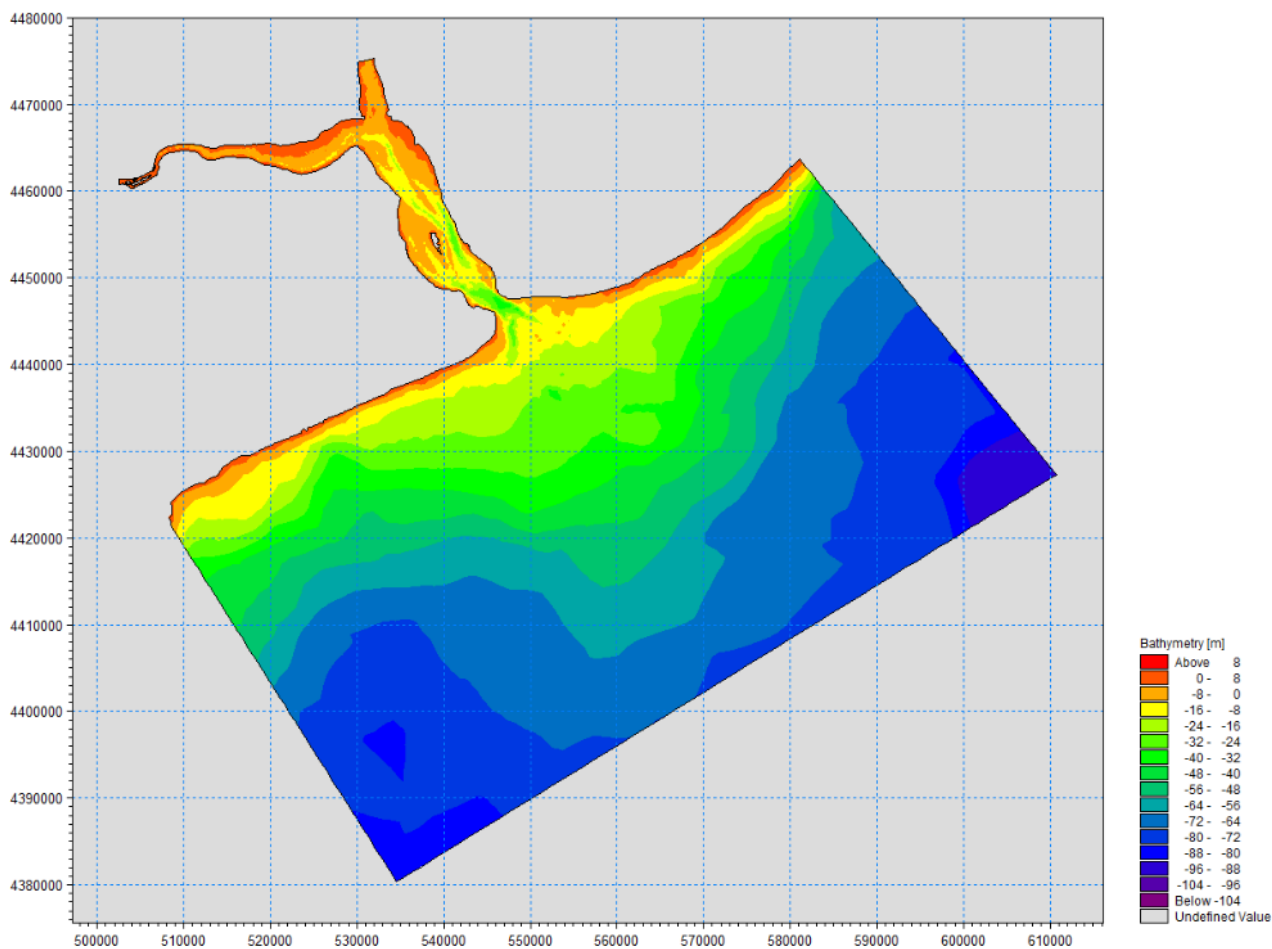
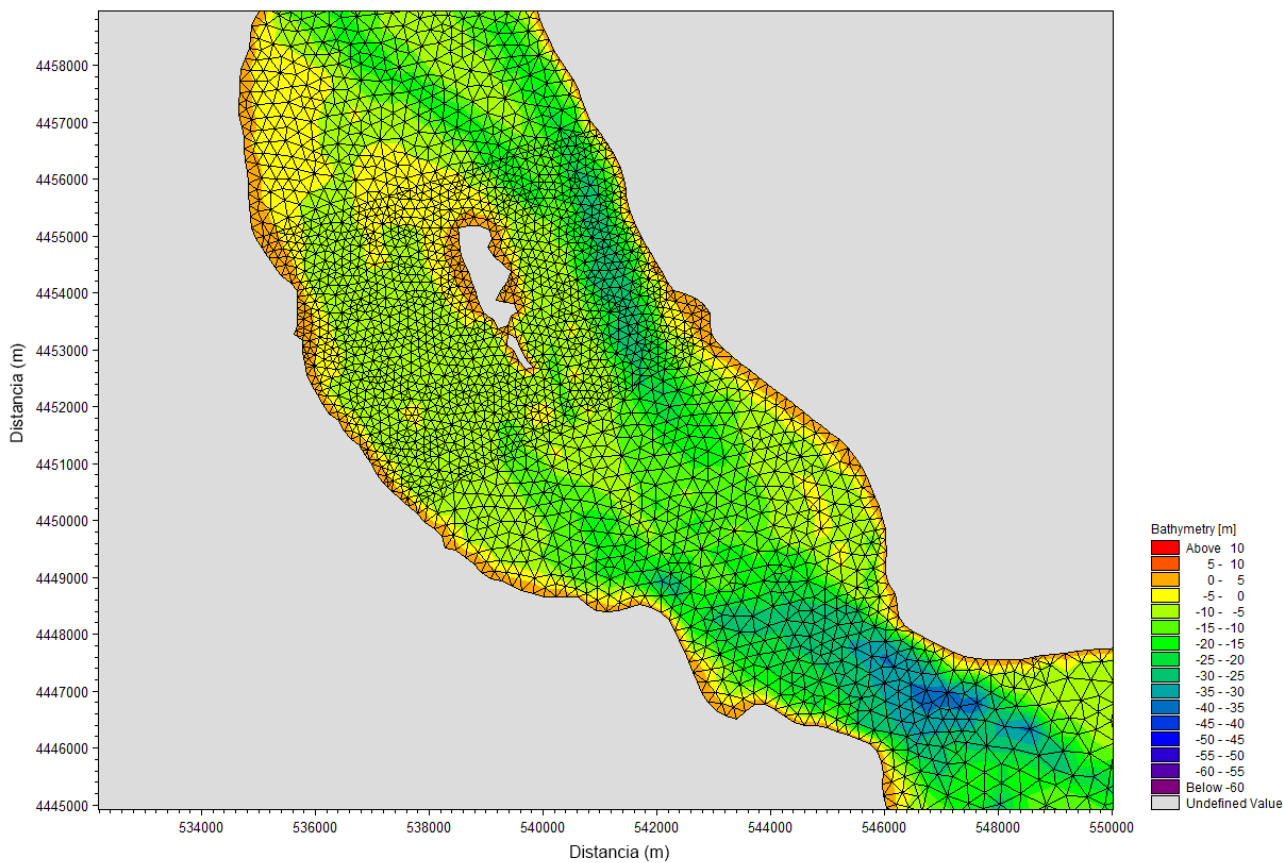
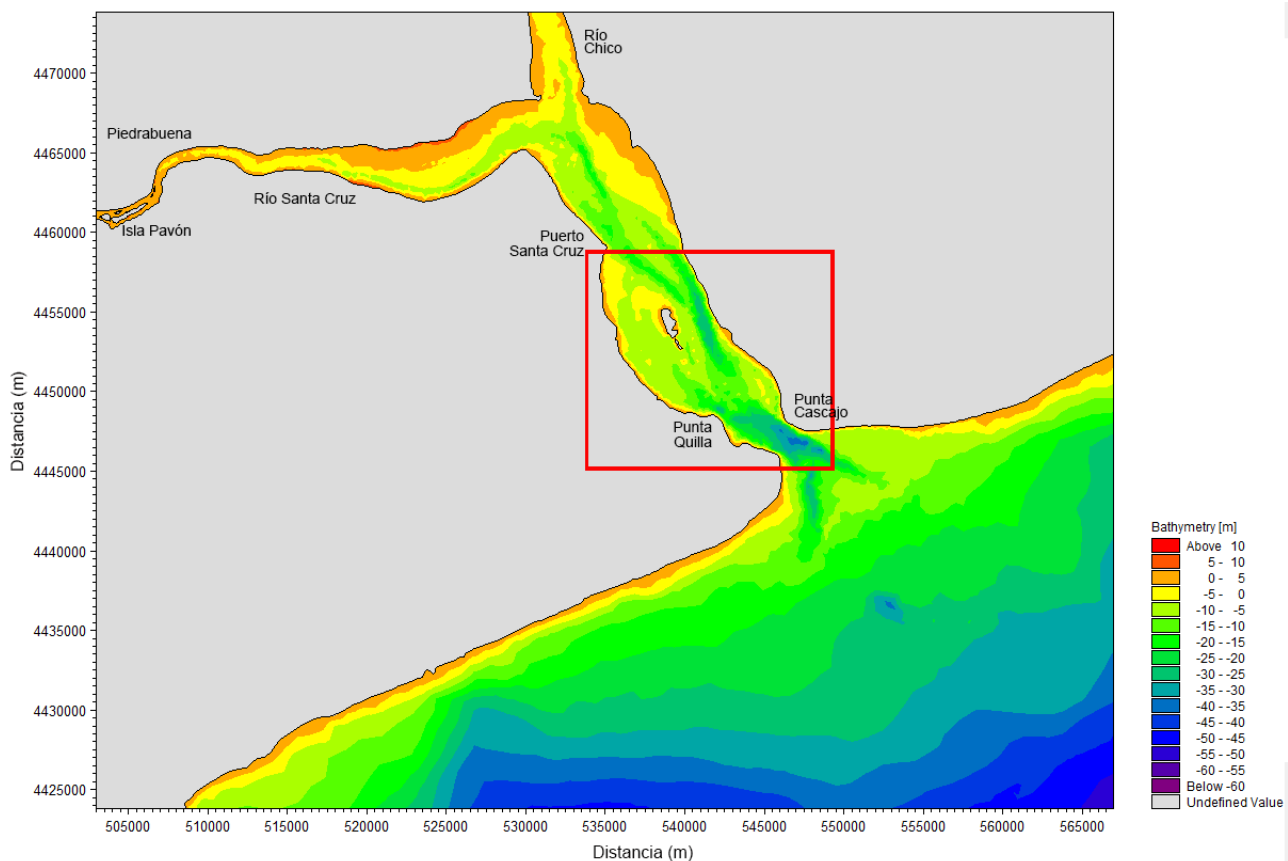


Figura 5.2.2 Batimetría parcial y detalle de la grilla del modelo



5.3. Características de las simulaciones

Los modelos tienen numerosas características y parámetros de calibración que fueron usados. La Tabla 5.3.1 muestra un resumen de las características de la modelación.

Tabla 5.3.1 Características generales de las simulaciones

Tema	Característica	Detalle	
Batimetría	Tipo de grilla	Flexible mesh (elementos finitos)	
	Nodos de cálculo	11167	
	Elementos	20874	
	Capas sigma	5	
	Datos batimétricos:	Carta, ESSA y mediciones de ADB	
Variables tratadas	Niveles del agua	Variable 2D en tiempo y espacio	
	Corrientes	Variable 3D en tiempo y espacio	
	Temperatura	Variable 3D en tiempo y espacio	
	Salinidad	Variable 3D en tiempo y espacio	
	Transporte de sedimentos	Variable 3D en tiempo y espacio	
Módulo hidrodinámico	Tipo de solución numérica	Orden bajo con algoritmo rápido	
	Celdas secas y húmedas	Si	
	Viscosidad turbulenta horizontal	Formulación de Smagorinsky, coeficiente: 0.35	
	Viscosidad turbulenta vertical	Formulación logarítmica	
	Rugosidad del fondo	0.07	
	Coeficientes de forzantes de viento	Variable en función del viento entre 0.0025 (5 m/s) y 0.005 (25 m/s)	
	Condiciones de contorno	Niveles de marea en los bordes abiertos Caudales de los RSA (570 m³/s) y Chico (11 m³/s)	
Temperatura y salinidad	Tipo de solución numérica	Orden bajo con algoritmo rápido	
	Celdas secas y húmedas	Si	
	Dispersión horizontal	Viscosidad turbulenta, coeficiente: 1.2	
	Dispersión vertical	Viscosidad turbulenta, coeficiente: 0.0001	
	Intercambio de calor con la atmósfera	Calor latente	
		Calor sensible	
		Radiación de onda larga Radiación de onda corta	
	Condiciones de contorno	Condiciones atmosféricas de temperatura, humedad y cobertura del cielo Series de tiempo de temperatura y salinidad respaldadas por mediciones	
Transporte de sedimentos	Nº de fracciones	En desarrollo	
	Nº de capas de fondo		
	Velocidad de caída por fracción		
	Depositación		
	Coeficiente de Erosión		
	Tensión crítica		
	Densidad de la capa del fondo		
	Rugosidad del fondo		
	Dispersión horizontal		
	Dispersión vertical		
	Condiciones iniciales		
	Condiciones de contorno		

5.4. Corrientes y niveles del mar

Series de tiempo

Esta parte trata sobre la calibración del MIKE 3 (HD), esto es la comparación entre los valores medidos del nivel del mar y el campo de corrientes y los calculados por el modelo. La calibración es un proceso iterativo donde se modifican coeficientes hasta que se obtiene una correlación satisfactoria entre los valores medidos y los calculados por el modelo. Una vez dado por calibrado, el modelo puede calcular las variaciones del nivel del mar y las corrientes debidas a marea y vientos para otras épocas fuera del período de medición.

Es importante notar que la contribución de las mareas, tanto desde las variaciones periódicas del nivel del mar y las corrientes de marea asociadas, es de gran significancia en este lugar. 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 al carácter semidiurno de la marea que tiene dos pleamares y dos bajamares por día, aproximadamente.

Tal es la importancia de la marea que basta con observar la amplitud media (distancia desde la pleamar a la bajamar) que alcanza algo más de 10 m que la superficie del mar recorre en apenas algo más de 6 horas (tiempo entre pleamar y bajamar). Es por esta razón que las corrientes son muy intensas con velocidades en superficie que superan 1.5 m/s.

Este flujo de agua que entra y sale, permite que las aguas del estuario cambien todo el tiempo propiedades tales como la salinidad y la temperatura.

Como se ha presentado en (ESSA, 2017a), se ha realizado un estudio de campo en el que se han realizados mediciones de niveles del mar y río, corrientes, temperatura, salinidad y turbidez. Estos datos fueron usados para la calibración del modelo. A continuación se presentarán una serie de figuras con las comparaciones entre datos y resultados del modelo.

Las Figuras 5.4.1 y 5.4.2 muestran la comparación entre las profundidades medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) para la estaciones Mar y Estuario 2, respectivamente. Se puede ver que el modelo representa muy bien las variaciones del nivel del mar para el período de medición. La ventaja de disponer de una fuerza dominante como las mareas de gran amplitud, cuyas características son perfectamente predichas dado su origen astronómico, es que asegura que el modelo simulará los niveles del mar dentro del estuario con gran precisión más allá del período de medición.

Figura 5.4.1 Comparación entre las profundidades medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Mar

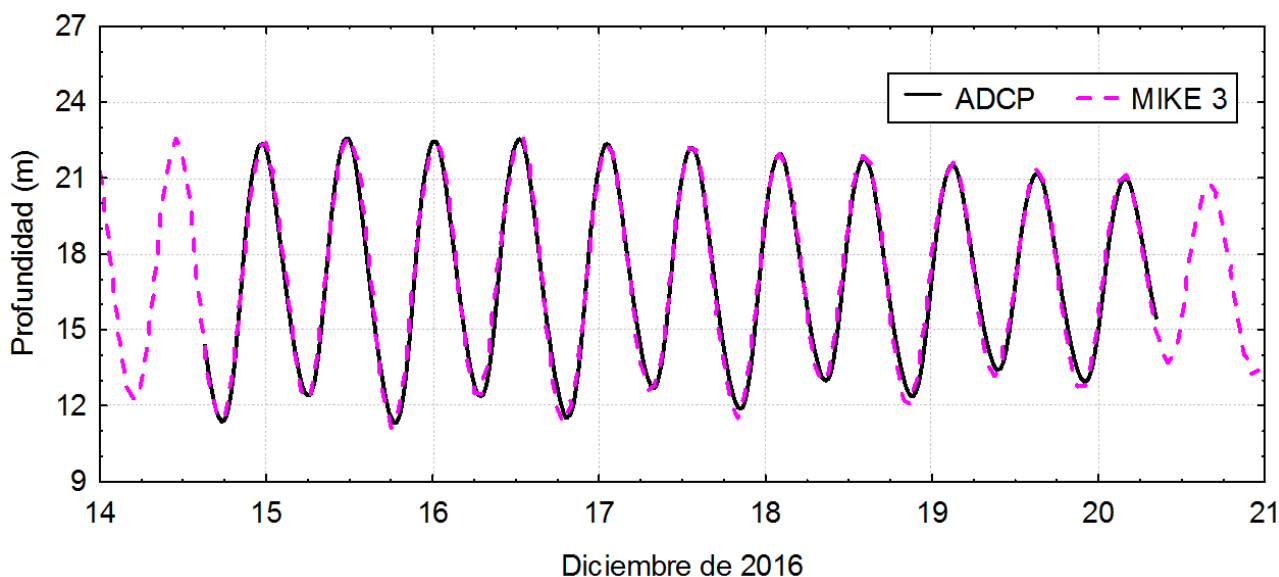
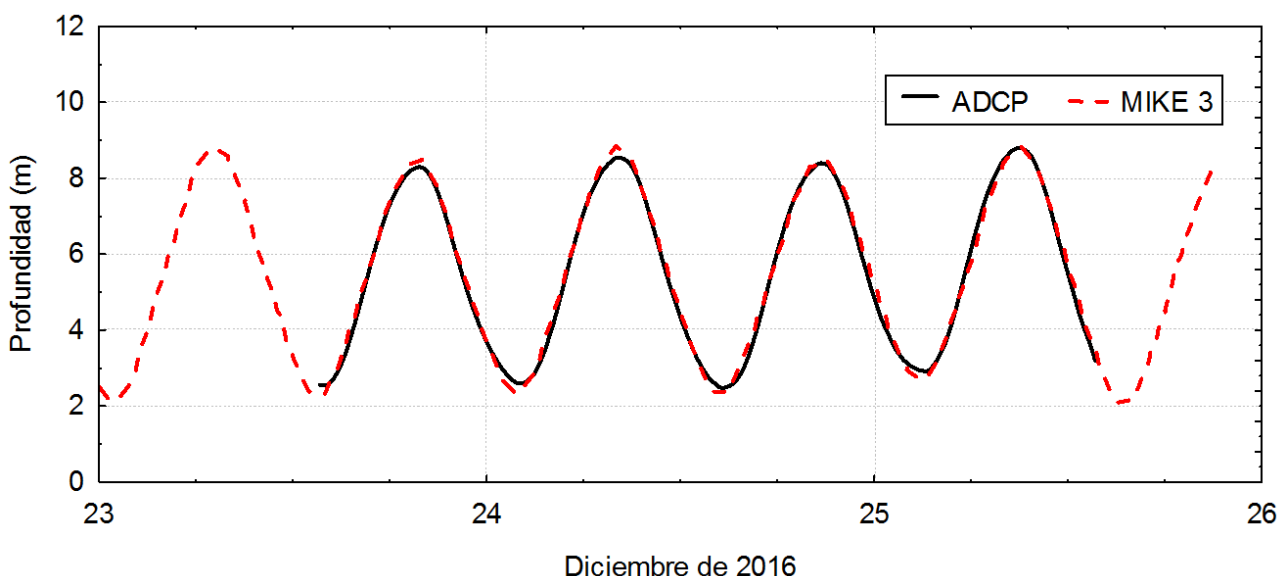


Figura 5.4.2 Comparación entre las profundidades medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Estuario 2



Las Figuras 5.4.3 a 5.4.6 muestran comparaciones entre las componentes de la velocidad medida y aquella calculada por el MIKE 3 (HD) para la Estación Mar.

La Figura 5.4.6 muestra la comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Mar, en una capa ubicada a 14.5, sobre el fondo. En este caso, puede verse que los datos se cortan, esto es, se interrumpe la serie. Esto ocurre porque en bajante la columna cuenta con menos agua de los 14.5 m.

Dado que las corrientes dominantes son las corrientes de marea, es esperable que las corrientes medidas y las calculadas por el MIKE 3 (HD) tengan una muy buena correlación, tanto cerca de la boca del estuario (Estación Mar) como dentro del estuario (Estación Estuario 2). En el caso de las

corrientes puede verse que la correlación entre las mediciones y los cálculos se satisfacen la magnitud de las corrientes como su fase, para todas las profundidades.

Las Figuras 5.4.7 a 5.4.10 muestran comparaciones entre las componentes de la velocidad medida y aquella calculada por el MIKE 3 (HD) para la Estación Estuario 2.

En este caso, las velocidades de las corrientes son de menor magnitud que en la estación Mar. Las correlaciones entre velocidades medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) son muy buenas según indican los coeficientes de correlación.

La Tabla 5.4.1 resume los valores de los coeficientes de correlación para las distintas comparaciones, que resultan satisfactorios y permite considerar calibrado el modelo MIKE 3 (HD).

Tabla 5.4.1 Valores de los coeficientes de correlación para las distintas comparaciones de las componentes de velocidad

Estación	Componente	Distancia desde el fondo (m)	Coefficiente de correlación, r
Mar	E-W	2.5	0.94
	N-S	2.5	0.96
	E-W	6.5	0.96
	N-S	6.5	0.98
	E-W	10.5	0.95
	N-S	10.5	0.97
	E-W	14.5	0.91
	N-S	14.5	0.96
Estuario 2	E-W	1.25	0.94
	N-S	1.25	0.93
	E-W	2.25	0.99
	N-S	2.25	0.93
	E-W	3.25	0.98
	N-S	3.25	0.97
	E-W	5.25	0.98
	N-S	5.25	0.98

Figura 5.4.3 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Mar, a 2.5, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

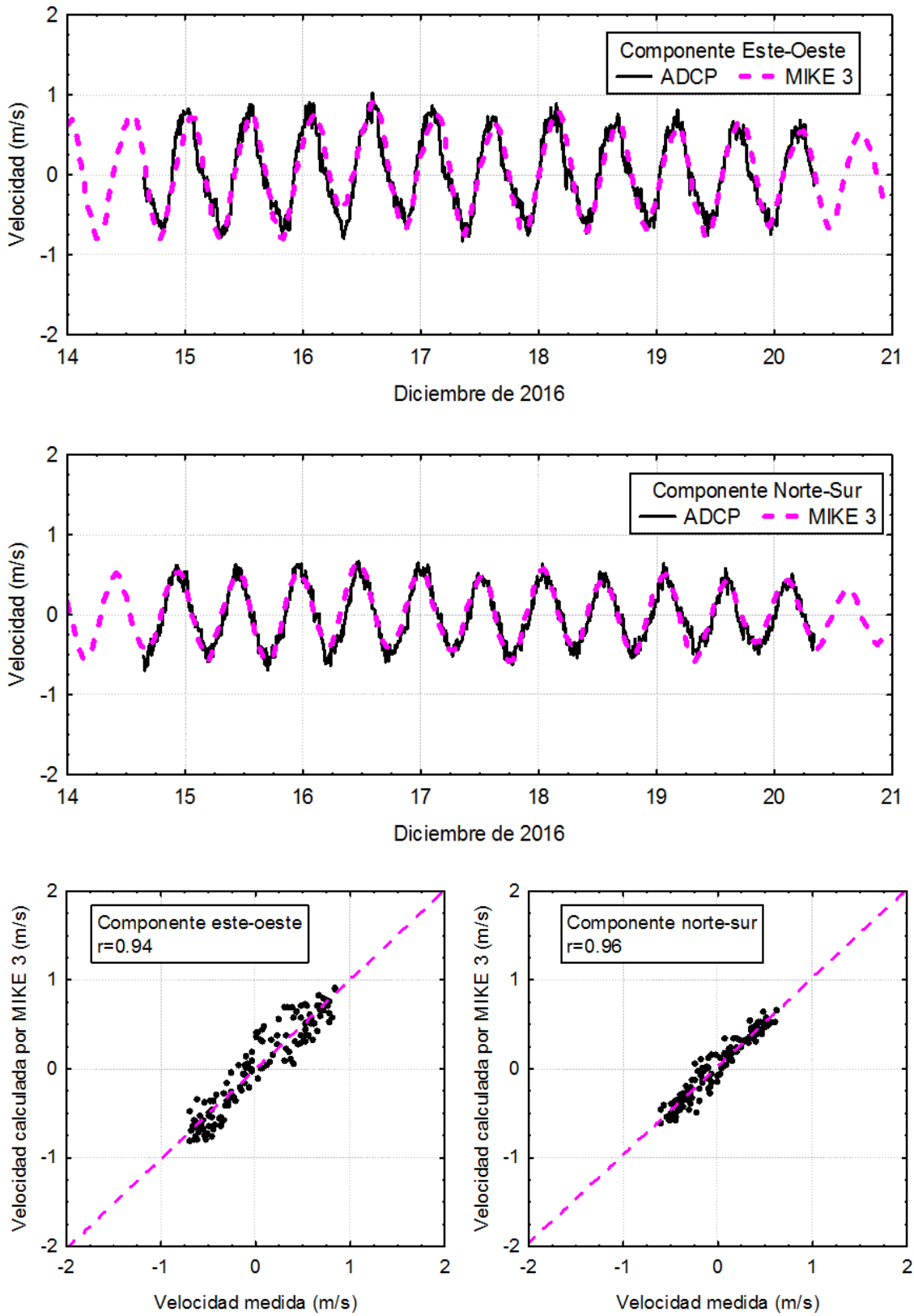


Figura 5.4.4 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Mar, a 6.5, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

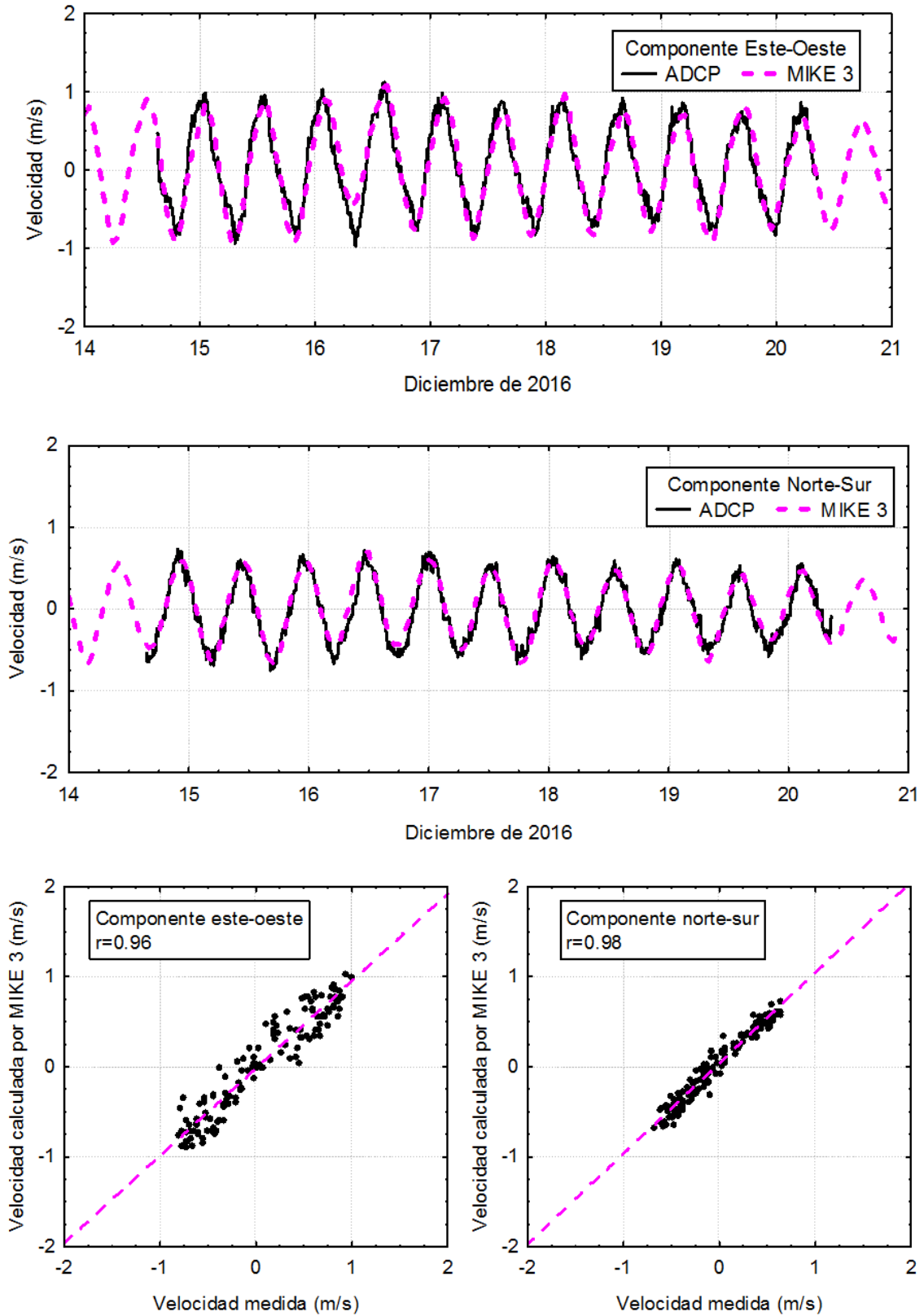


Figura 5.4.5 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Mar, a 10.5, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

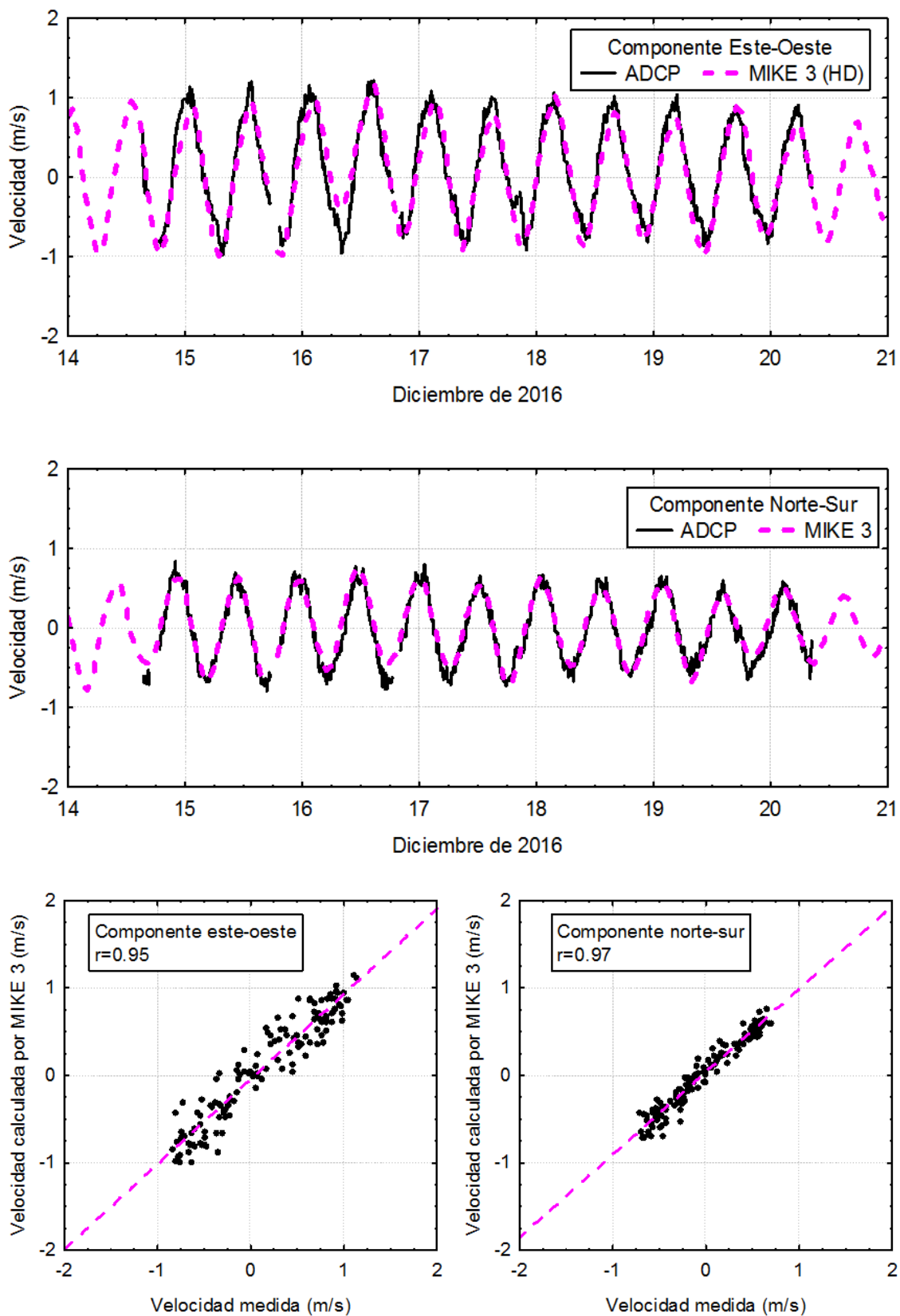


Figura 5.4.6 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Mar, a 14.5, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

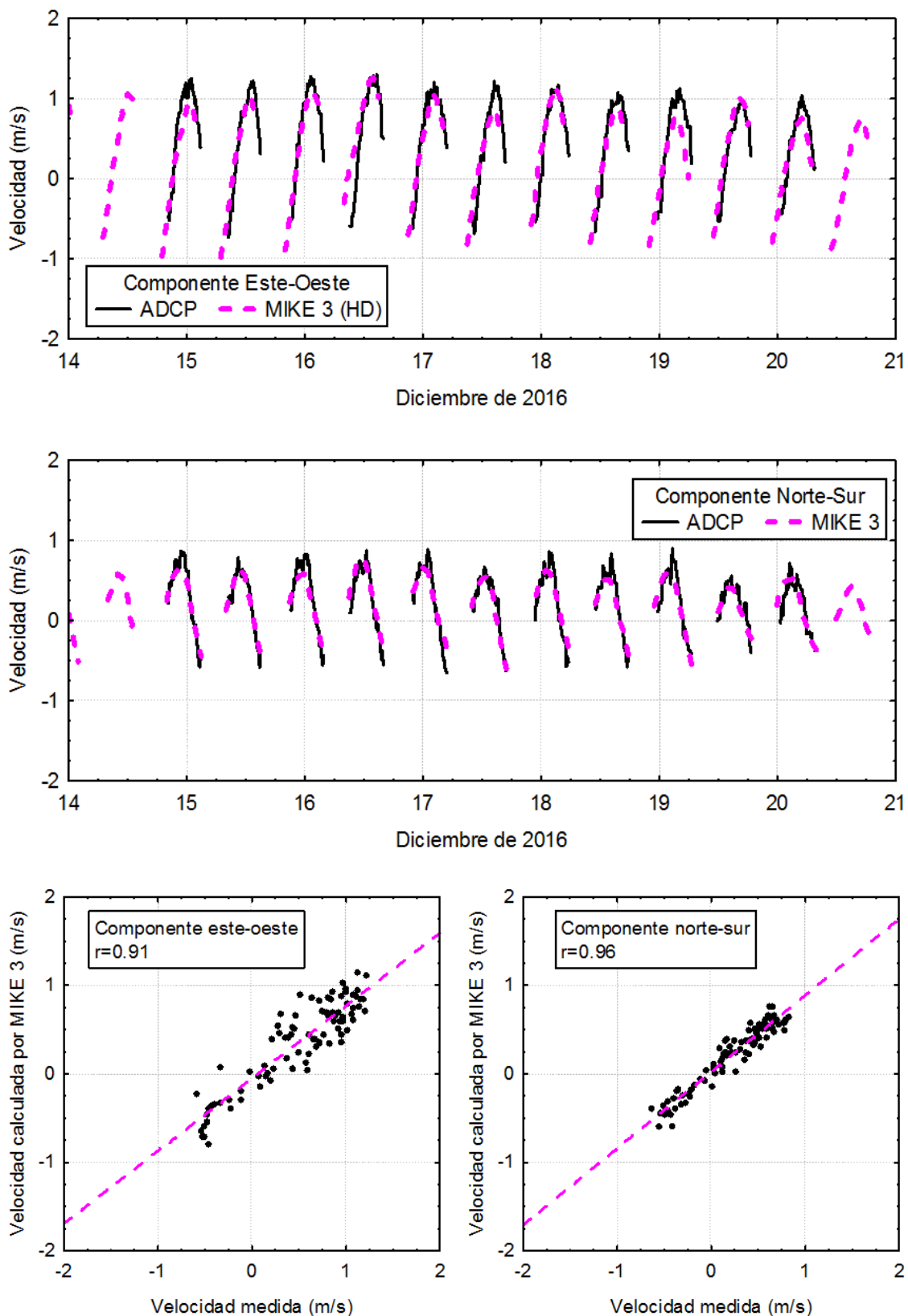


Figura 5.4.7 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estuario 2, a 1.25, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

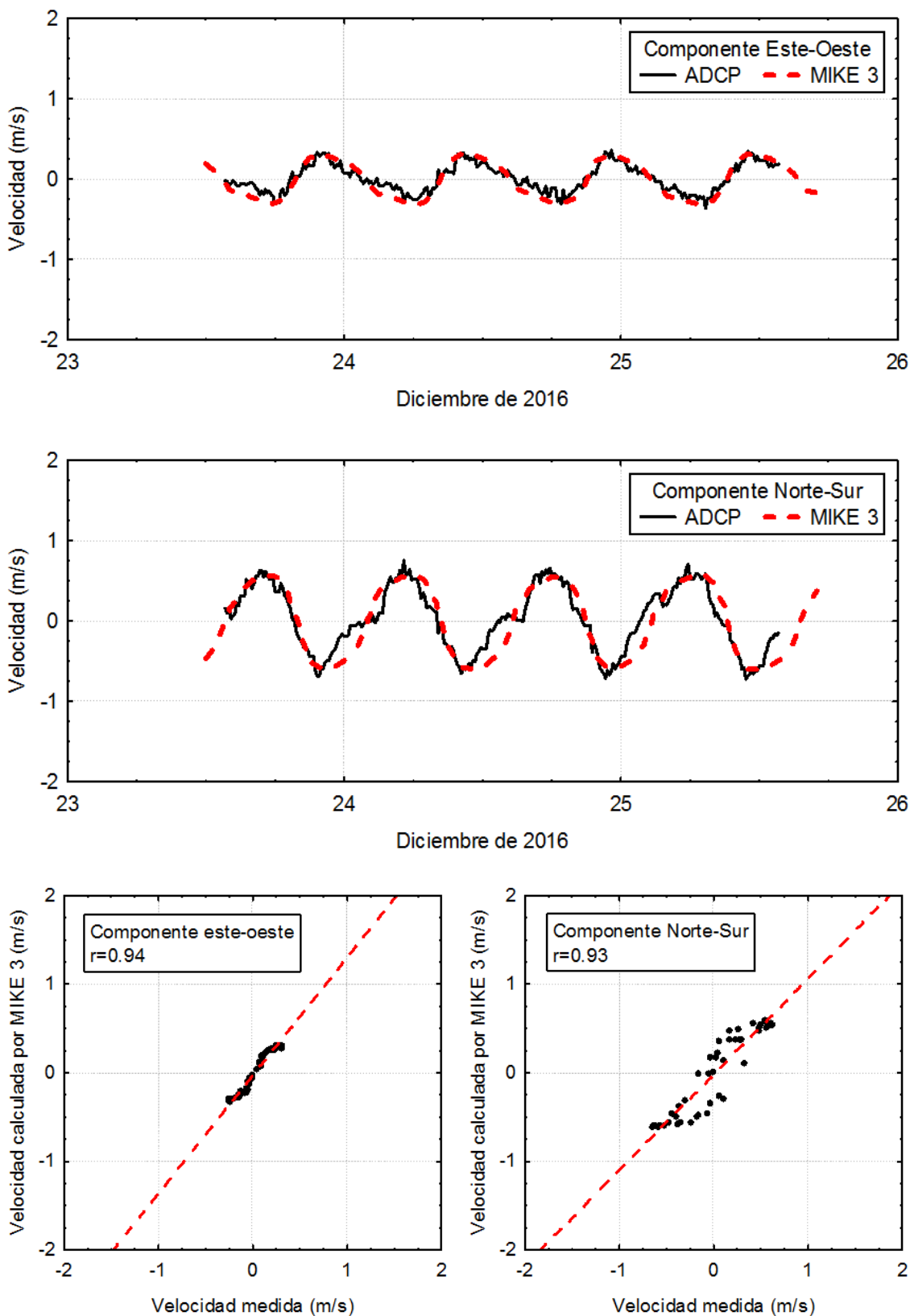


Figura 5.4.8 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Estuario 2, a 2.25, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

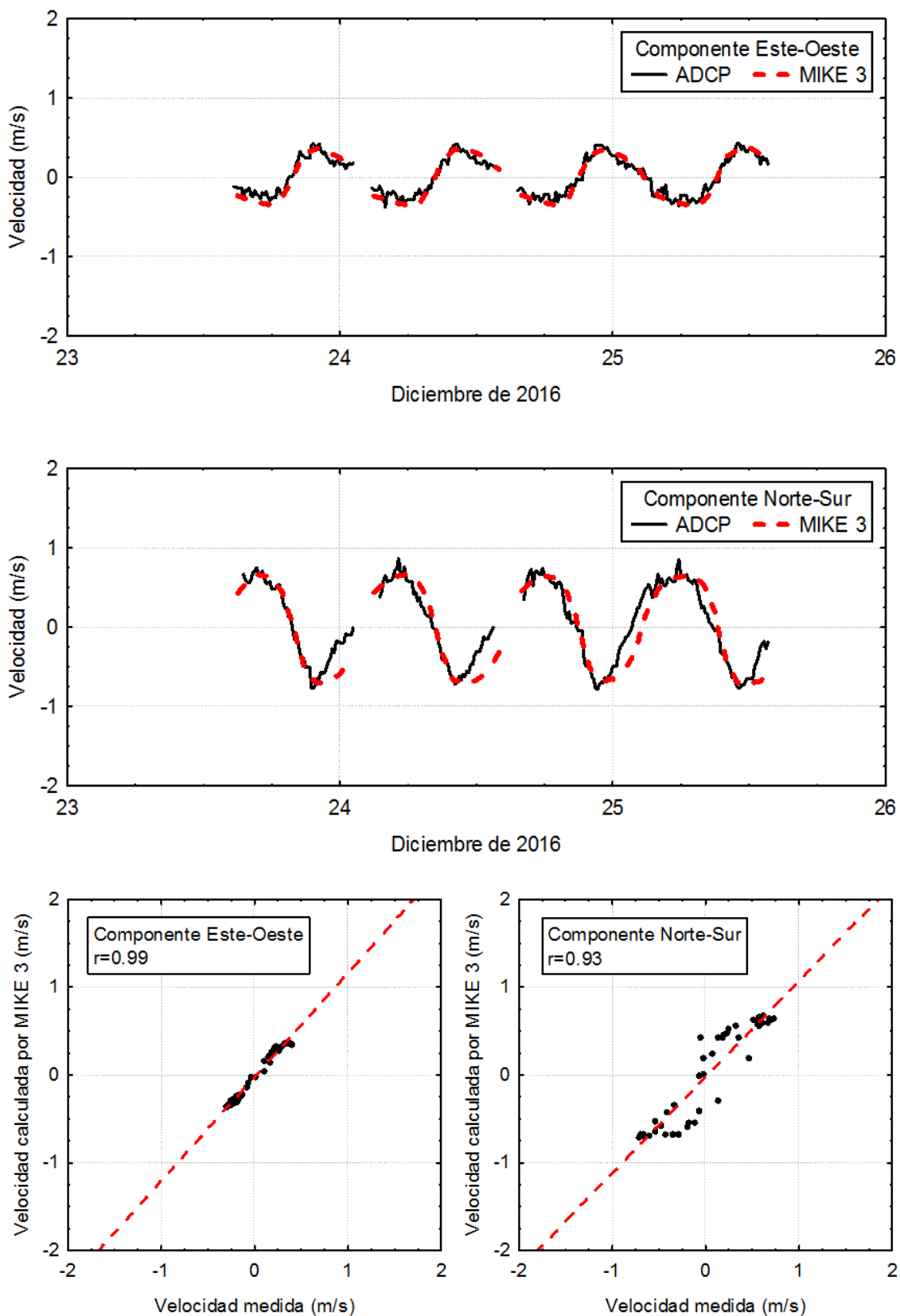


Figura 5.4.9 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Estuario 2, a 3.25, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

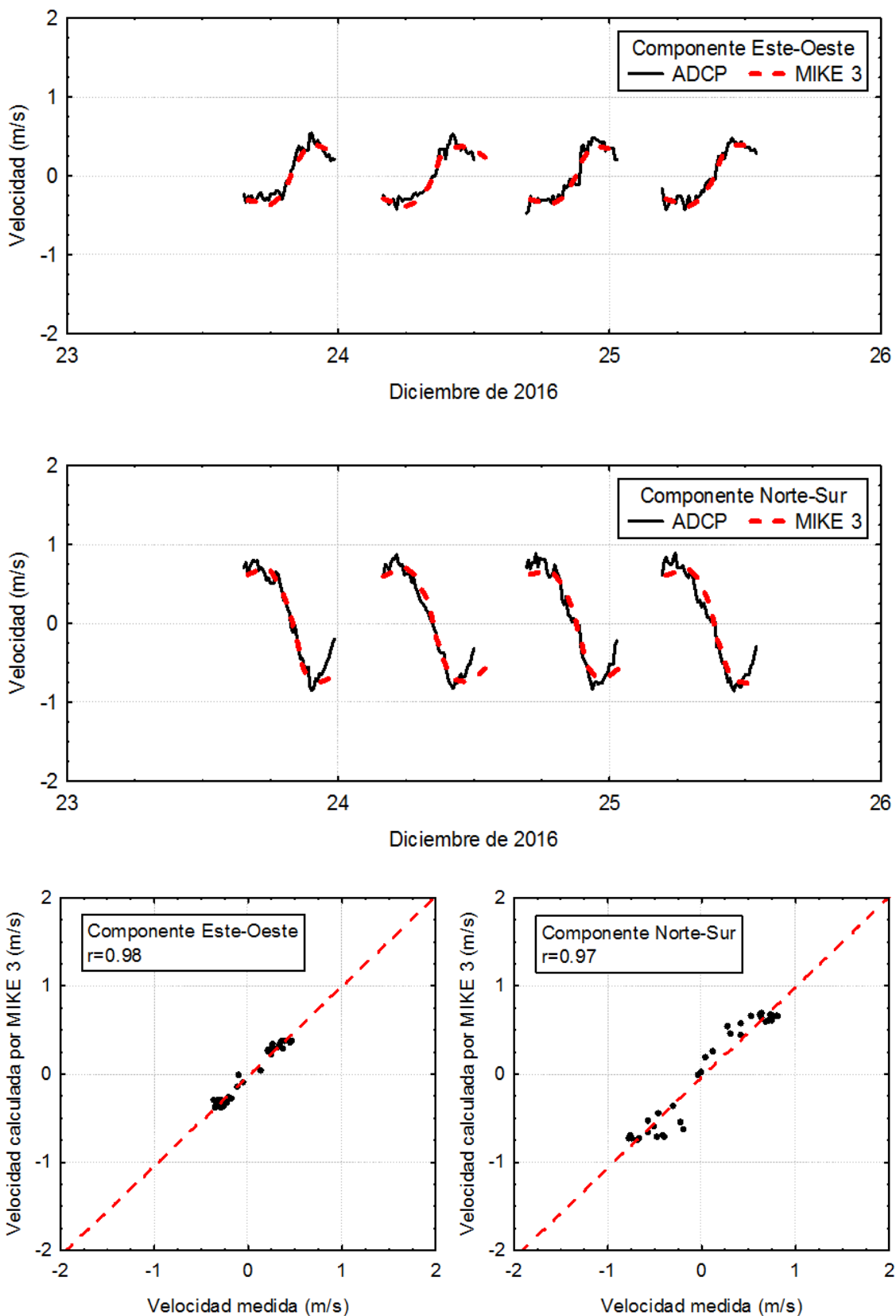
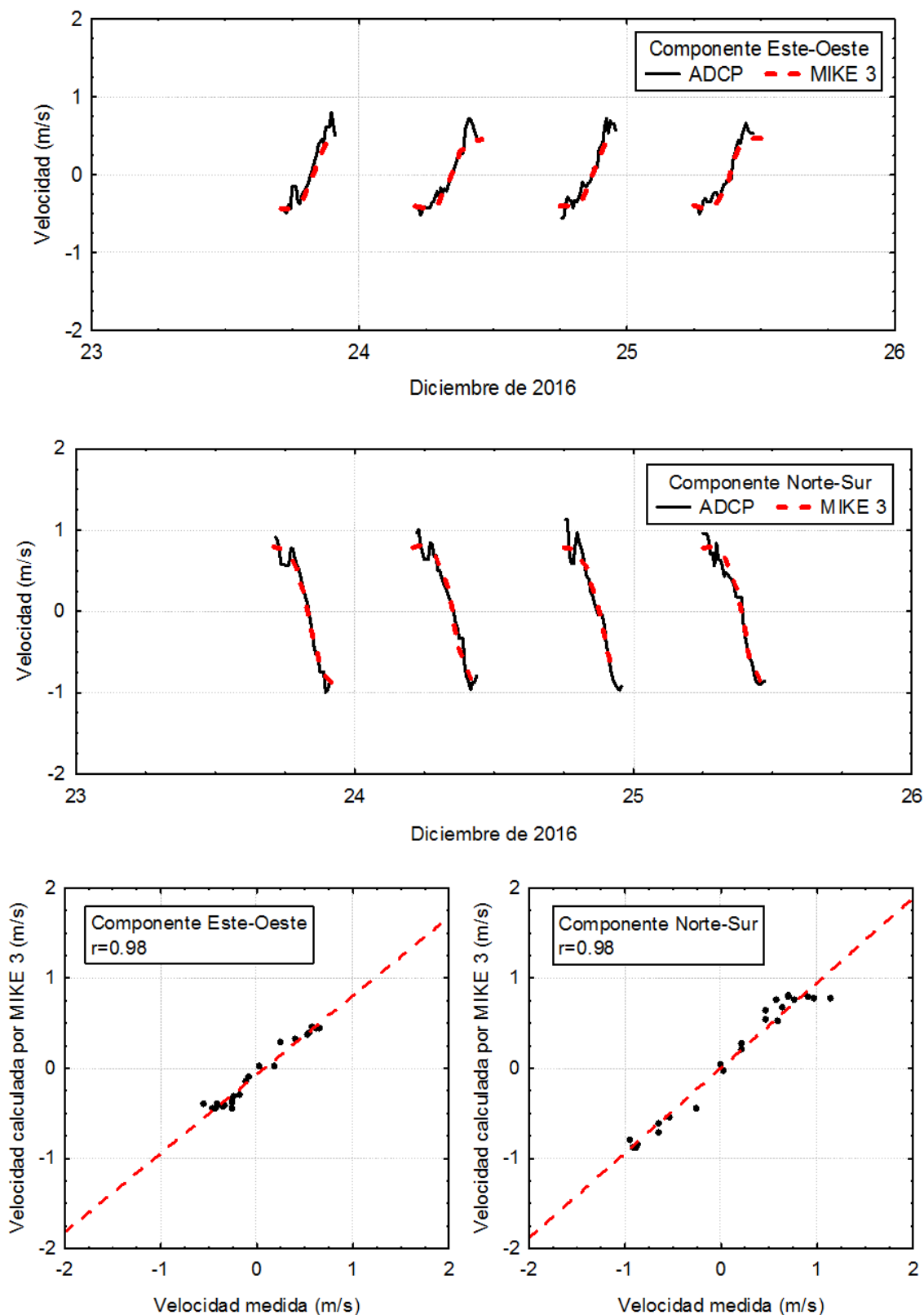


Figura 5.4.10 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Estuario 2, a 5.25, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.



Perfiles de corrientes

La comparación de perfiles se hizo a partir de la base de datos generada por el modelo, en términos de las velocidades y direcciones de la corriente para las distintas capas. Se extrajeron los perfiles más cercanos en espacio y tiempo a los perfiles medidos, como se presentan en la Figura 5.4.11 (transecta TR 1), Figura 5.4.12 (transecta TR 2) y Figura 5.4.13 (transecta TR 3). Los valores de la velocidad media se presentan en la Tabla 5.4.2. La correlación entre valores medidos y calculados se considera muy buena y coherente con las correlaciones entre series de tiempo

Figura 5.4.11 Comparación entre los perfiles de velocidad registrados durante la campaña de diciembre de 2016 y los resultados del modelo MIKE 3 (HD). Estaciones TR 1-1 (izquierda), TR 1-2 (centro izquierda), TR 1-3 (centro derecha) y TR 1-4 (derecha)

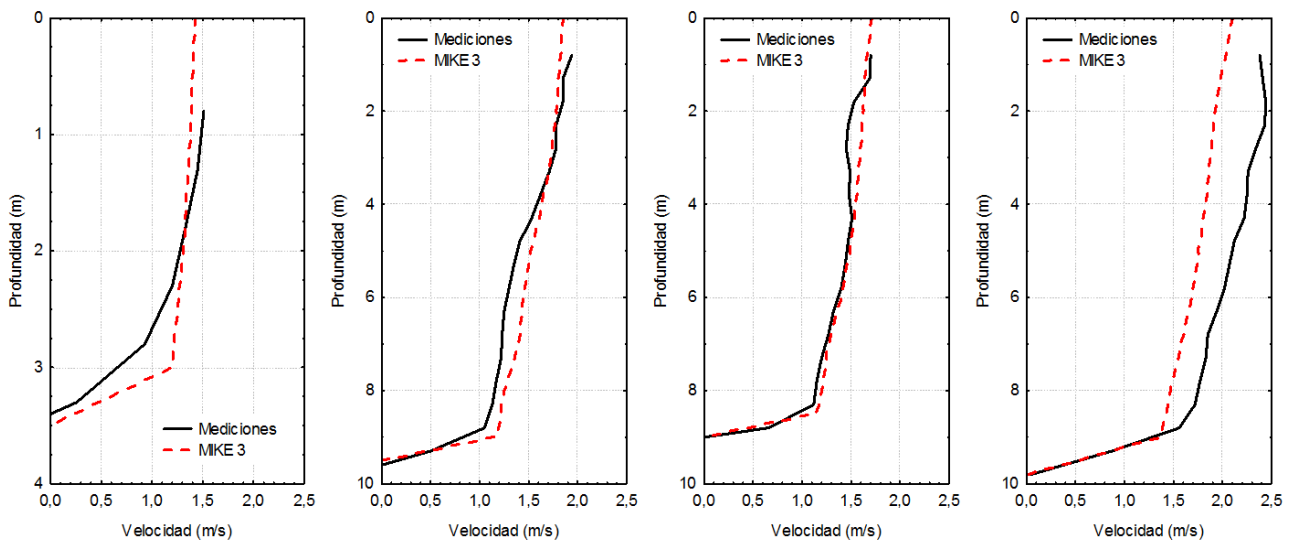


Figura 5.4.12 Comparación entre los perfiles de velocidad registrados durante la campaña de diciembre de 2016 y los resultados del modelo MIKE 3 (HD). TR 2-1 (izquierda), TR 2-2 (centro izquierda), TR 2-3 (centro derecha) y TR 2-4 (derecha)

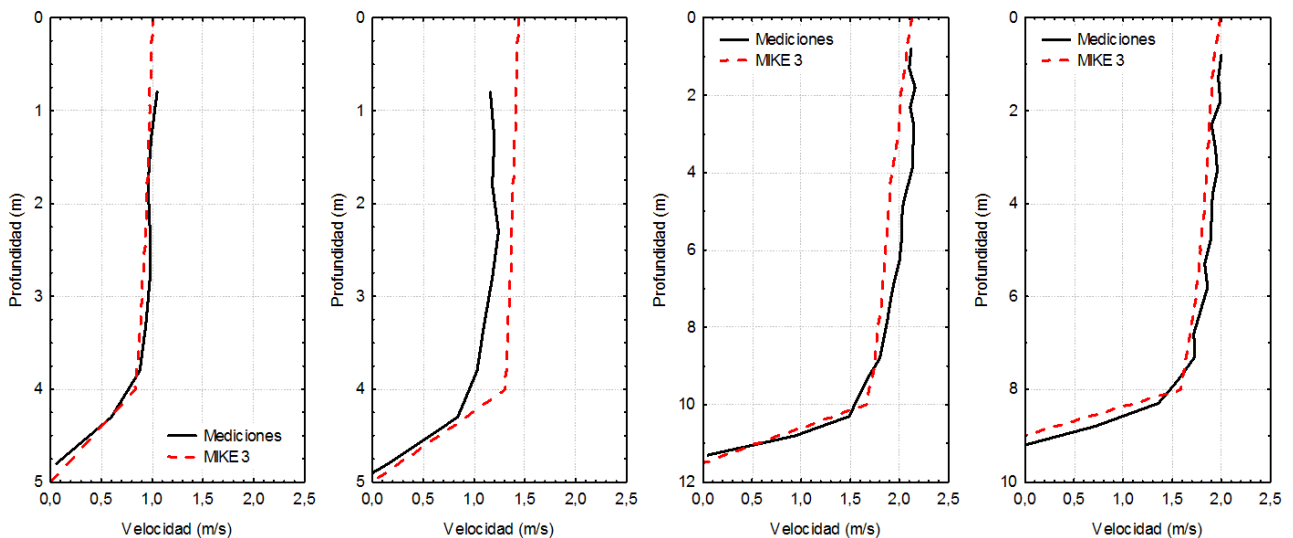


Figura 5.4.13 Comparación entre los perfiles de velocidad registrados durante la campaña de diciembre de 2016 y los resultados del modelo MIKE 3 (HD). Estaciones TR 3-1 (izquierda), TR 3-2 (centro izquierda), TR 3-3 (centro), TR 3-4 (centro derecha) y TR 3-5 (derecha).

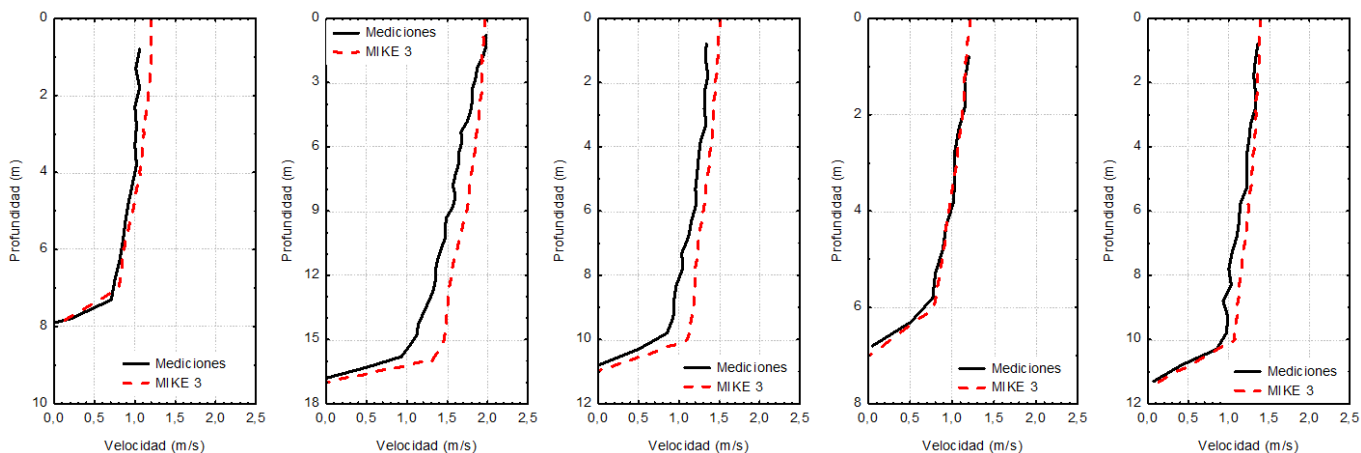


Tabla 5.4.2 Comparación entre las velocidades medias de los perfiles de velocidad medidos durante la campaña de diciembre de 2016 y los resultados del modelo MIKE 3 (HD).

Estación	WP	Fecha	Hora	Velocidad media medida (m/s)	Velocidad media calculada (m/s)	Dirección media medida (°)	Dirección media calculada (°)
TR 1-1	396	17-dic.-16	15:38:34	1.1	1.1	67	60
TR 1-2	397	17-dic.-16	15:49:08	1.4	1.4	43	54
TR 1-3	398	17-dic.-16	16:27:07	1.3	1.3	39	53
TR 1-4	399	17-dic.-16	16:46:28	1.9	1.6	41	31
TR 2-1	390	17-dic.-16	12:33:11	0.8	0.8	292	307
TR 2-2	389	17-dic.-16	12:19:31	0.8	1.1	294	301
TR 2-3	388	17-dic.-16	12:01:47	1.8	1.7	322	299
TR 2-4	387	17-dic.-16	11:38:14	1.7	1.6	317	302
TR 3-1	404	17-dic.-16	18:34:28	0.8	0.9	131	133
TR 3-2	403	17-dic.-16	18:21:06	1.5	1.6	147	115
TR 3-3	402	17-dic.-16	18:11:25	1.1	1.2	159	116
TR 3-4	401	17-dic.-16	18:00:37	0.8	0.9	151	129
TR 3-5	400	17-dic.-16	17:41:46	1.1	1.2	118	137

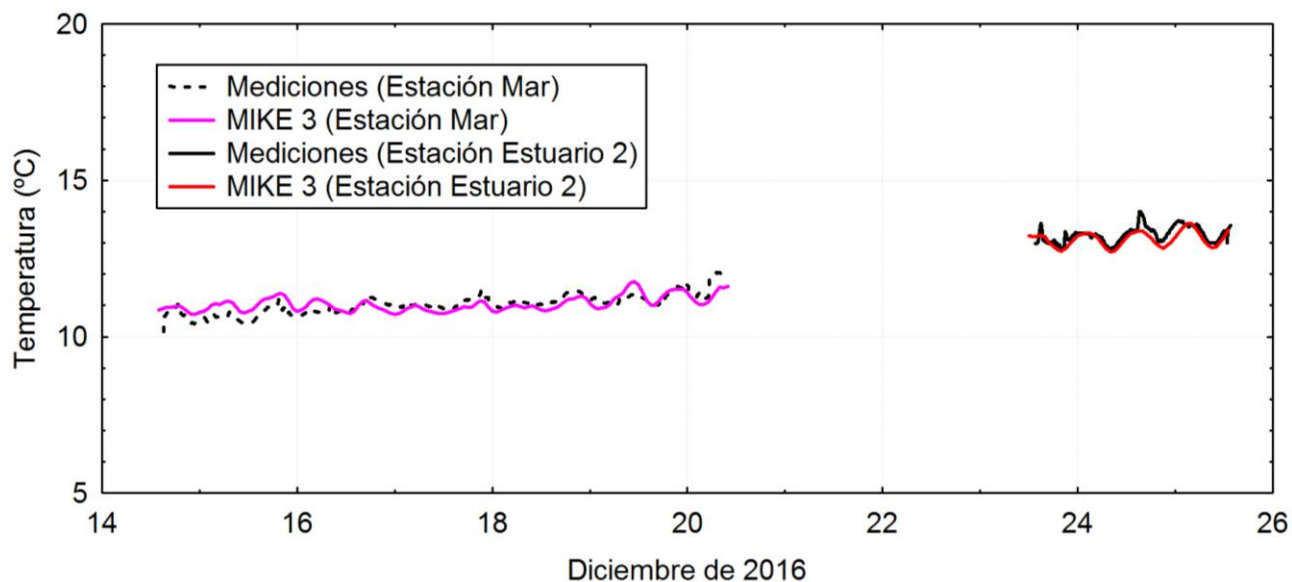
5.5. Temperatura

Simultáneamente a los ajustes realizados para la calibración del MIKE 3 (HD) (que muestra una muy buena representación del campo de velocidades y niveles del mar), se utilizó el módulo MIKE 3 (AD) que simula la difusión y dispersión de la temperatura y la salinidad. Para calibrar estas variables se realizaron corridas del MIKE 3 (HD+AD) en busca de un ajuste satisfactorio. Los resultados se muestran a continuación.

La Figura 5.5.1 muestra la comparación entre las temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones Mar y Estuario 2. En este caso, son series de tiempo de temperatura medidas cerca del fondo en las estaciones mencionadas. Puede verse que los valores medidos y los calculados por el MIKE 3 (HD+AD) están bien correlacionados en términos de los valores medios y

en sus variaciones periódicas, indicando además, que las temperaturas dentro del estuario son más altas que en la boca del estuario.

Figura 5.5.1 Comparación entre las temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones Mar y Estuario



Las Figuras 5.5.2 a 5.5.6 muestra la comparación entre los perfiles verticales de temperaturas medidos y calculados con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones 01 a 10. Debe tenerse en cuenta que se comparan perfiles de temperatura medidos casi instantáneamente (el instrumento recorre el espacio entre la superficie del mar hasta el fondo en 1 min, aproximadamente) con un perfil extraído, aproximadamente en el mismo instante de la serie de tiempo que genera el modelo.

En vista de los resultados de la comparación de temperaturas medidas y calculadas por el modelo, se considera calibrado el MIKE 3 (HD+AD) para el estuario.

Figura 5.5.2 Comparación entre los perfiles de temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones 01 y 02.

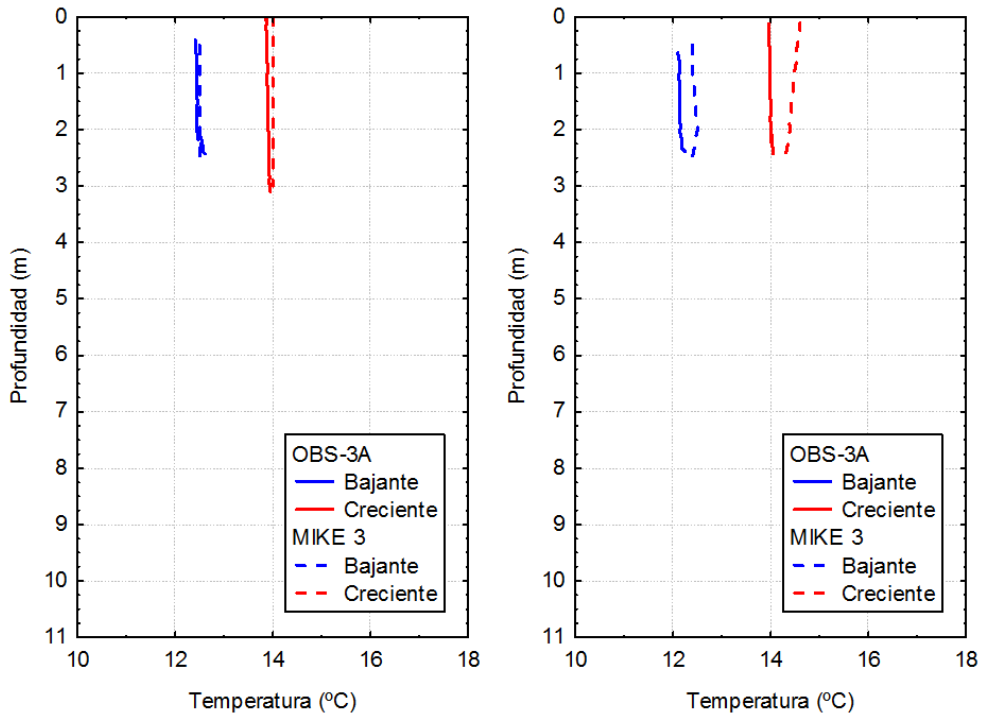


Figura 5.5.3 Comparación entre los perfiles de temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones 03 y 04.

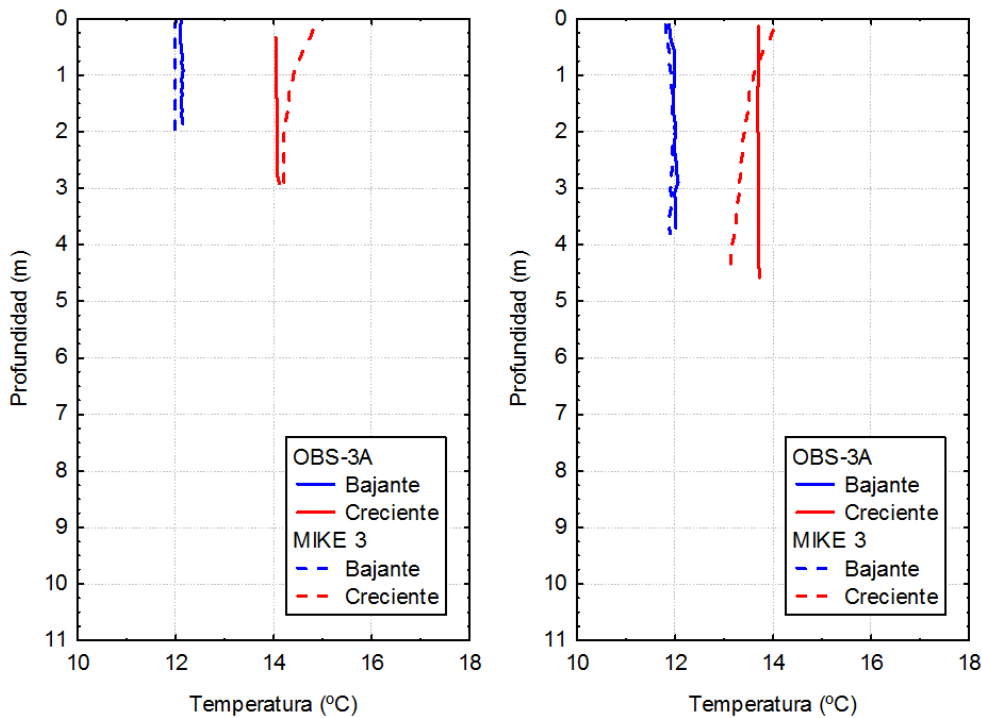


Figura 5.5.4 Comparación entre los perfiles de temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones 05 y 06.

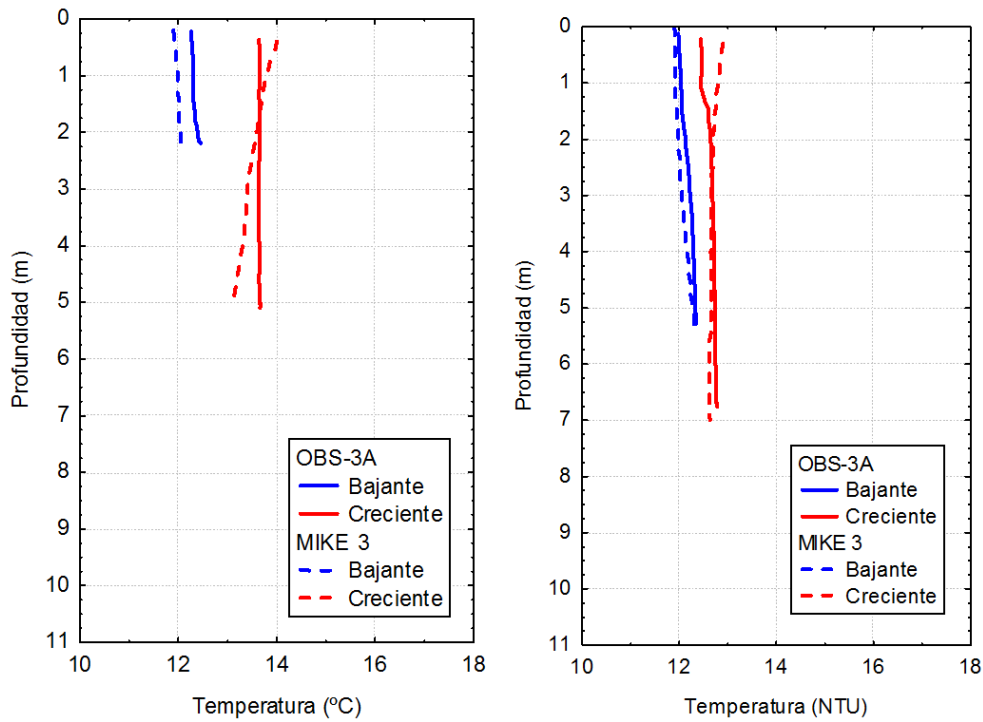


Figura 5.5.5 Comparación entre los perfiles de temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones 07 y 08.

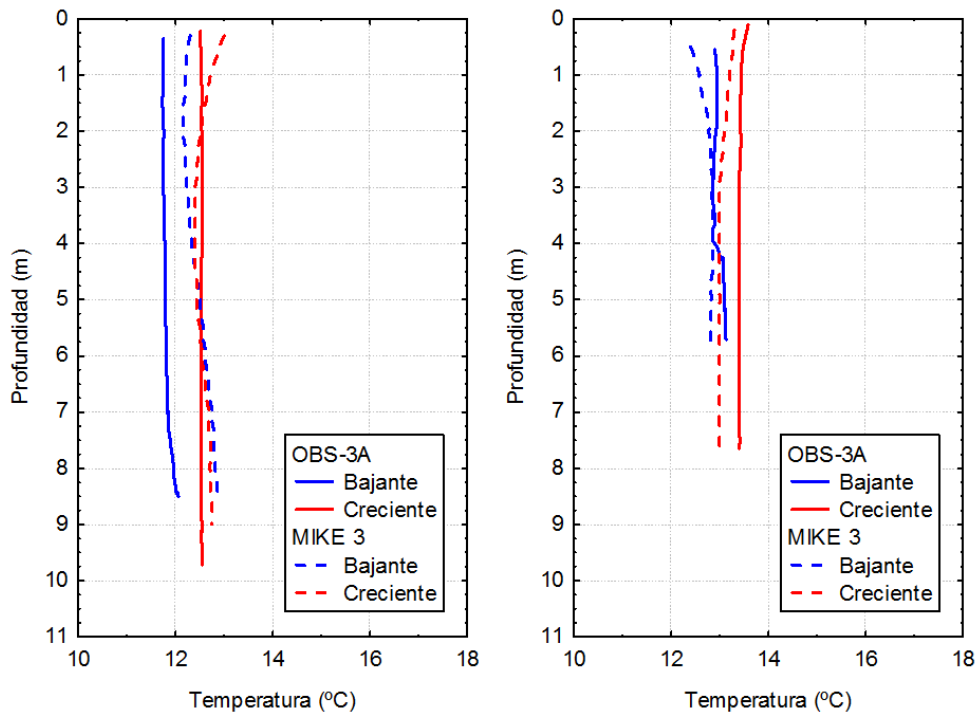
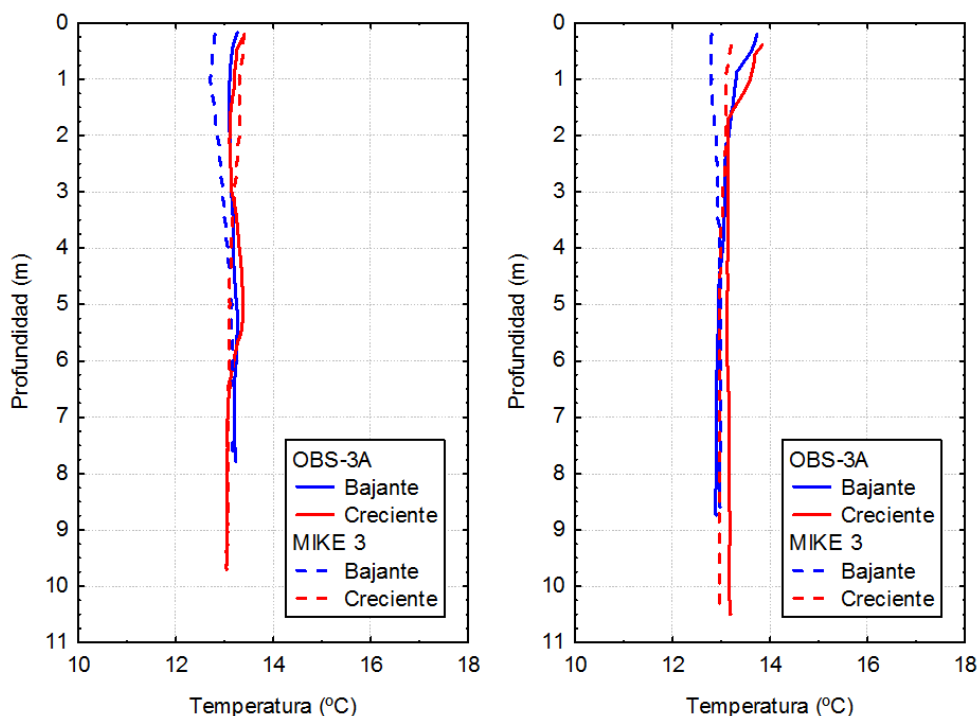


Figura 5.5.6 Comparación entre los perfiles de temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones 09 y 10.



5.6. Salinidad

Series de tiempo

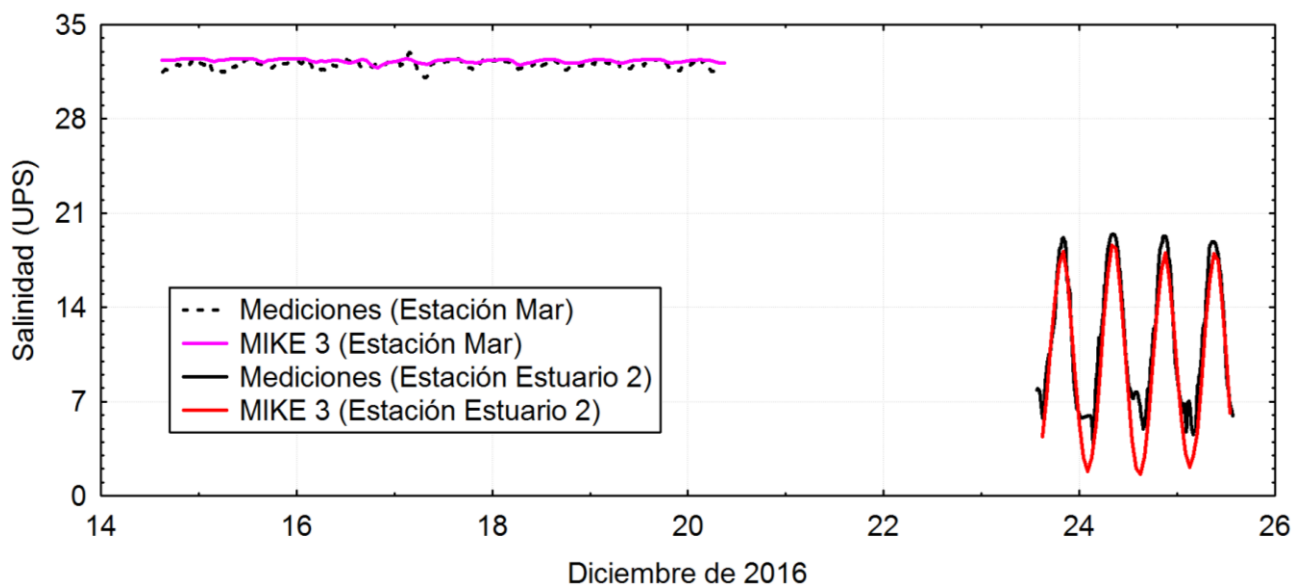
Como fue mencionado antes, la calibración del MIKE 3 (HD) que asegura una muy buena representación del campo de velocidades y niveles del mar, permite el funcionamiento del módulo MIKE 3 (AD) que simula la difusión y dispersión de propiedades como la salinidad. Se hicieron las corridas necesarias hasta obtener una calibración satisfactoria. Los resultados se muestran a continuación.

La Figura 5.6.1 muestra la comparación de la salinidad medida y la calculada por el modelo MIKE 3 (HD+AD) en los puntos de las estaciones de medición Estuario y Mar.

Estas series de tiempo de salinidad (cuyo cálculo se hace a partir de los valores medidos de conductividad) muestran un acuerdo muy bueno entre los valores medidos y los calculados por el MIKE (HD+AD), tanto para la Estación Mar (boca de la ría) y la Estación Estuario 2 (interior de la ría).

Los valores de salinidad cambian entre unos 2 UPS y 20 UPS en unas 6 horas solamente, en la estación Estuario 2, siguiendo a la evolución de las mareas. Este efecto sobre la salinidad no es tan cambiante en la Estación Mar (en la boca del estuario) donde el agua de mar es dominante y mantiene una salinidad de unos 32 UPS, casi independiente del estado de la marea.

Figura 5.6.1 Comparación de la salinidad medida y la calculada por el modelo MIKE 3 (HD+AD) en los puntos de las estaciones de medición Estuario 2 y Mar



Perfiles de salinidad

La Figura 5.6.2 muestra la comparación en las mediciones de perfiles de salinidad y los generados por el modelo MIKE 3 (HD) en los puntos P8, P9 y P10. El resto de las estaciones (río arriba) no muestran valores de salinidad con alguna significación.

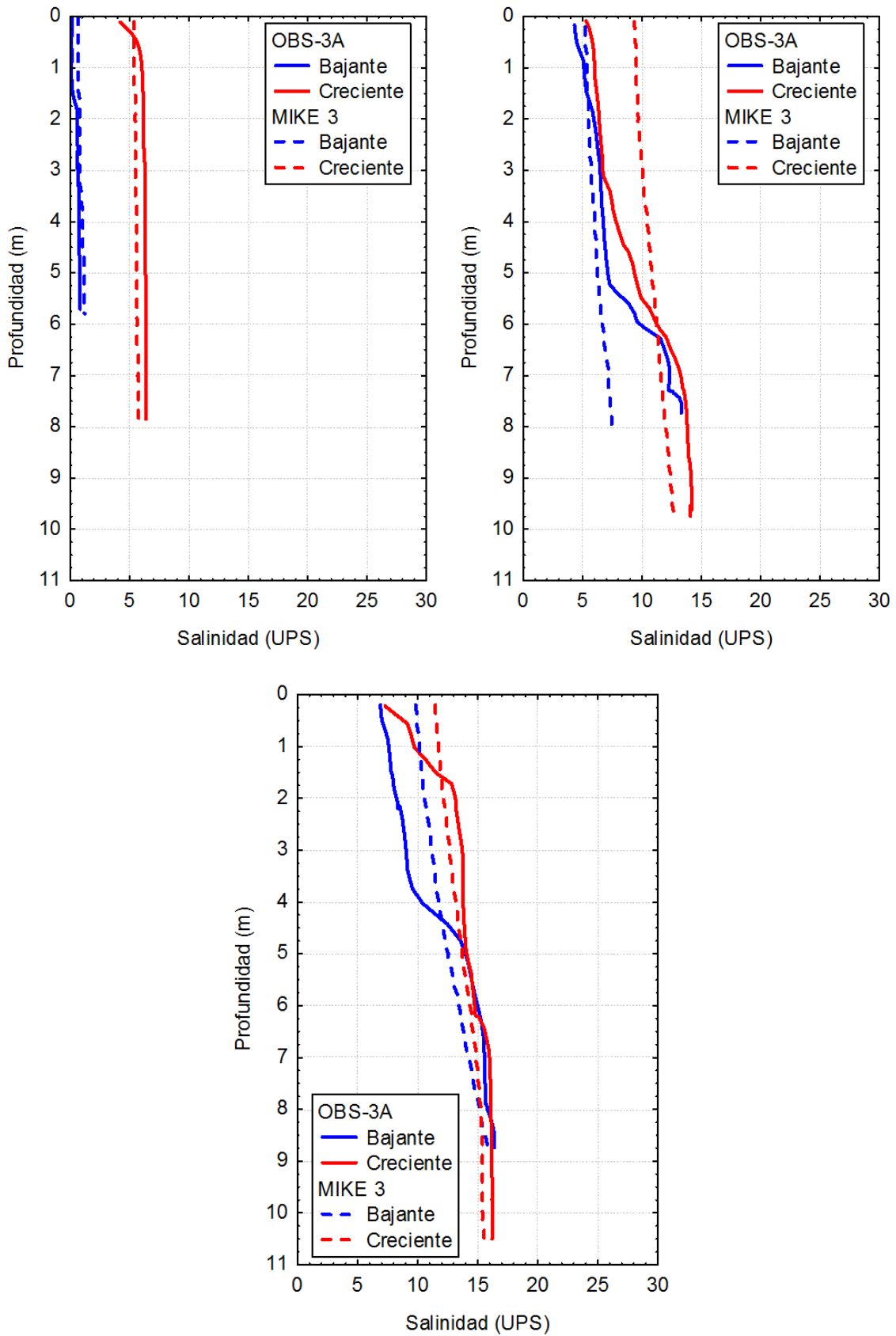
La correlación entre los valores medidos y los calculados por el modelo es muy buena para la Estación 08, tanto en bajante como en creciente.

Para el caso de la Estación 09 la correlación es satisfactoria, con una correcta estimación del rango de salinidades en el punto de medición. Más en detalle, se observa que en bajante la correlación es mejor en las capas superiores cerca de la superficie que cerca del fondo donde el modelo subestima la salinidad. En creciente el modelo sobrestima la salinidad en superficie y representa bien la salinidad en el fondo. Debe tenerse en cuenta que estas comparaciones entre perfiles instantáneos (se tarda 1 min en perfilar toda la columna de agua) requiere de una gran precisión en el tiempo del modelo para extraer exactamente el perfil que corresponda al instante exacto que se hizo la modelación.

Para el caso de la Estación 10 la correlación es satisfactoria tanto en creciente como en bajante.

En vista de estos resultados de la comparación de salinidades medidas y calculadas por el modelo, se considera calibrado el MIKE 3 (HD+AD) para el estuario.

Figura 5.6.2 Comparación en las mediciones de perfiles de salinidad y los generados por el modelo MIKE 3 (HD) en los puntos P8 (izquierda), P9 (derecha) y P10 (abajo).



5.7. Turbidez

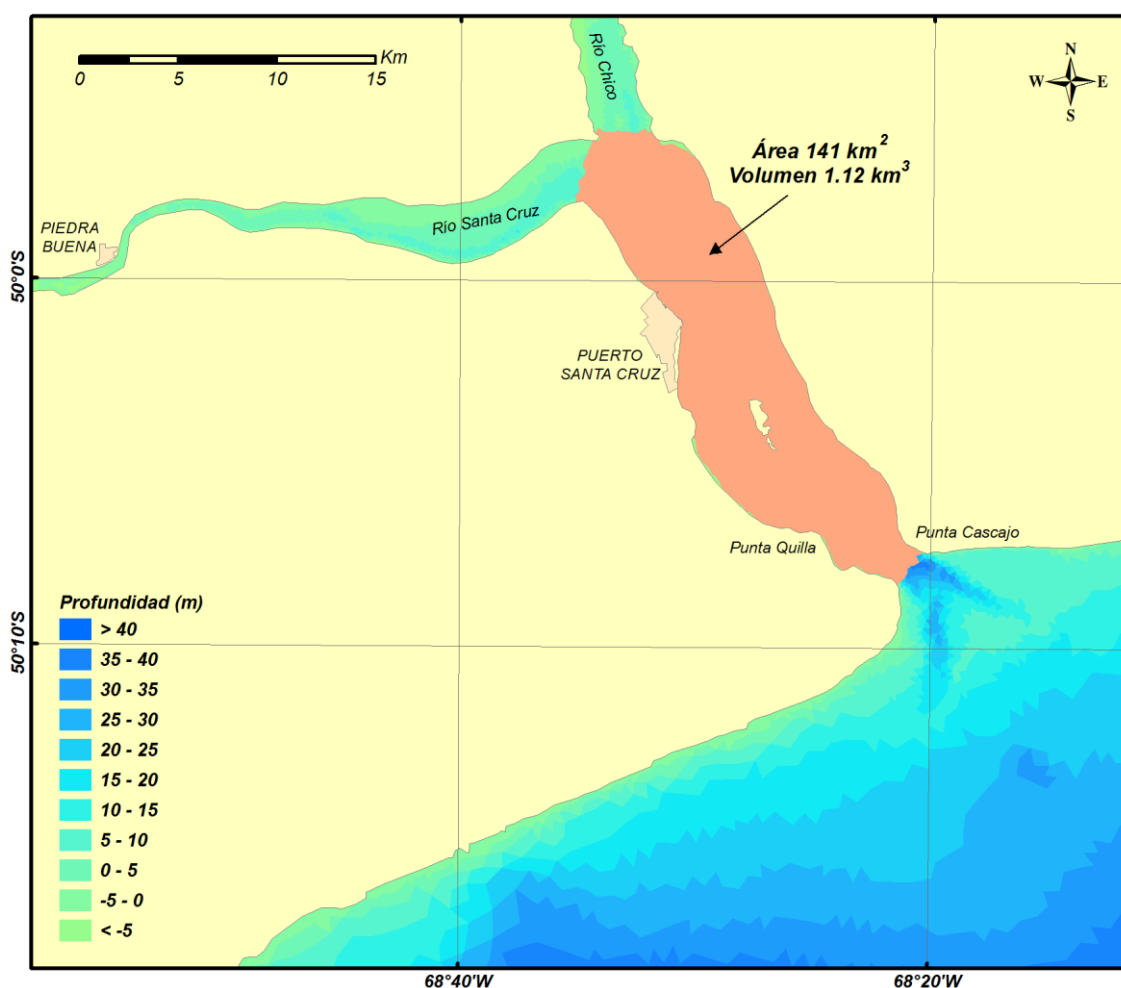
Al momento de escribir este Informe de Avance, se está trabajando en la calibración del modelo para el caso de la turbidez, a la espera de información de sedimentos a obtener en los trabajos de campo que se inician en la semana del 20 de marzo de 2017.

6. RESULTADOS

6.1. Estimación de la renovación del agua del estuario con la marea

Se ha realizado una estimación de la fracción de agua que se renueva diariamente en el estuario, a partir de algunas simplificaciones. El volumen de agua que tiene el estuario al NMM, alcanza unos 1.12 km^3 (1120 millones de metros cúbicos). Este volumen se ha calculado sobre una superficie, de 141 km^2 , como se indica en la Figura 6.1.1., a partir de la información batimétrica que usa el modelo MIKE 3 (HD).

Figura 6.1.1 Superficie del estuario utilizada para la estimación del volumen del estuario al NMM.



La Tabla 6.1.1 muestra una estimación del volumen de agua que ingresa al estuario entre la BM y la PM (prisma tidal) para distintas amplitudes de la marea.

Si se comparan los volúmenes de agua que ingresan para las distintas amplitudes de marea con el volumen de agua del estuario, puede deducirse que en el término de un ciclo de marea se renueva (el agua entra y sale) un volumen de agua equivalente al del estuario definido hasta el NMM.

Tabla 6.1.1 Estimación del volumen de agua que ingresa al estuario entre la BM y la PM (prisma tidal) para distintas amplitudes de la marea

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

6.2. Temperatura cerca del fondo y corrientes de marea

Se ha realizado la preparación, puesta en marcha y calibración del modelo MIKE 3 (HD) que calcula la variación de la superficie del mar y las corrientes asociadas, y su módulo AD que calcula la difusión y dispersión de propiedades como la temperatura y salinidad, del estuario.

Parte de los resultados se han presentado durante la parte de calibración. Debe tenerse en cuenta que la calibración implica la búsqueda de la mejor correlación entre los datos medidos y los calculados por el modelo, para las siguientes variables:

- Elevación de la superficie del mar (altura de la marea)
- Velocidad y dirección de las corrientes a distintas profundidades
- Temperatura
- Salinidad y,
- Turbidez

Cuando se ha logrado la mejor correlación de todas las variables, se da por calibrado el modelo y se asegura que el mismo calculará satisfactoriamente esas variables, en el tiempo y el espacio, para otras épocas fuera del período de medición.

En esta parte se presentan resultados expresados en términos de la marea, específicamente de determinados momentos de la marea, ya que se ha establecido que las propiedades del agua como la temperatura y principalmente la salinidad depende del estado de la marea.

La Figura 6.2.1 muestra dos ciclos de marea de unas 12 horas de período y 7 puntos seleccionados que representan 7 condiciones de la marea. A modo de ejemplo, la Condición 1 corresponde a la marea bajante (sale agua al estuario) y la Condición 4 marea creciente (entra agua al estuario). Si bien se ha seleccionado un ciclo de marea que corresponde a la época de medición, los resultados pueden generalizarse (de modo conceptual) a cualquier otro ciclo de marea.

La Figura 6.2.2 muestra la temperatura ambiente registrada por la Estación Meteorológica para el día 19 de diciembre de 2016. Se identifican, también las 7 condiciones de marea de la Figura 6.2.1.

Con estos elementos, se analizarán las distribuciones de temperatura y salinidad asociadas a un ciclo de marea.

Figura 6.2.1 Ciclo de marea de unas 12 horas de período y 7 condiciones de la marea en la posición de la Estación Mar (en la boca del estuario).

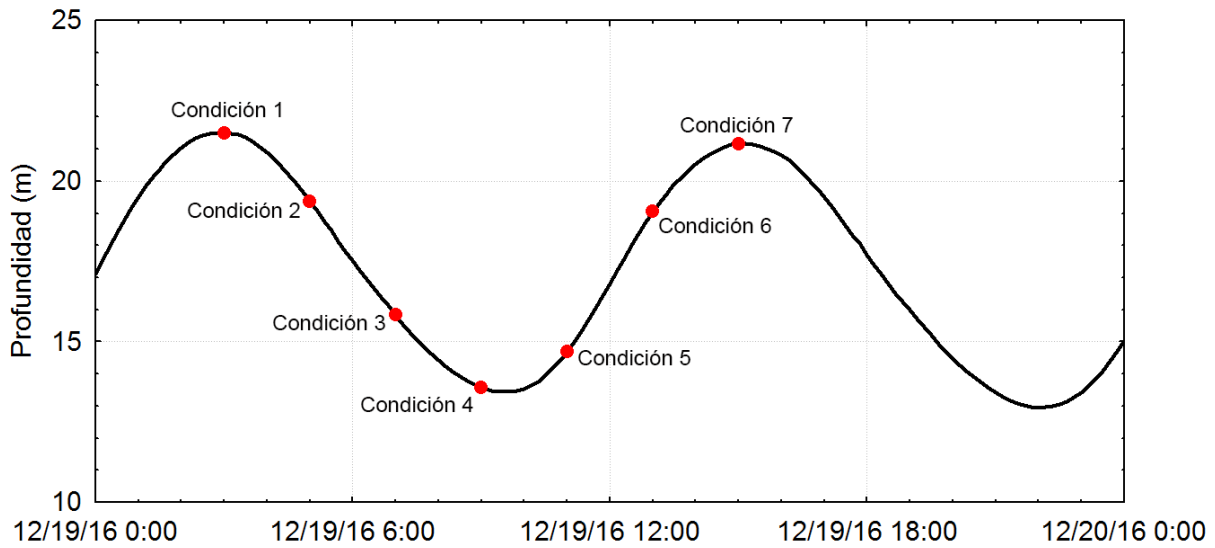
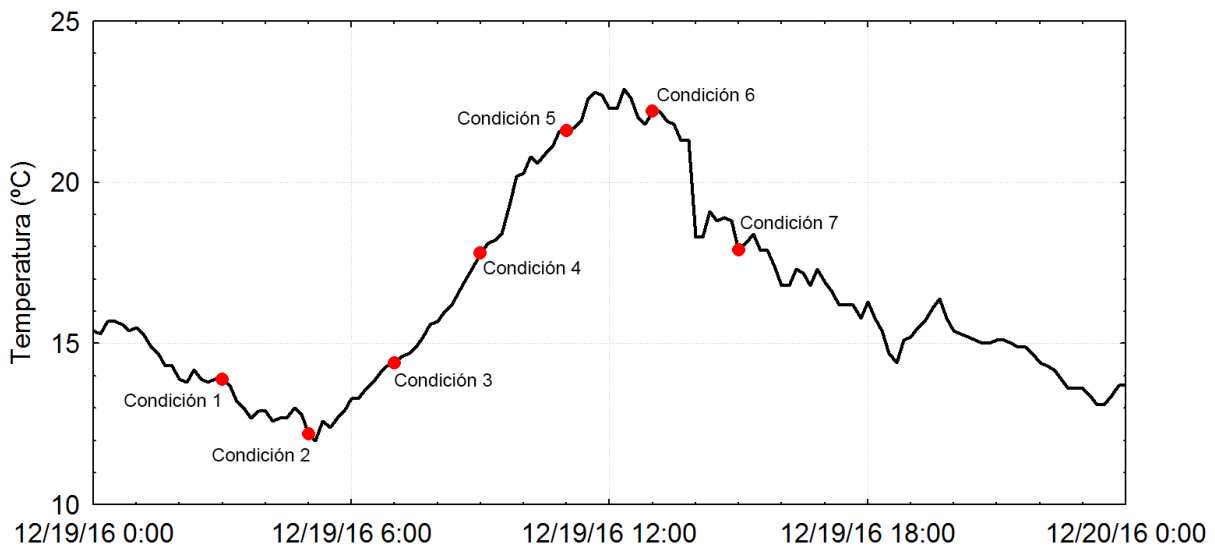


Figura 6.2.2 Temperatura ambiente registrada por la Estación Meteorológica para el día 19 de diciembre de 2016. Se identifican los instantes de las 7 condiciones de la Figura 6.2.1.



Las mediciones utilizadas para la calibración del modelo indican que para esta época la temperatura de los Ríos Santa Cruz y Chico es superior a la observada en el mar, esto puede verse los registros de temperatura en la Estaciones Estuario 2 y Mar de las Figuras 4.4.1 y 4.4.4.

En el estuario ocurre la mezcla de aguas y en toda la región debe considerarse el efecto de la variación de temperatura impuesta por el intercambio de calor entre el agua y la atmósfera. Los campos de temperatura variables en tiempo y espacio han sido reproducidos por el modelo. En las Figuras 6.2.3 a 6.2.9 se presentan campos de temperatura y velocidades de la capa cercana al fondo del mar para las 7 condiciones de marea y temperatura ambiente de las Figuras 6.2.1 y 6.2.2.

De la figuras puede verse que en general la temperatura del agua de mar, relativamente más fría que la de los ríos, ingresa al estuario generando gradiente horizontal de temperatura que varía su posición en función de la condición de marea. En creciente se observa agua relativamente más fría en el

interior del estuario que en bajante. También debe considerarse que la temperatura del agua se ve modificada por la temperatura ambiente y en consecuencia el efecto de la marea (que considera a la temperatura como si fuera conservativa) se ve alterado. Por ejemplo, para la condición 6, puede verse que el agua está entrando al estuario desde el mar y la temperatura de la zona aumenta producto de la transferencia de calor desde la atmósfera hacia el mar. En la Figura 6.2.2 se ve que la temperatura ambiente crece desde la condición 2 a la 6 unos 10 °C.

Un detalle de las variaciones de la temperatura, por condición de marea, se muestra a continuación.

Condición 1 (referencia Figura 6.2.1 y 6.2.2)

La Figura 6.2.3 representa el campo de velocidades y la distribución de la temperatura en el estuario en condiciones cercanas a la pleamar. El agua está aún entrando al estuario y la temperatura tiene valores algo mayores a 14.5 °C y menores a 11.5 °C, aproximadamente.

Condición 2

La Figura 6.2.4 representa el campo de velocidades y la distribución de la temperatura en el estuario en condiciones de bajante (el agua se está retirando). La temperatura tiene valores algo mayores a 14.5 °C y menores a 11.5 °C, aproximadamente.

Condición 3

La Figura 6.2.5 representa el campo de velocidades y la distribución de la temperatura en el estuario en condiciones de bajante (el agua se está retirando) cerca de la bajamar. La temperatura tiene valores algo mayores a 14.5 °C y menores a 11.5 °C, aproximadamente.

Condición 4

La Figura 6.2.6 representa el campo de velocidades y la distribución de la temperatura en el estuario en condiciones casi de bajamar (el agua aún se está retirando). La temperatura tiene valores algo mayores a 14.5 °C y menores a 11.5 °C, aproximadamente.

Condición 5

La Figura 6.2.7 representa el campo de velocidades y la distribución de la temperatura en el estuario en condiciones de creciente aunque muy cercanas a la bajamar (el agua comienza a entrar). La temperatura tiene valores algo mayores a 14.5 °C y menores a 11.5 °C, aproximadamente.

Condición 6

La Figura 6.2.8 representa el campo de velocidades y la distribución de la temperatura en el estuario en condiciones de creciente (el agua sigue entrando). La temperatura tiene valores algo mayores a 14.5 °C y menores a 11.5 °C, aproximadamente.

Condición 7

La Figura 6.2.9 representa el campo de velocidades y la distribución de la temperatura en el estuario en condiciones cercanas a la pleamar. La temperatura tiene valores algo mayores a 14.5 °C y menores a 11.5 °C, aproximadamente. Este caso es similar a la Condición 1.

Figura 6.2.3 Campo de temperatura y corrientes para la Condición 1 de marea (ver Figura 6.2.1)

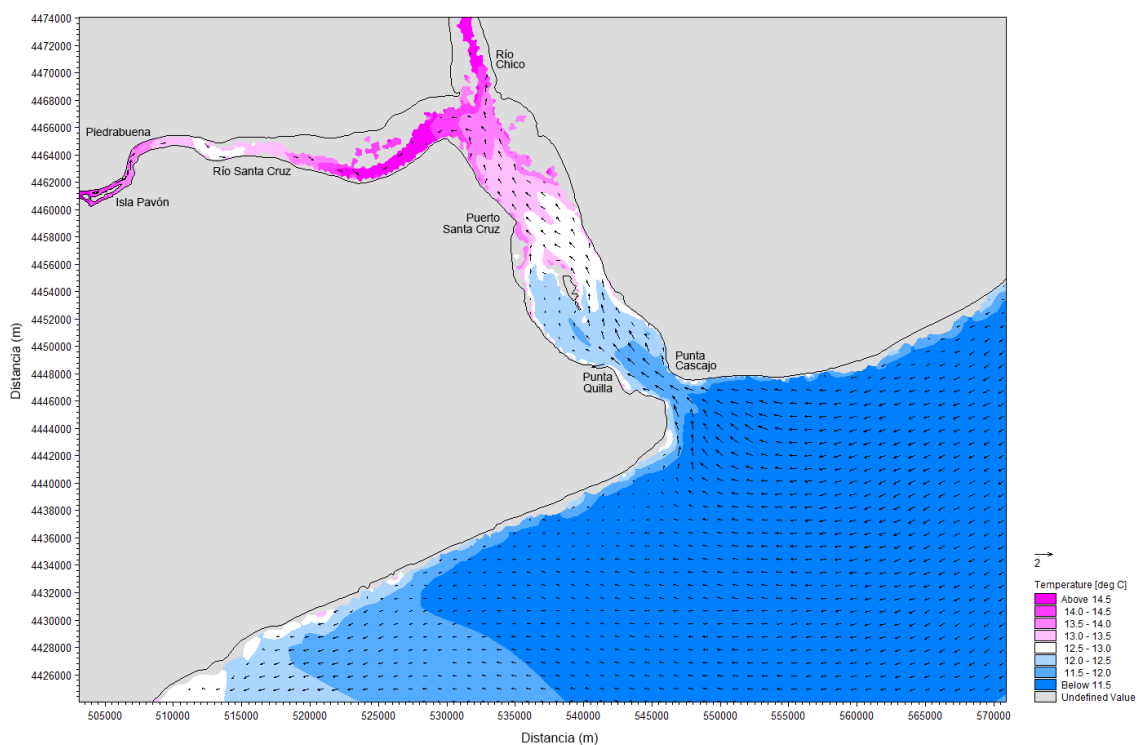


Figura 6.2.4 Campo de temperatura y corrientes para la Condición 2 de marea (ver Figura 6.2.1)

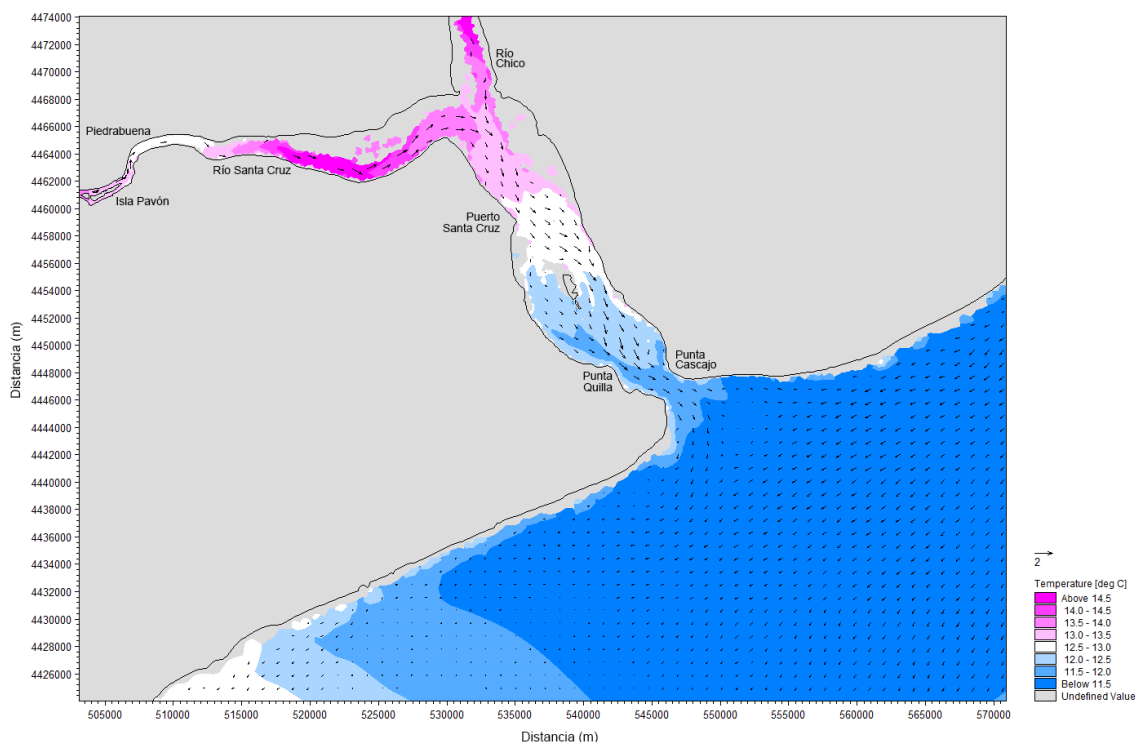


Figura 6.2.5 Campo de temperatura y corrientes para la Condición 3 de marea (ver Figura 6.2.1)

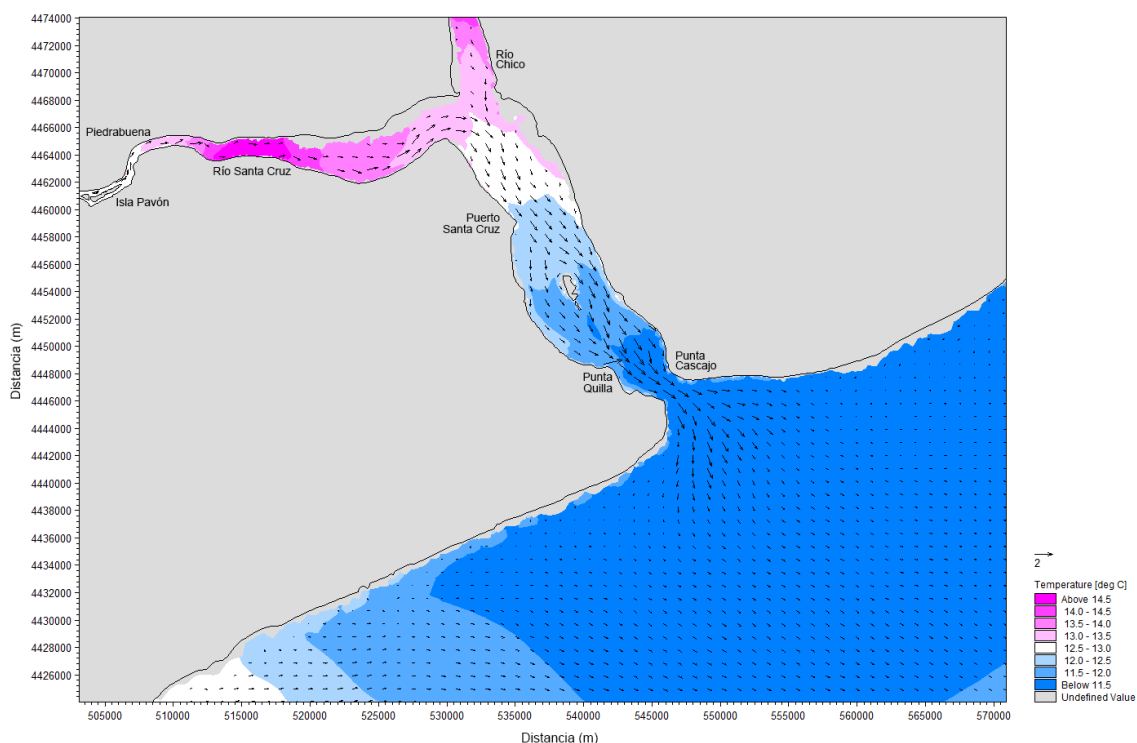


Figura 6.2.6 Campo de temperatura y corrientes para la Condición 4 de marea (ver Figura 6.2.1)

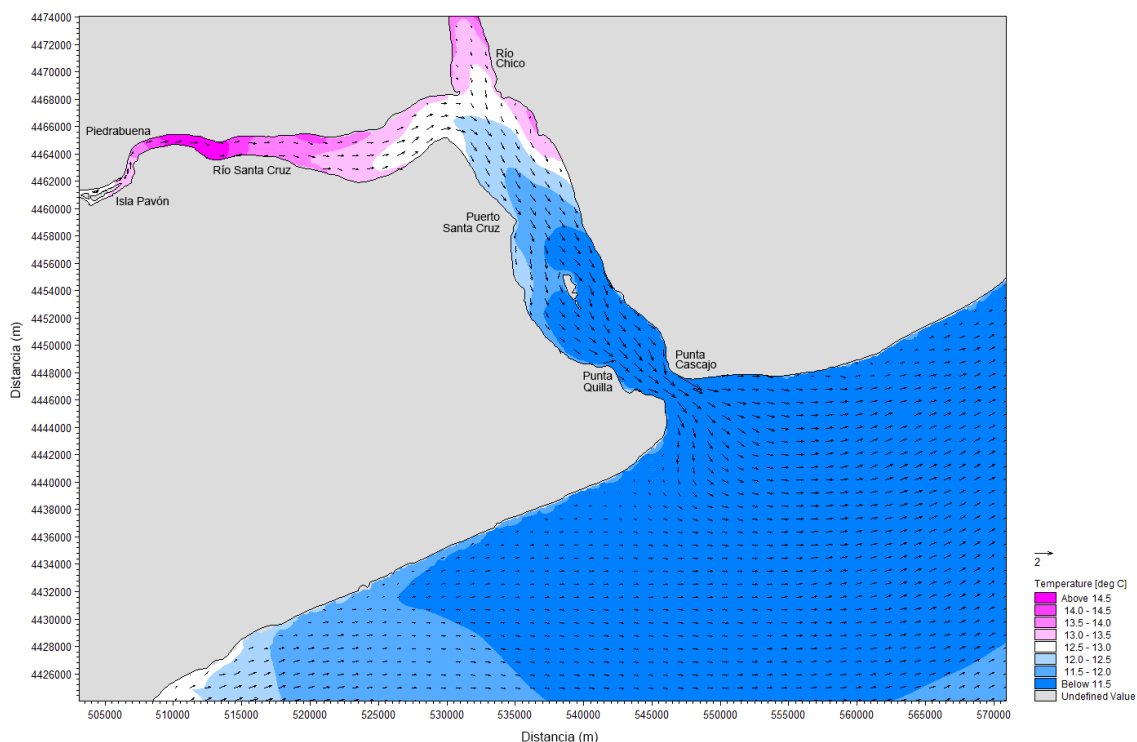


Figura 6.2.7 Campo de temperatura y corrientes para la Condición 5 de marea (ver Figura 6.2.1)

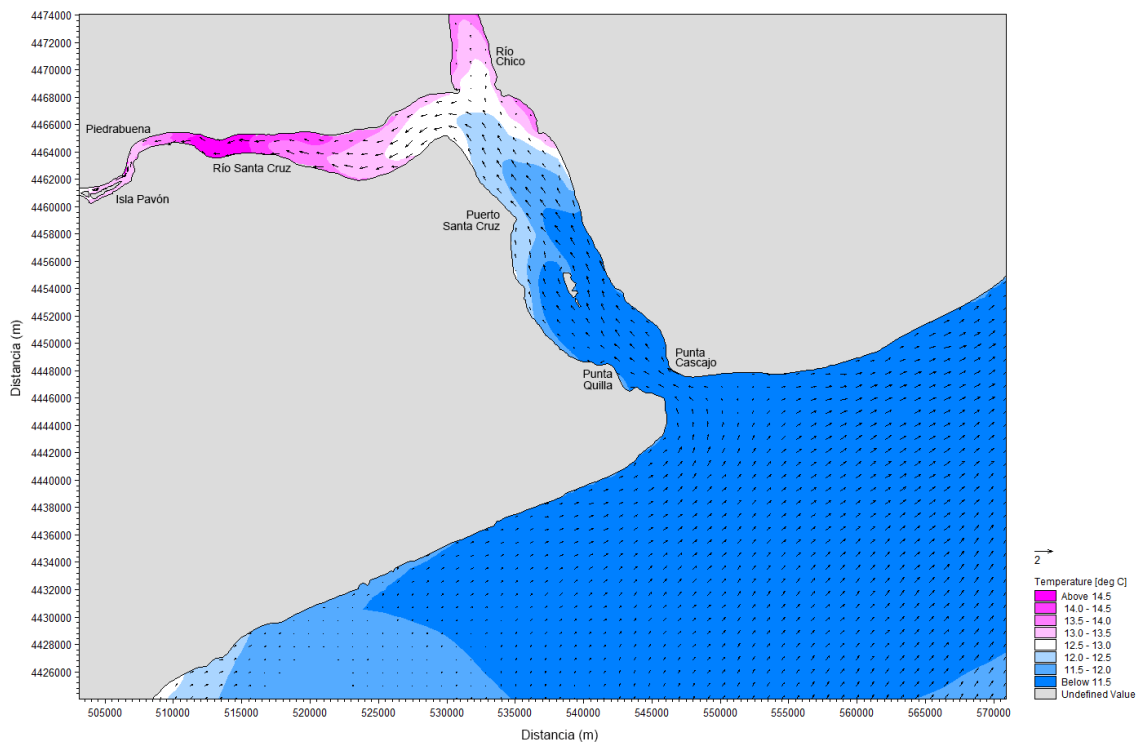


Figura 6.2.8 Campo de temperatura y corrientes para la Condición 6 de marea (ver Figura 6.2.1)

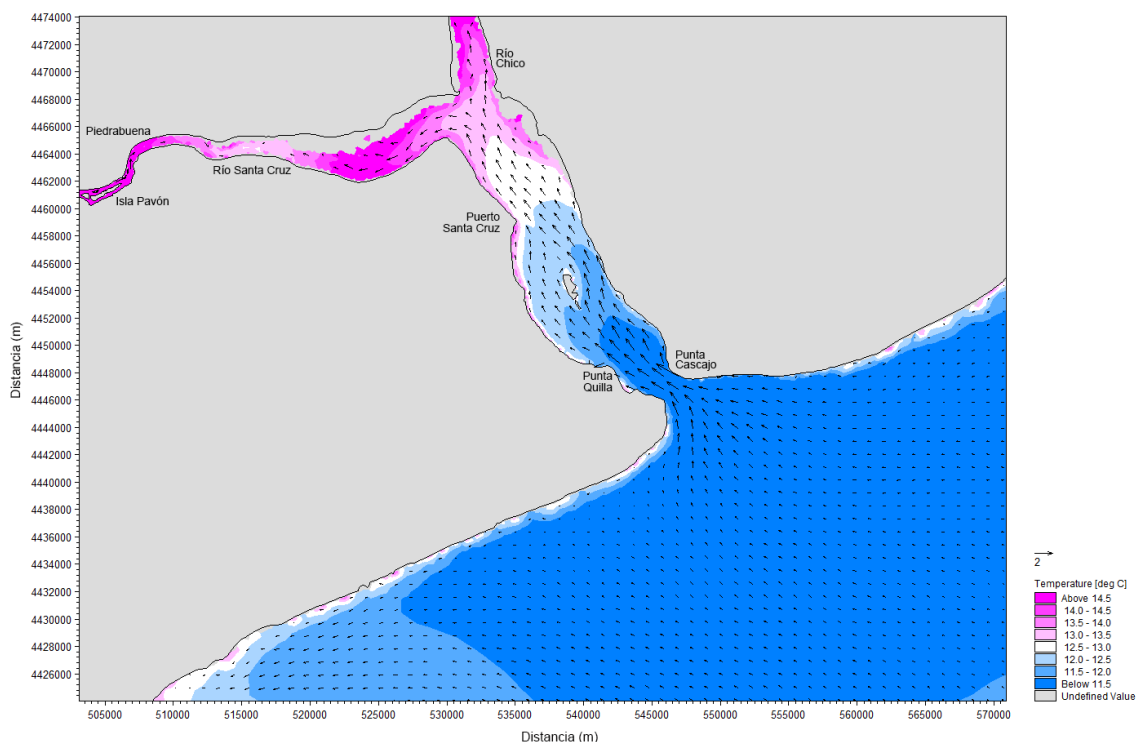
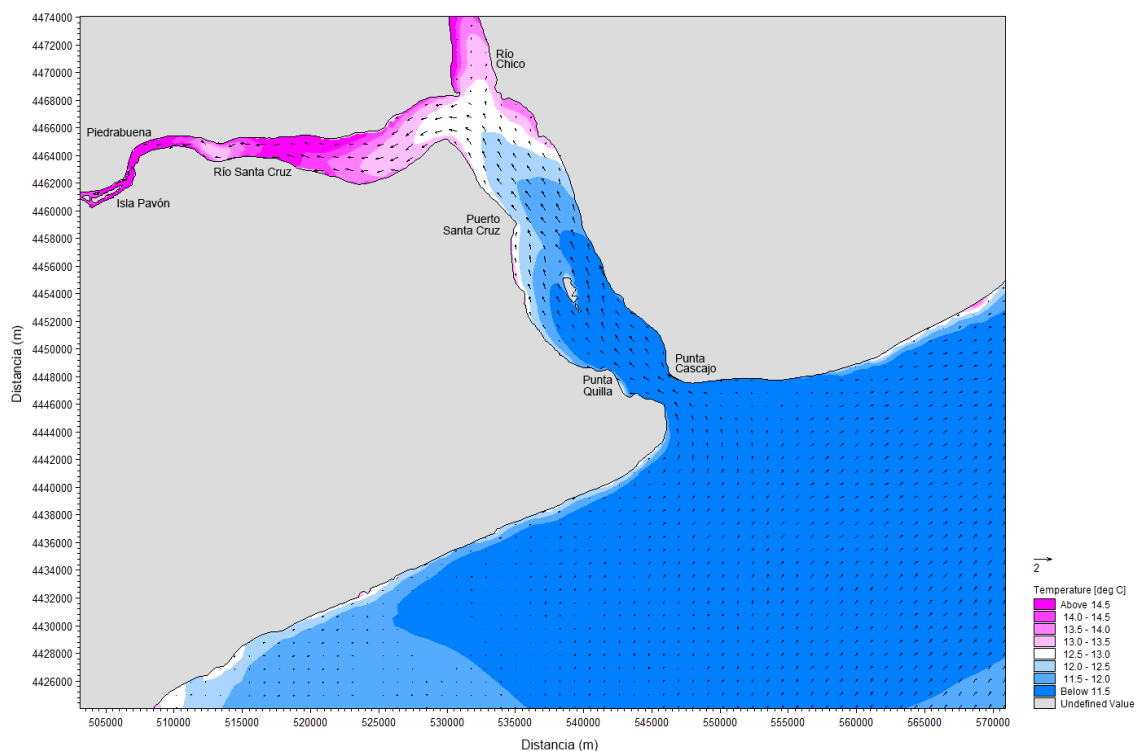


Figura 6.2.9 Campo de temperatura y corrientes para la Condición 7 de marea (ver Figura 6.2.1)



6.3. Temperatura y corrientes de marea para la Condición 6

Se trata de presentar las características del campo de temperaturas a distintas capas (asociadas a distintas profundidades), para una sola condición de mareas. Las Figuras 6.3.1 a 6.3.5 presentan ejemplos de campos de temperaturas asociadas a las 5 capas que utiliza el modelo para la Condición 6 (ver Figuras 6.2.1 y 6.2.2).

Puede verse que las temperaturas aumentan a medida que las capas son más superficiales, encontrándose los máximos de temperatura en superficie (ver Figura 6.3.5).

En las figuras puede verse que para la condición 6 (1 PM del día 19 de diciembre de 2016) la temperatura ambiente ha trepado desde las 5 AM a 1 PM 10°C (desde 12°C a 22°C). Este aumento de temperatura ambiente se traduce en un incremento notorio de la temperatura superficial de la región modelada que va disminuyendo hacia las capas más profundas, con mayor variación en las capas superficiales.

Figura 6.3.1 Campo de temperatura y corrientes para la Capa 1 (cerca del fondo) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)

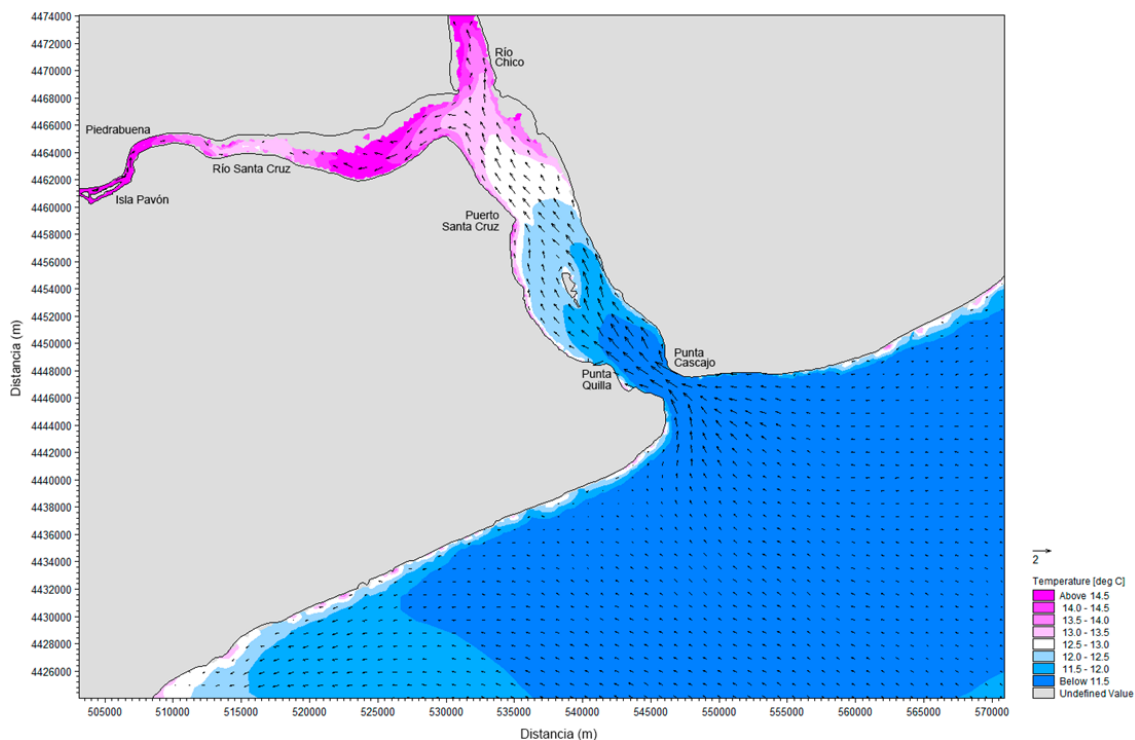


Figura 6.3.2 Campo de temperatura y corrientes para la Capa 2 (entre la capa de fondo y la capa a media agua) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)

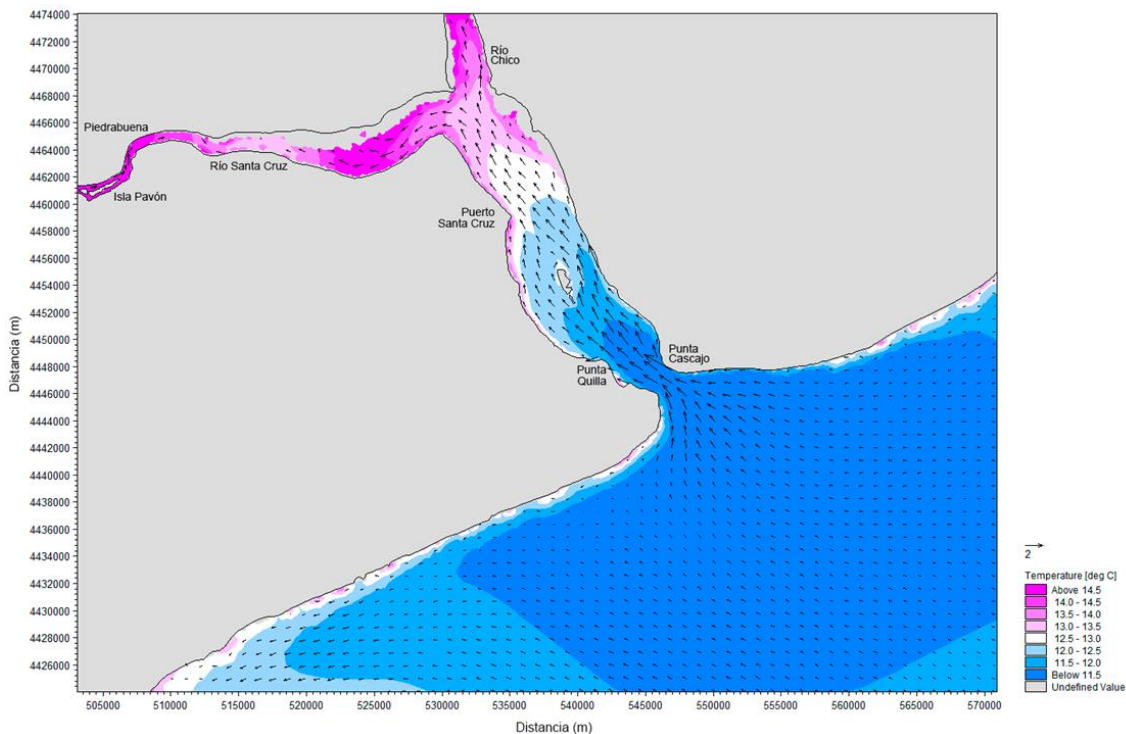


Figura 6.3.3 Campo de temperatura y corrientes para la Capa 3 (a media agua) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)

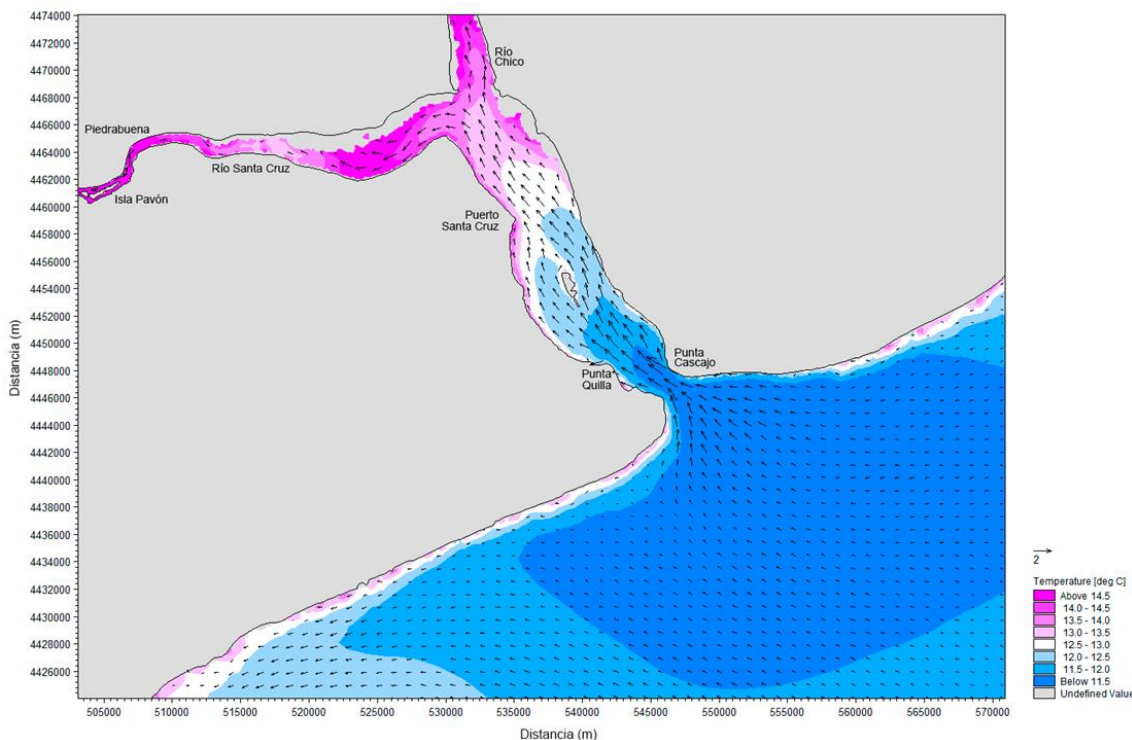


Figura 6.3.4 Campo de temperatura y corrientes para la Capa 4 (entre la capa a media agua y la capa cercana a la superficie) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)

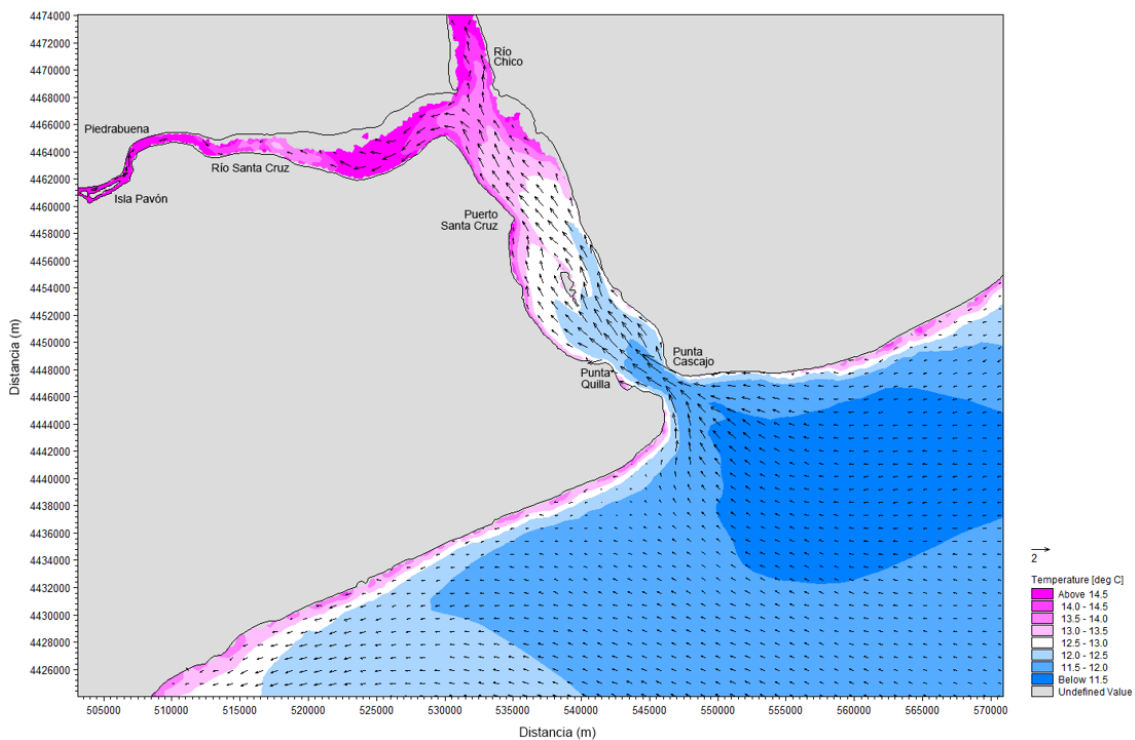
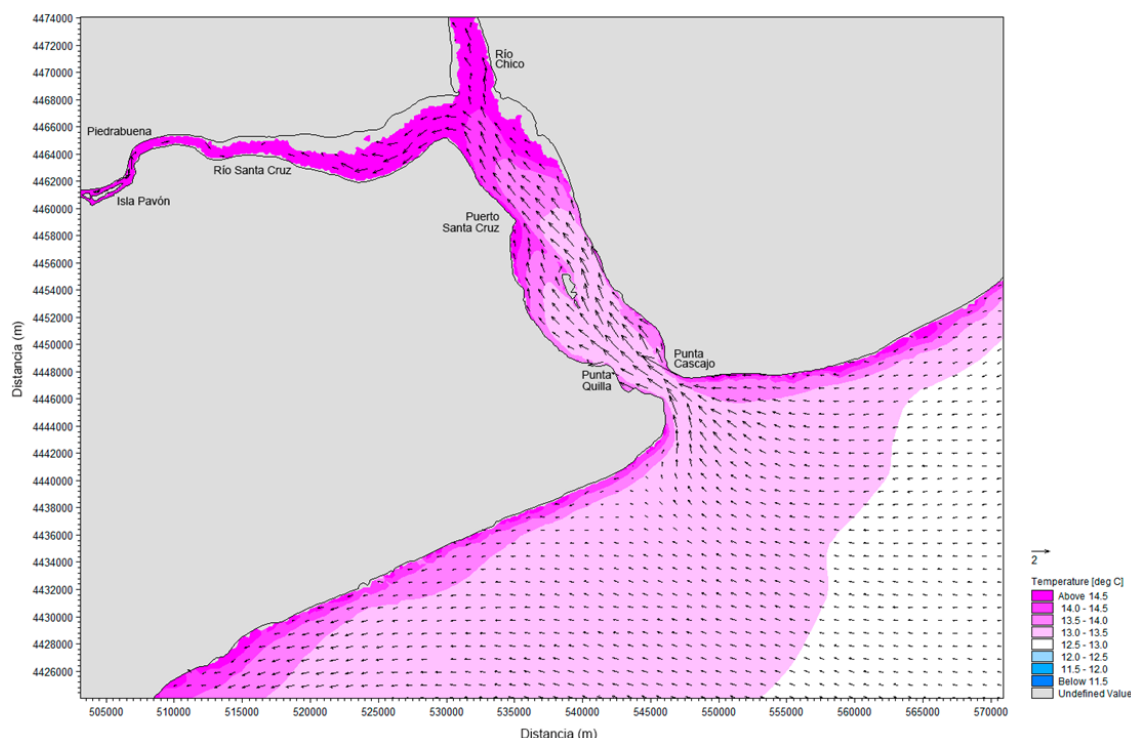


Figura 6.3.5 Campo de temperatura y corrientes para la Capa 5 (capa cercana a la superficie) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)



6.4. Salinidad y corrientes para distintas condiciones de marea

Las mediciones utilizadas en la calibración del modelo indican salinidades nulas en los Ríos Santa Cruz y Chico y superiores a 32 UPS en el mar, esto puede verse los registros de temperatura en la Estaciones Estuario 2 y Mar de las Figuras 4.4.2 y 4.4.5, y en los perfiles de la Figura 4.5.11.

Los campos de salinidad variables en el tiempo han sido reproducidos por el modelo para diferentes condiciones de marea y viento. En las Figuras 6.4.1 a 6.4.7 se presentan campos de salinidad y velocidades de la capa cercana al fondo del mar para las 7 condiciones de marea de la Figuras 6.2.1, calculados por el MIKE 3 (HD+AD). De estas figuras puede verse que el agua salada del mar ingresa al estuario dominada por las velocidades de marea, generando un importante gradiente horizontal que varía espacialmente en función de la condición de marea. Para el ejemplo de las figuras, puede verse que en creciente el agua salada en interior del estuario es mayor que en bajante y salinidades del orden de 10 UPS pueden encontrarse a unos 10 km dentro del Río Santa Cruz. En bajante el Río Santa Cruz muestra salinidad nula en toda la extensión simulada, desde Isla Pavón hasta su desembocadura en el estuario.

Un detalle de las variaciones de la salinidad, por condición de marea, se muestra a continuación.

Condición 1 (referencia Figura 6.2.1)

La Figura 6.3.1 representa el campo de velocidades y la distribución de la salinidad en el estuario en condiciones cercanas a la pleamar. El agua está aún entrando al estuario y la salinidad tiene valores entre 20 UPS y 32 UPS, aproximadamente.

Condición 2

La Figura 6.3.2 representa el campo de velocidades y la distribución de la salinidad en el estuario en condiciones de bajante (el agua se está retirando). La salinidad tiene valores entre 20 UPS y 32 UPS, aproximadamente.

Condición 3

La Figura 6.3.3 representa el campo de velocidades y la distribución de la salinidad en el estuario en condiciones de bajante (el agua se está retirando) cerca de la bajamar. La salinidad tiene valores entre 10 UPS y 28 UPS, aproximadamente, esto es la salinidad disminuye a medida que sale el agua del estuario.

Condición 4

La Figura 6.3.4 representa el campo de velocidades y la distribución de la salinidad en el estuario en condiciones casi de bajamar (el agua aún se está retirando). La salinidad tiene valores entre 4 UPS y 28 UPS, aproximadamente.

Condición 5

La Figura 6.3.5 representa el campo de velocidades y la distribución de la salinidad en el estuario en condiciones de creciente aunque muy cercanas a la bajamar (el agua comienza a entrar). La salinidad tiene valores entre 6 UPS y 28 UPS, aproximadamente.

Condición 6

La Figura 6.3.6 representa el campo de velocidades y la distribución de la salinidad en el estuario en condiciones de creciente (el agua sigue entrando). La salinidad tiene valores entre 6 UPS y 32 UPS, aproximadamente.

Condición 7

La Figura 6.3.7 representa el campo de velocidades y la distribución de la salinidad en el estuario en condiciones cercanas a la pleamar. El agua está aún entrando al estuario y la salinidad tiene valores entre 20 UPS y 32 UPS, aproximadamente. Este caso es similar a la Condición 1.

Figura 6.3.1 Campo de salinidad y corrientes para la Condición 1 de marea

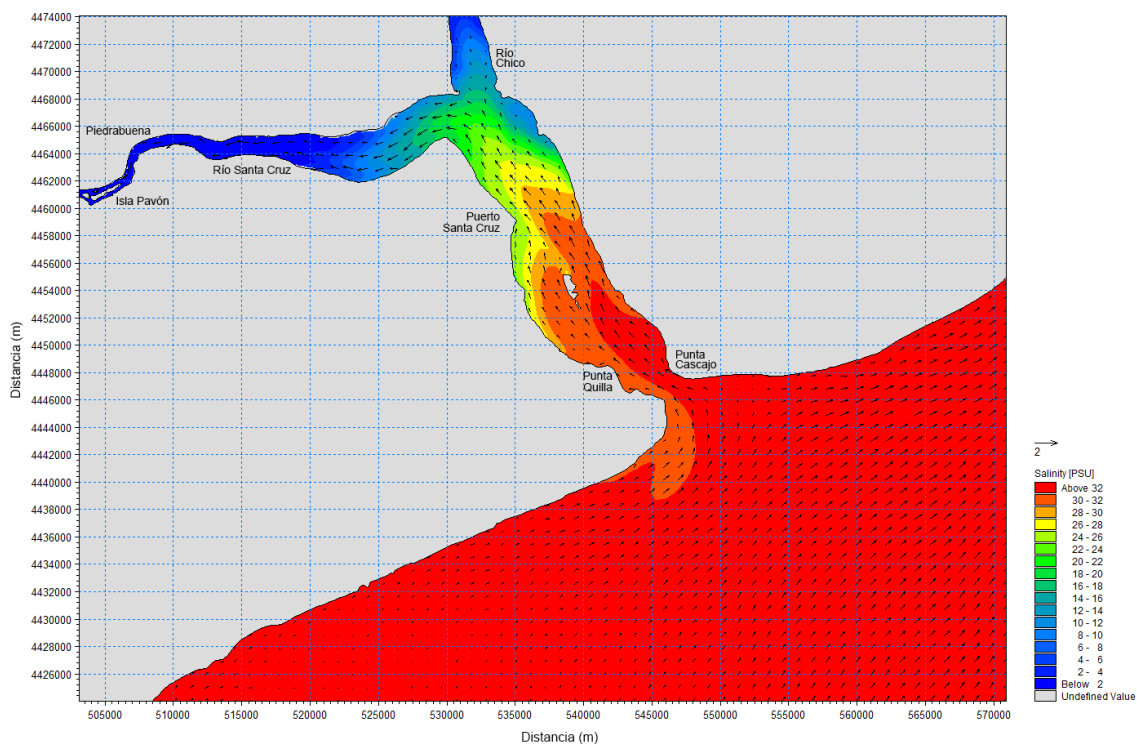


Figura 6.3.2 Campo de salinidad y corrientes para la Condición 2 de marea

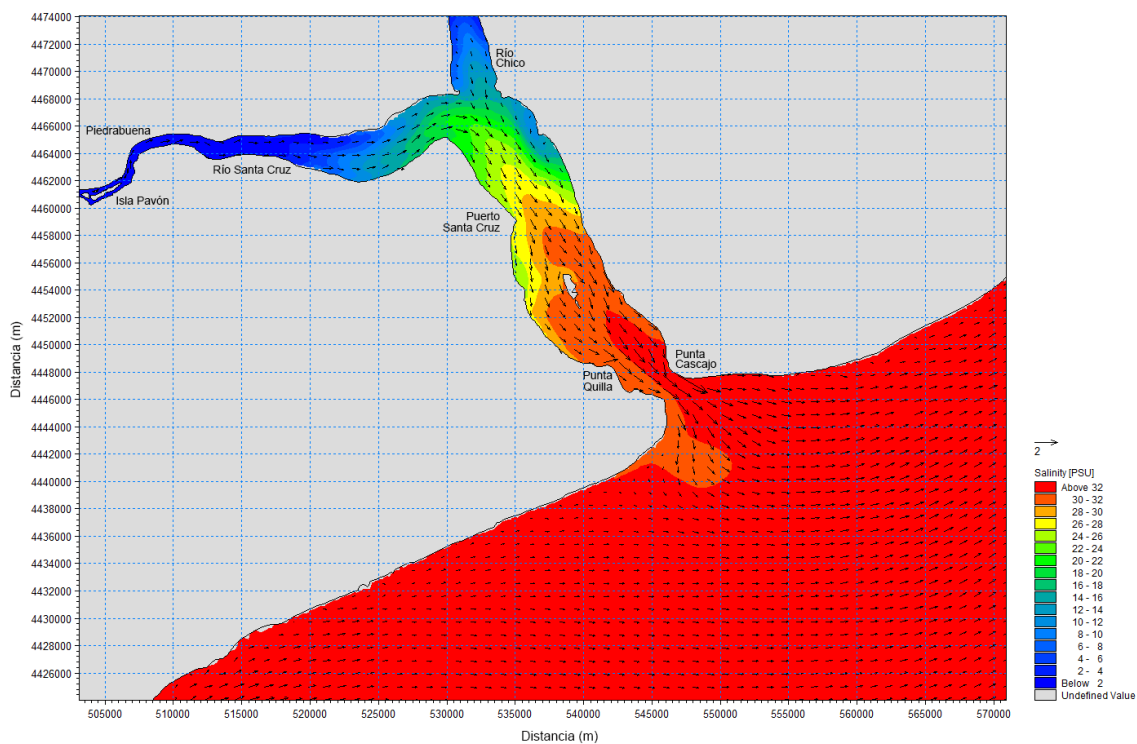


Figura 6.3.3 Campo de salinidad y corrientes para la Condición 3 de marea

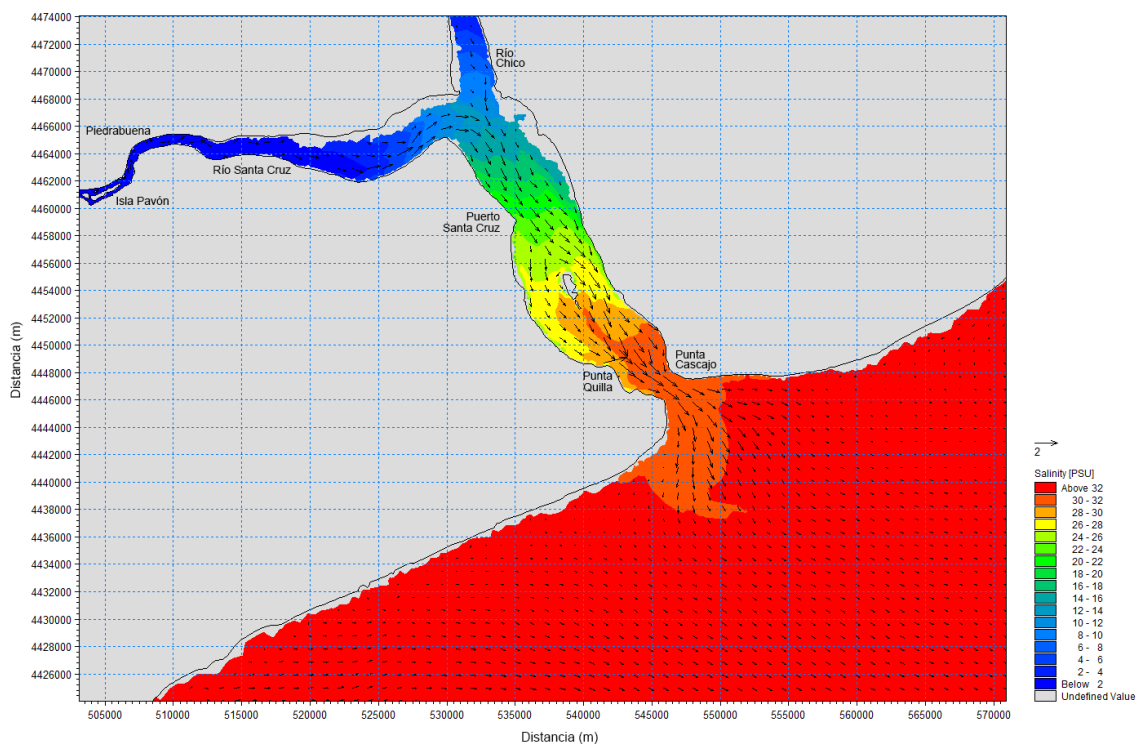


Figura 6.3.4 Campo de salinidad y corrientes para la Condición 4 de marea

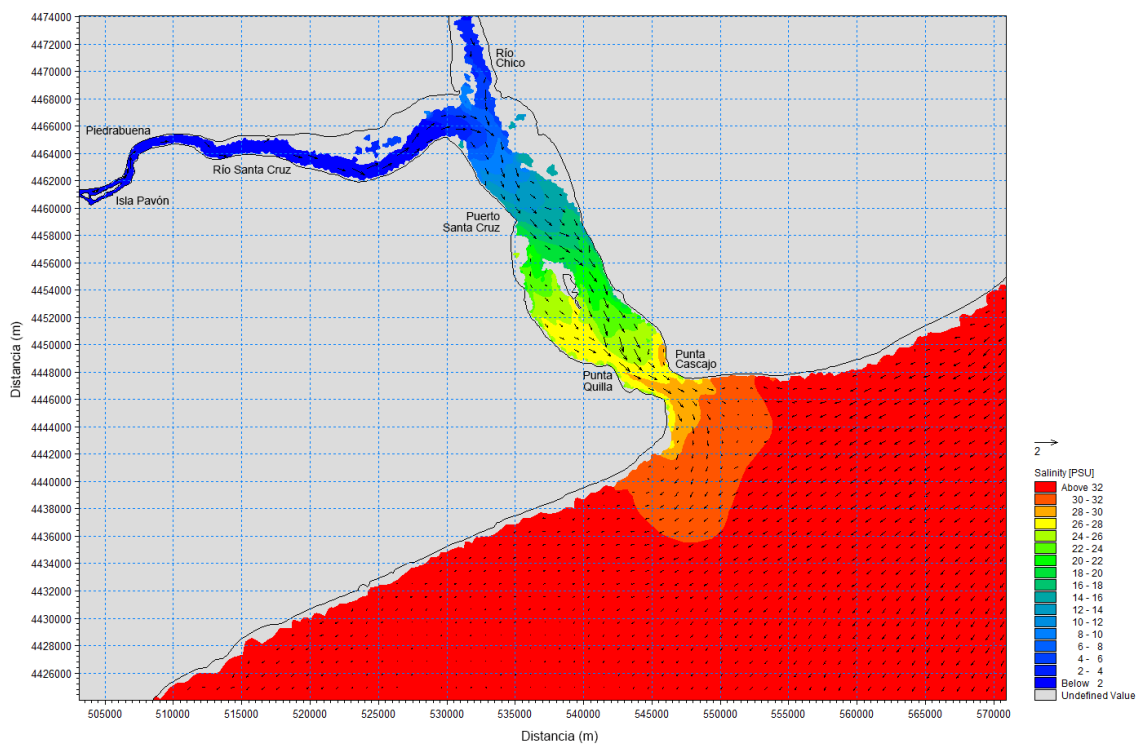


Figura 6.3.5 Campo de salinidad y corrientes para la Condición 5 de marea

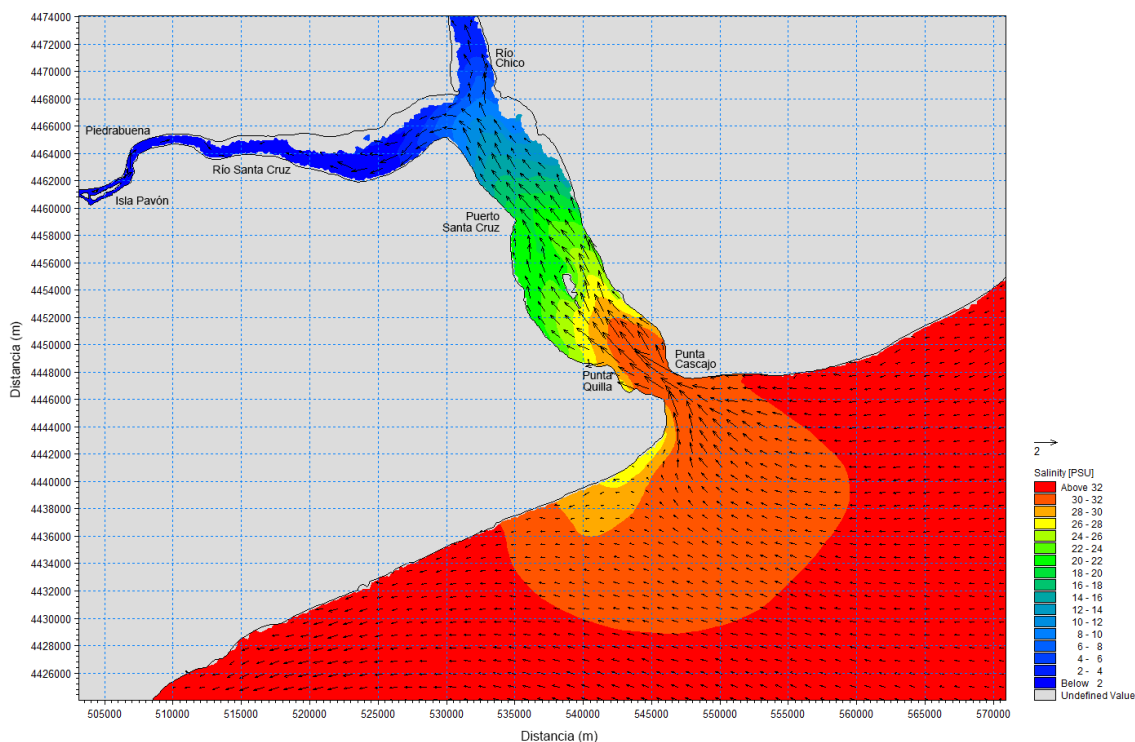


Figura 6.3.6 Campo de salinidad y corrientes para la Condición 6 de marea

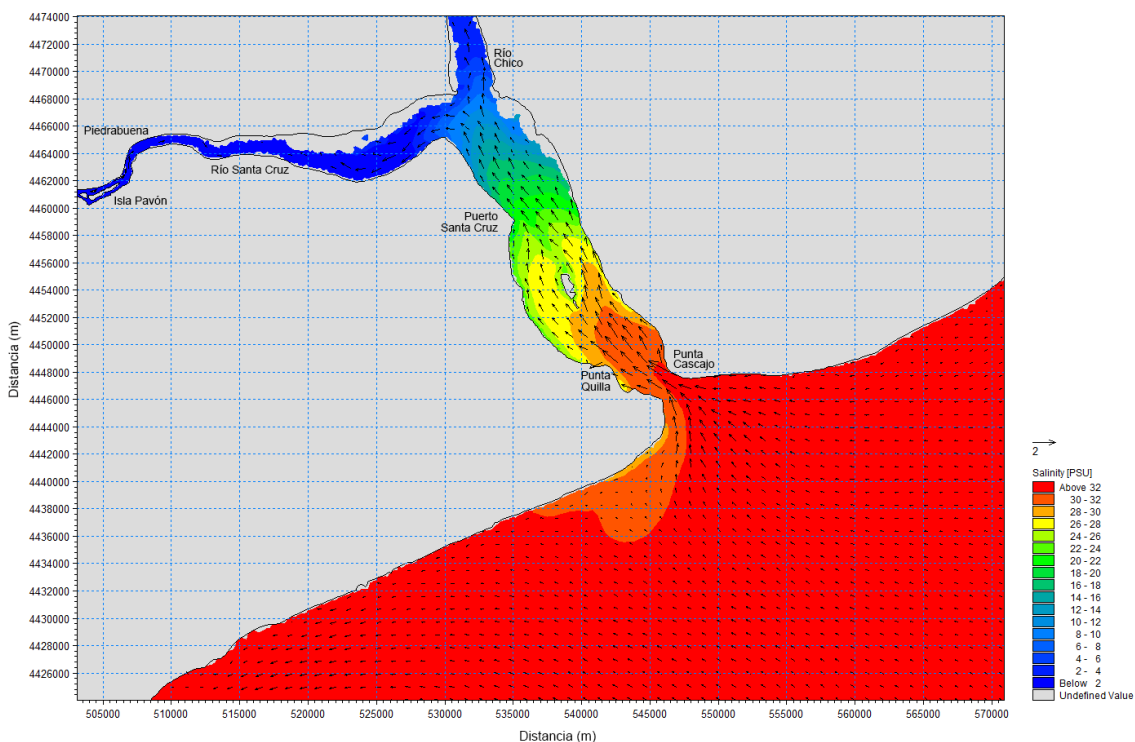
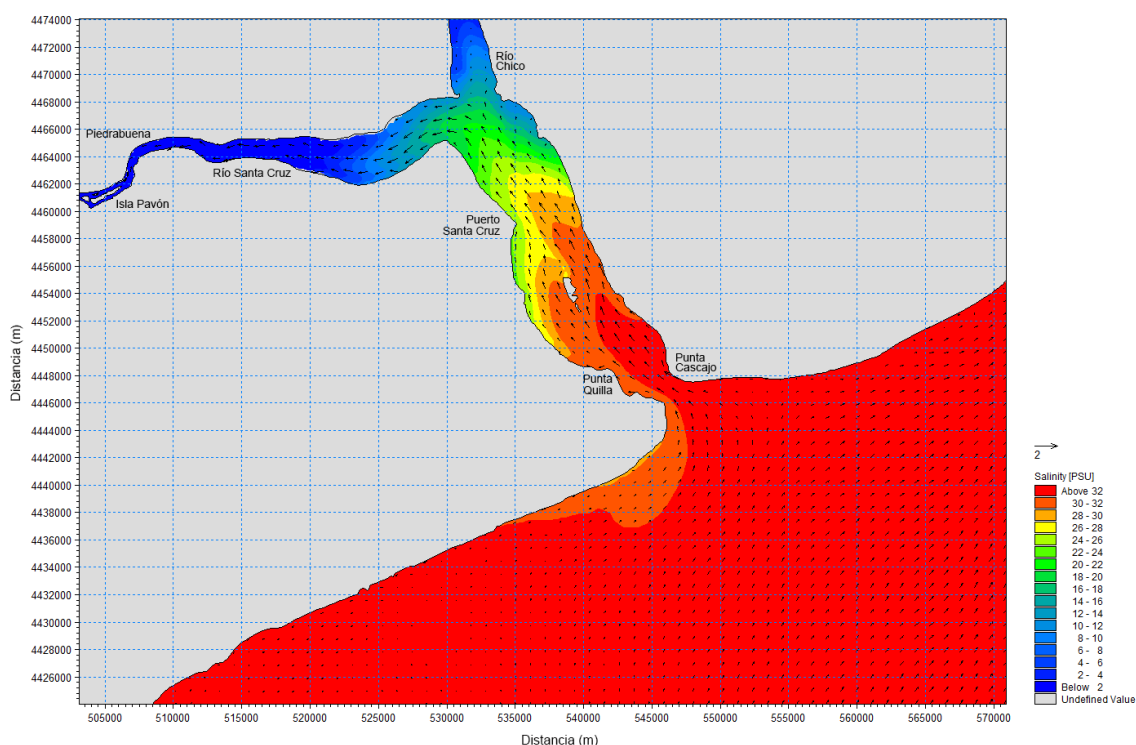


Figura 6.3.7 Campo de salinidad y corrientes para la Condición 7 de marea



6.5. Salinidad y corrientes para la Condición 6

Para ilustrar la distribución de la salinidad en la vertical, se presentan las Figuras 6.5.1 a 6.5.5, para la Condición 6 (Figura 6.2.1), que incluyen los campos de velocidades en las 5 capas de cálculo que utiliza el modelo además de la salinidad. La capa 1 es la cercana al fondo y la 5 es a la superficie, como son consideradas por el MIKE 3 (HD+AD).

Los campos de salinidad en todas las capas muestran una variación importante con aguas de salinidad nula proveniente de los Ríos Santa Cruz y Chico hasta salinidades superiores a 32 UPS mar adentro. Inversamente a las temperaturas, puede verse que la salinidad en el estuario aumenta a medida que las capas son más profundas, encontrándose los máximos cercanos al fondo (ver Figura 6.5.5). Puede verse que la pluma de agua de relativamente baja salinidad que genera la desembocadura del estuario en el mar es de menor tamaño en la capa 1 (fondo) que en la capa 5 (superficie).

Figura 6.5.1 Campo de salinidad y corrientes para la Capa 1 (cerca del fondo) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)

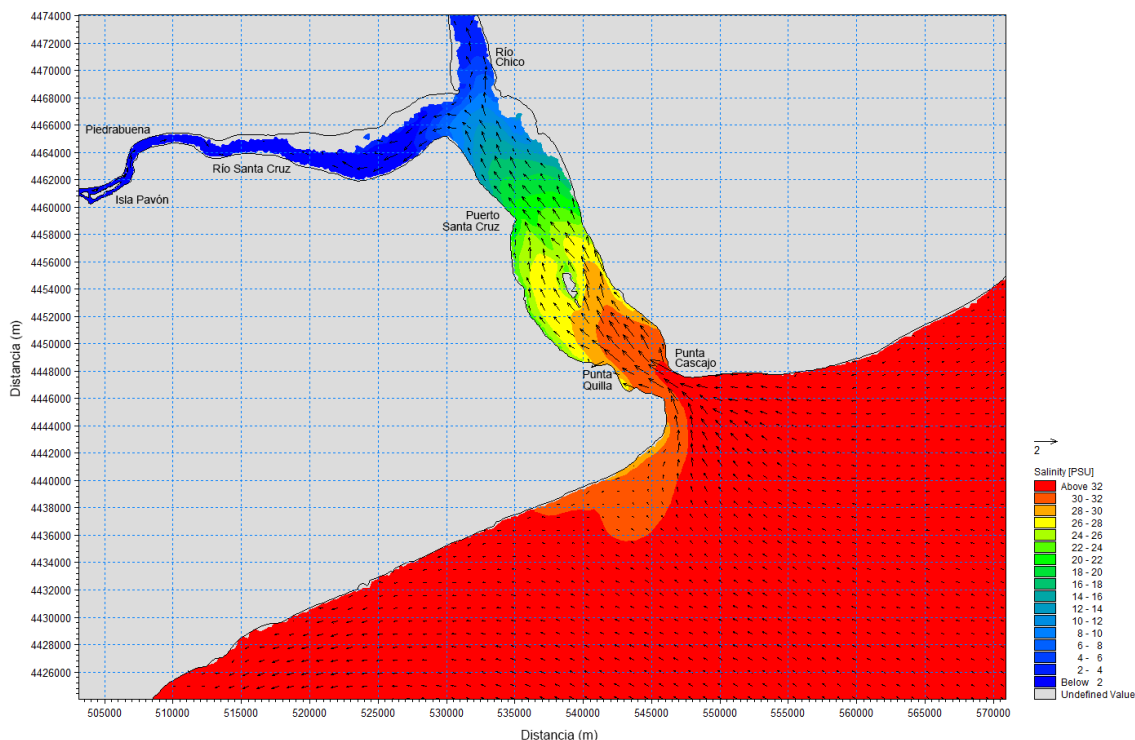


Figura 6.5.2 Campo de salinidad y corrientes para la Capa 2 (entre la capa de fondo y la capa a media agua) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)

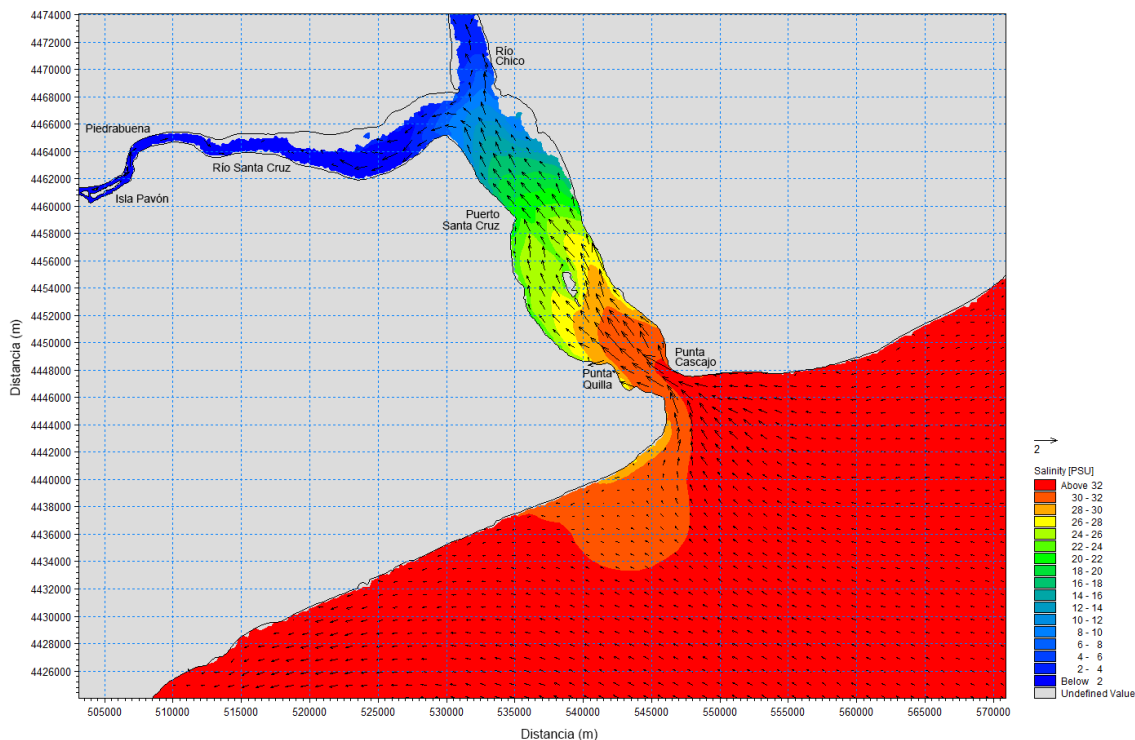


Figura 6.5.3 Campo de salinidad y corrientes para la Capa 3 (a media agua) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)

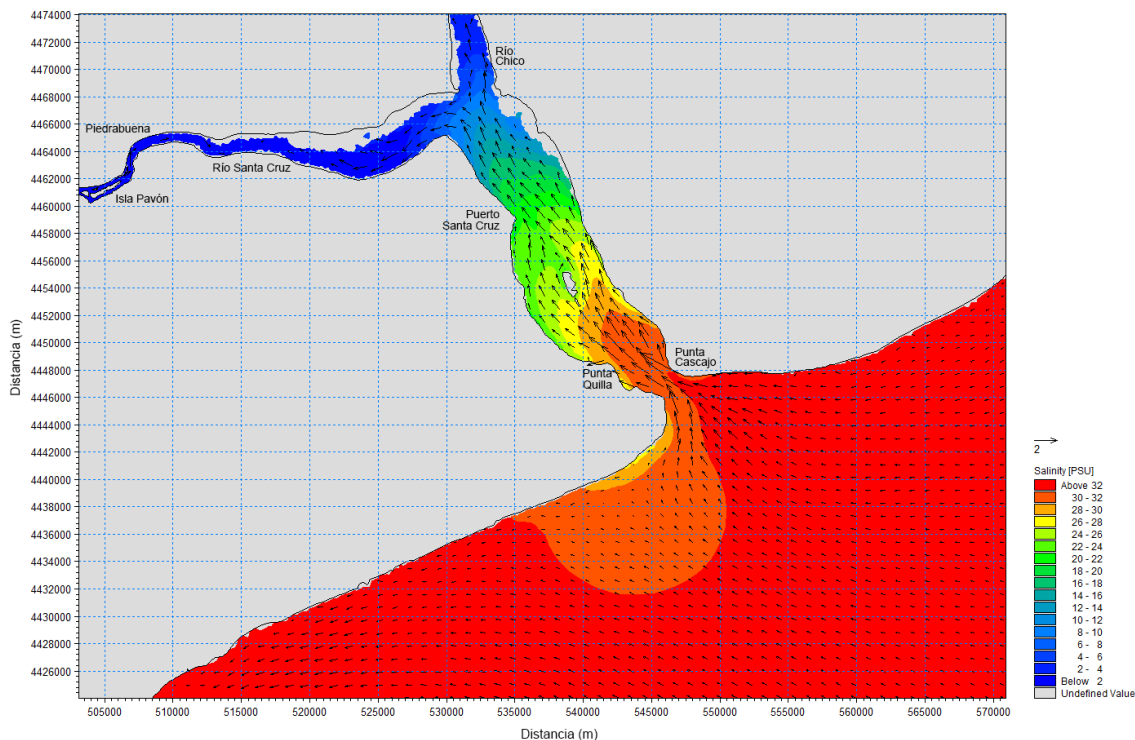


Figura 6.5.4 Campo de salinidad y corrientes para la Capa 4 (entre la capa media agua y la capa cercana a la superficie del mar) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)

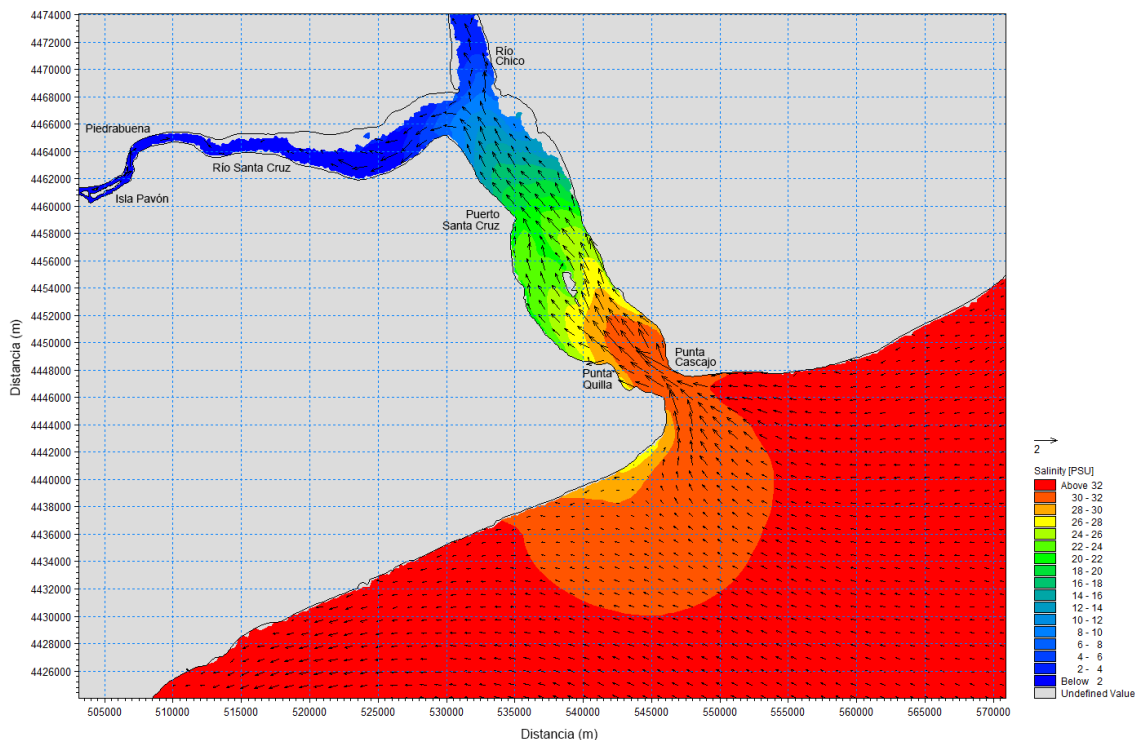
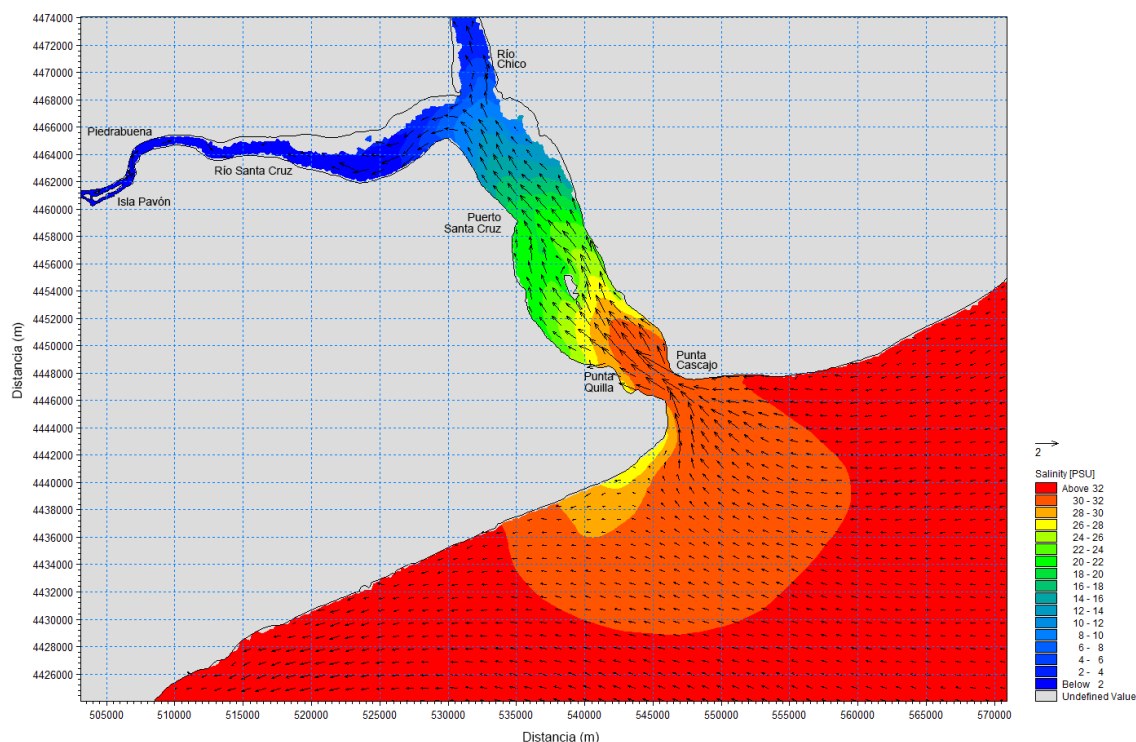


Figura 6.5.5 Campo de salinidad y corrientes para la Capa 5 (capa cercana a la superficie del mar) para la Condición 6 de marea (cerca de la pleamar, creciente)



6.6. Corte longitudinal de salinidad

Para ilustrar la estructura vertical de la salinidad se presenta las Figuras 6.6.2 a 6.6.8 que muestran la salinidad para 7 condiciones de marea (ver Figura 6.2.1) a lo largo de una línea arbitraria longitudinal del estuario (Figura 6.6.1).

Los diferentes estados de la marea muestran variaciones importantes de la salinidad en el espacio y tiempo. Esta línea arbitraria inicia en el río de salinidad nula y llega hasta mar adentro donde la salinidad es la marina (mayor a 32 UPS). En la zona intermedia está el estuario donde la salinidad presenta cambios en la horizontal y la vertical.

Para tomar una referencia, puede seleccionarse un rango de salinidades de 26 a 28 UPS (color amarillo) donde para las 3 AM (Condición 1) se encuentra en el punto IP11 (25 km del eje x) y para las 9 AM (condición 5) en el IP 16 (45 km del eje x). El 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).

Respecto la variación vertical de la salinidad puede verse que en la mayoría de los casos ésta aumenta con la profundidad (cuña salina) pero esta condición no se sostiene en el tiempo y se desarma con cada ciclo de marea. Estas figuras también ilustran sobre las variaciones de los niveles del mar sobre el eje y las pendientes de la superficie del mar.

Figura 6.6.1 Eje del corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes condiciones de marea.

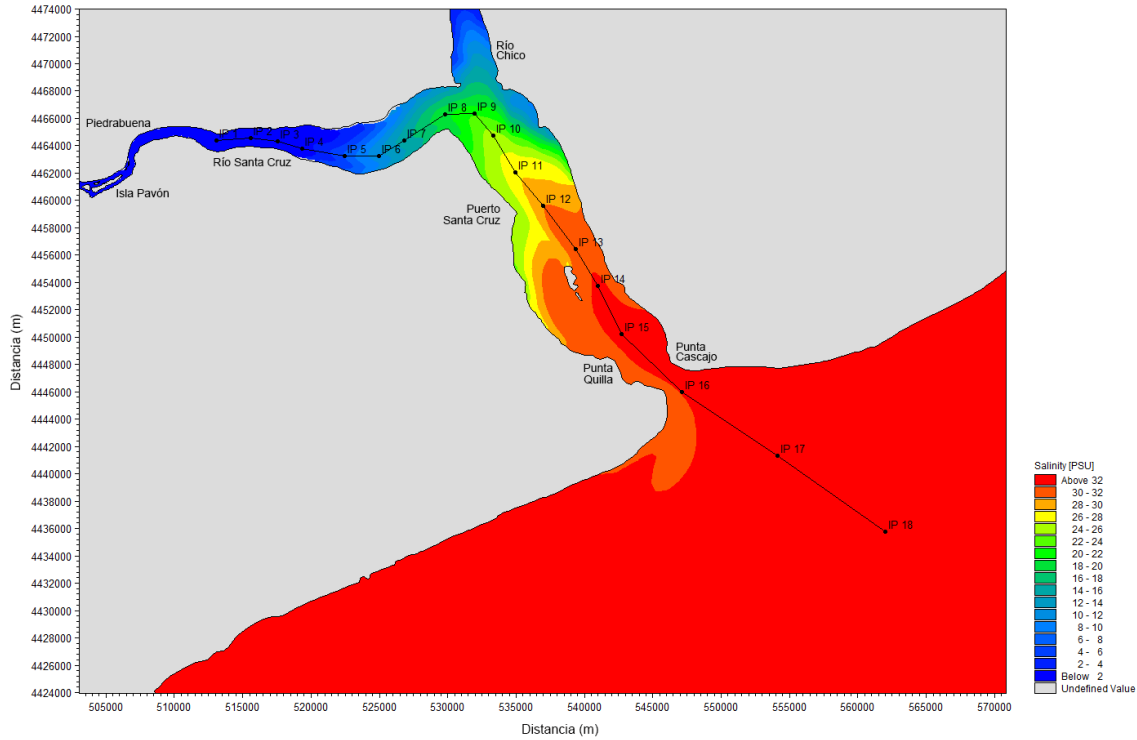


Figura 6.6.2 Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 1 de marea.

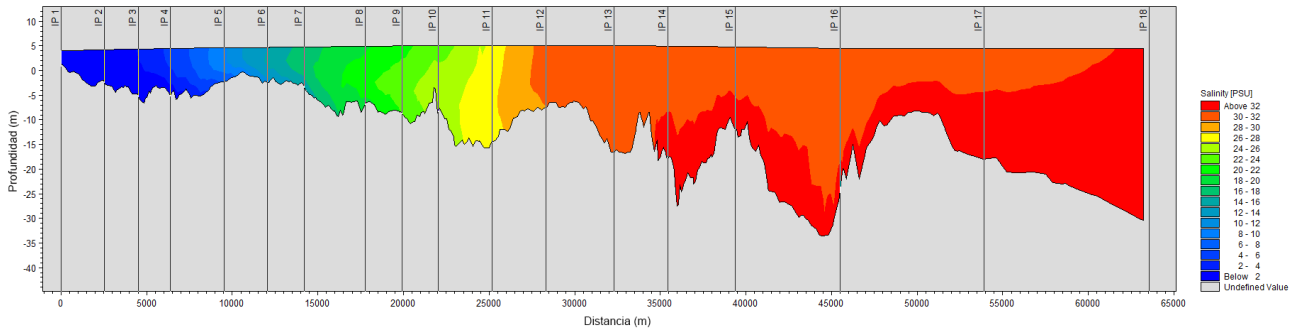


Figura 6.6.3 Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 2 de marea.

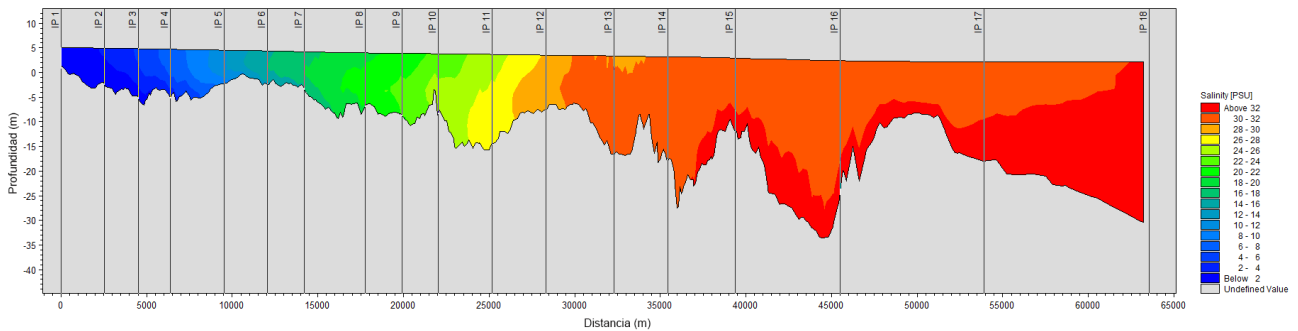


Figura 6.6.4 Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 3 de marea.

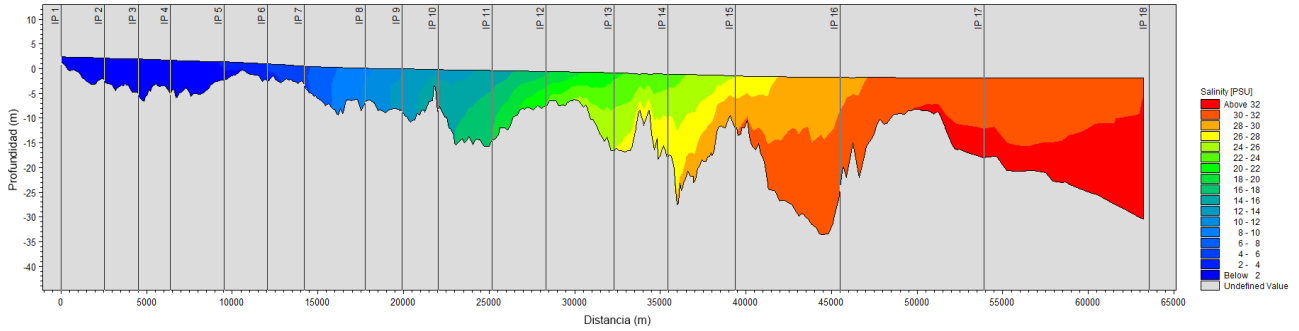


Figura 6.6.5 Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 4 de marea.

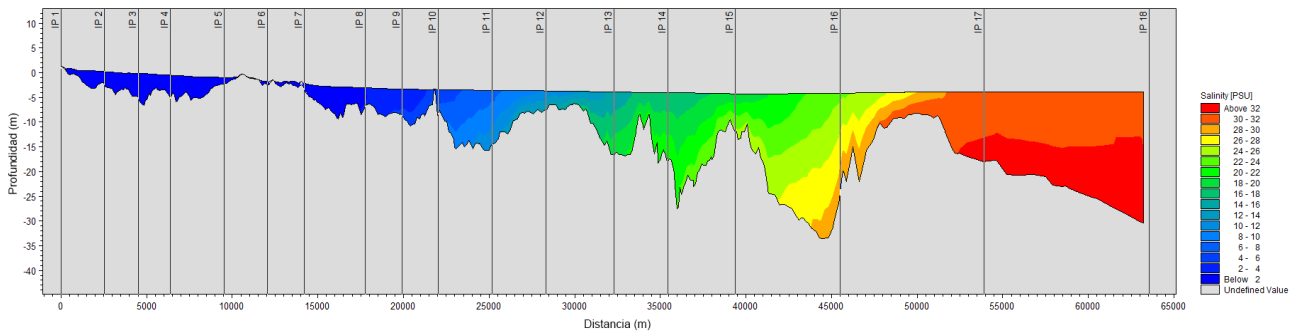


Figura 6.6.6 Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 5 de marea.

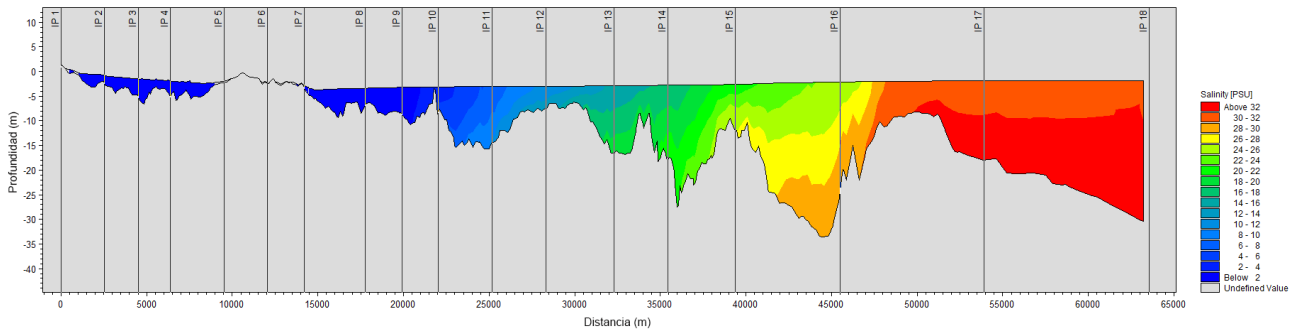


Figura 6.6.7 Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 6 de marea.

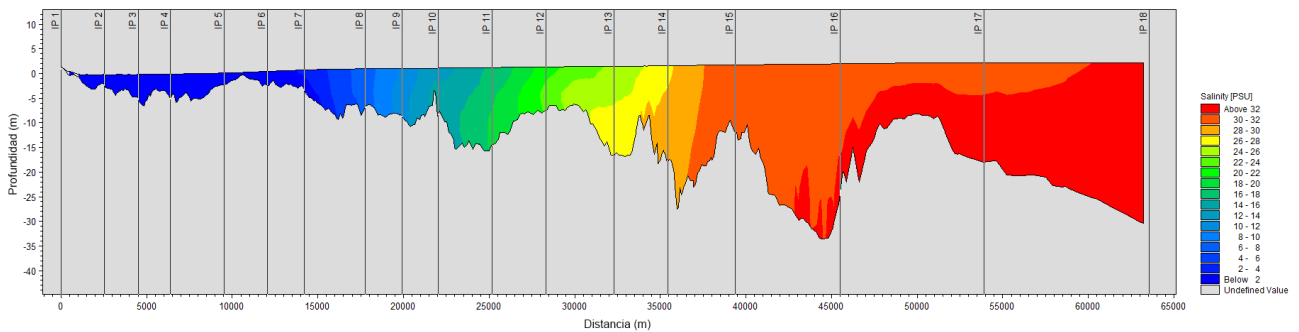
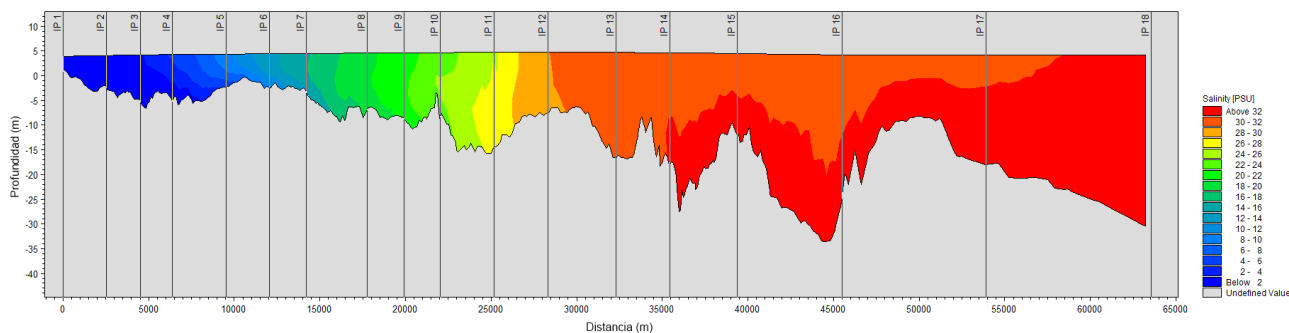


Figura 6.6.8 Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 7 de marea.



Los perfiles de salinidad medidos en los puntos P1 a P7 no muestran salinidad (Figura 4.5.11). Sin embargo los resultados del modelo para los puntos IP1 a IP7 dentro del río Santa Cruz (que abarcan hasta el perfil P7 medido, aproximadamente), muestran que hay salinidades de hasta unos 16 PSU en IP7, y unos 6 PSU en IP4 (Figuras 6.6.2 y 6.6.8, para las condiciones 1 y 7).

Esta diferencia se debe a la estrategia de medición adoptada. Si bien se midió en creciente, la velocidad utilizada por la embarcación fue mayor que la velocidad de propagación de la marea, produciendo un efecto “como si la salinidad persiguiera al instrumento, pero no lo alcanza”.

Durante el período utilizado para la calibración del modelo, la salinidad es prácticamente nula en los puntos P1, P2 y P3 (ver Tabla 6.6.1).

Tabla 6.6.1 Salinidad generada por el modelo en los Puntos P1 a P10, utilizando un caudal del Río Santa Cruz de 570 m³/s. Estadísticas básicas para el período de modelación 12 a 25 de diciembre de 2016.

Punto	Salinidad (UPS)			
	Valor medio	Mínimo	Máximo	Desvío Estándar
P1	0.0	0.0	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0	0.0
P3	0.0	0.0	0.1	0.0
P4	0.2	0.0	3.4	0.6
P5	0.9	0.0	9.0	1.9
P6	2.4	0.0	14.3	3.8
P7	5.2	0.0	20.3	6.3
P8	9.4	0.0	25.0	7.7
P9	16.5	3.3	30.3	8.1
P10	21.6	7.6	31.7	6.8

Las Figuras 6.6.9 y 6.6.10 muestran las series de tiempo de salinidad cercana al fondo el mar sólo en los puntos P4 a P10, obtenidas de la modelación.

Figura 6.6.9 Resultados del modelo MIKE 3 (HD). Salinidad cercana al fondo en los puntos P4 a P10, para el período 16 a 20 de diciembre de 2016.

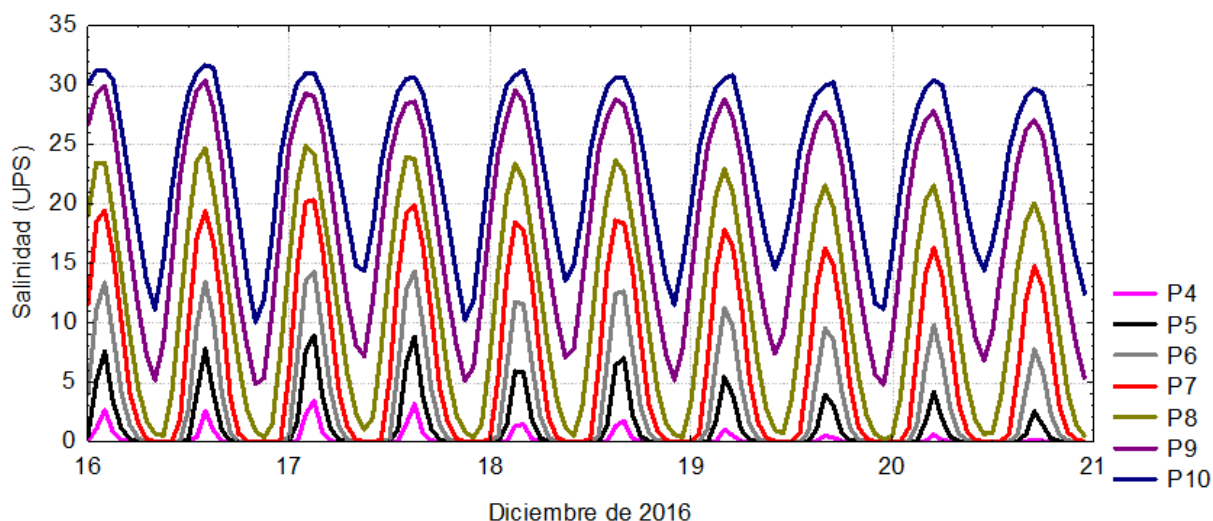
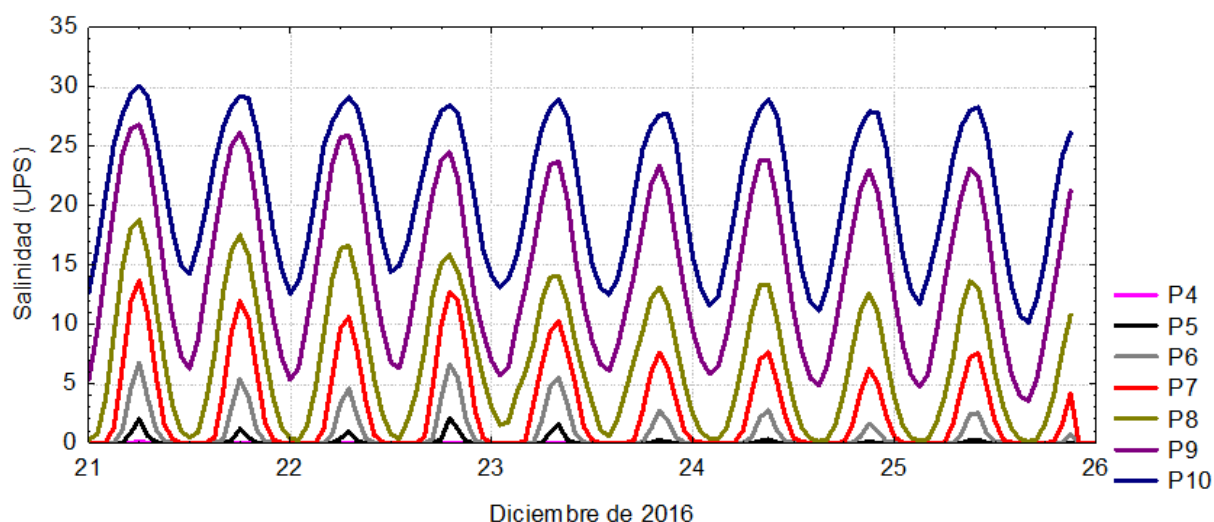


Figura 6.6.10 Resultados del modelo MIKE 3 (HD). Salinidad cercana al fondo en los puntos P4 a P10, para el período 21 a 25 de diciembre de 2016.



De las Figuras 6.6.9 y 6.6.10 puede verse que:

- La salinidad en los puntos P4 a P10 es mayor cuando el agua ingresa al Río Santa Cruz durante con la pleamar.
- La salinidad dentro del Río Santa Cruz es mayor cuando la amplitud de marea es mayor. Por ejemplo para sicigias la salinidad en el punto P4 alcanza unos 4 UPS y en cuadratura es nula. Durante las simulaciones la amplitud de marea fue cambiando como muestra la Tabla 6.6.2

Tabla 6.6.2 Condiciones de marea

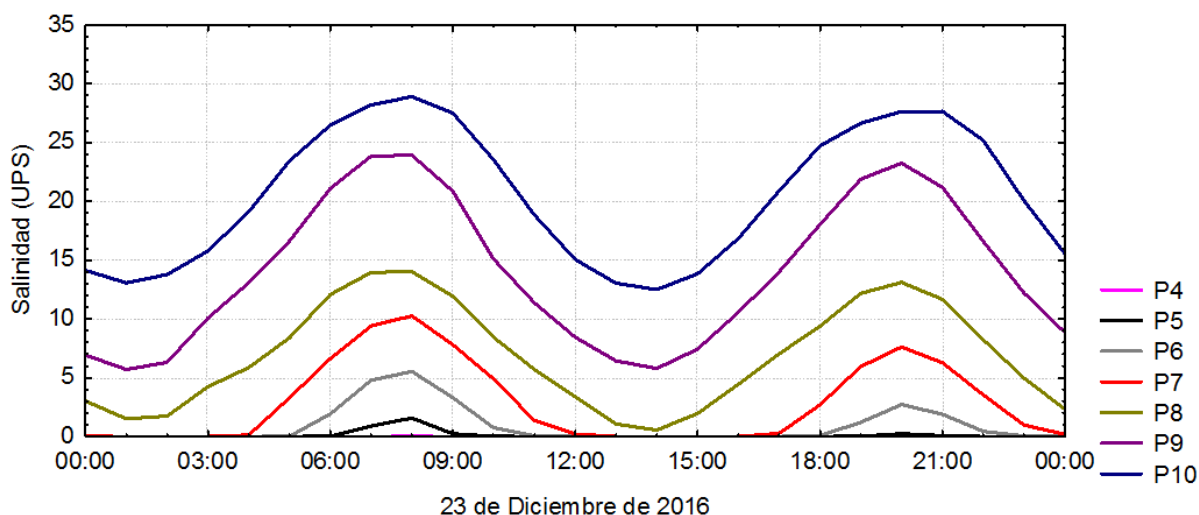
Día	Intervalo de marea	Amplitud de marea, Punta Quilla (m)
19/12/2016	BM a PM (agua entrando durante la modelación)	8.29
23/12/2016	BM a PM (agua entrando durante la medición)	5.67

Un detalle del día de mediciones puede verse en la Tabla 6.6.3 y la Figura 6.6.11.

Tabla 6.6.3 Estaciones de perfiles verticales de Conductividad (Salinidad UPS) y otras variables.

Estación	Punto	Fecha	Hora
CTDTu 01	P1	23-dic.-16	9:45:05
CTDTu 02	P2	23-dic.-16	10:48:11
CTDTu 03	P3	23-dic.-16	11:18:33
CTDTu 04	P4	23-dic.-16	11:45:34
CTDTu 05	P5	23-dic.-16	12:07:15
CTDTu 06	P6	23-dic.-16	12:25:55
CTDTu 07	P7	23-dic.-16	12:41:20
CTDTu 08	P8	23-dic.-16	13:02:34
CTDTu 09	P9	23-dic.-16	13:46:10
CTDTu 10	P10	23-dic.-16	14:11:37
CTDTu 10a	P10	23-dic.-16	15:32:06
CTDTu 09a	P9	23-dic.-16	15:56:33
CTDTu 08a	P8	23-dic.-16	16:19:38
CTDTu 07a	P7	23-dic.-16	16:42:08
CTDTu 06a	P6	23-dic.-16	16:51:29
CTDTu 05a	P5	23-dic.-16	17:14:10
CTDTu 04a	P4	23-dic.-16	17:24:04
CTDTu 03a	P3	23-dic.-16	17:50:01
CTDTu 02a	P2	23-dic.-16	18:04:59
CTDTu 01a	P1	23-dic.-16	18:34:46

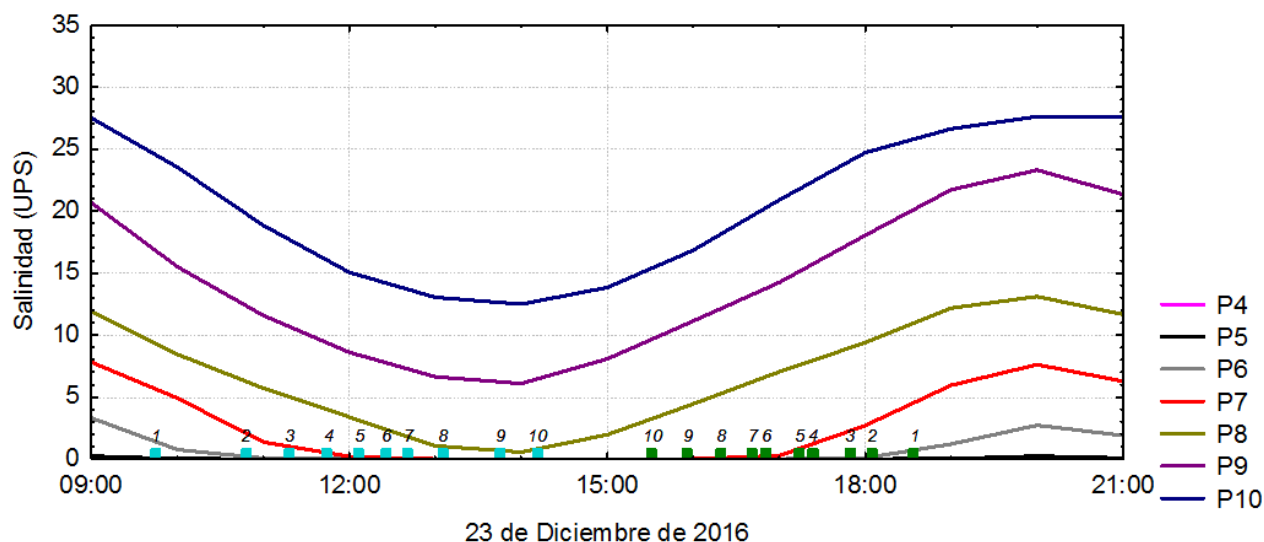
Figura 6.6.11 Resultados del modelo MIKE 3 (HD). Salinidad cercana al fondo en los puntos P4 a P10, para el 23 de diciembre de 2016 hora local.



El modelo indica que para los puntos P1 a P5 la salinidad fue nula para el día 23 de diciembre de 2016, fecha en la que se realizaron las mediciones de los perfiles.

Para una mayor clarificación, se presenta la Figura 6.6.12 que vincula el momento de medición con los resultados de la modelación.

Figura 6.6.12 Resultados del modelo MIKE 3 (HD). Salinidad cercana al fondo en los puntos P4 a P10, para el 23 de diciembre de 2016. Los cuadrados celestes identifican el momento de las mediciones que se realizaron durante la bajante y los cuadrados verdes durante la creciente. Los números de 1 a 10 se corresponden con los puntos P1 a P10.



La Figura 6.6.12 muestra que durante las mediciones en los puntos P4 a P7 la salinidad que calcula el modelo es nula tanto en la bajante como en la creciente, de la misma manera que en las mediciones. Sólo se observa salinidad diferente de cero en los puntos P8, P9 y P10, también al igual que en la mediciones.

6.7. Salinidad, temperatura y corrientes en la Estación 10 a distintas profundidades.

Las Figuras 6.7.1 a 6.7.4 presentan series de tiempo de nivel del mar, temperatura, salinidad y componentes este-oeste y norte-sur de las velocidades calculadas por el modelo para un punto de posición que coincide con la Estación 10, a diferentes profundidades. Las series muestran estar dominadas por las mareas para todas las variables. Esto es, mayor amplitud en los ciclos de las variables coincide con la mayor amplitud en la marea.

Figura 6.7.1 Variación del nivel del mar en la Estación 10.

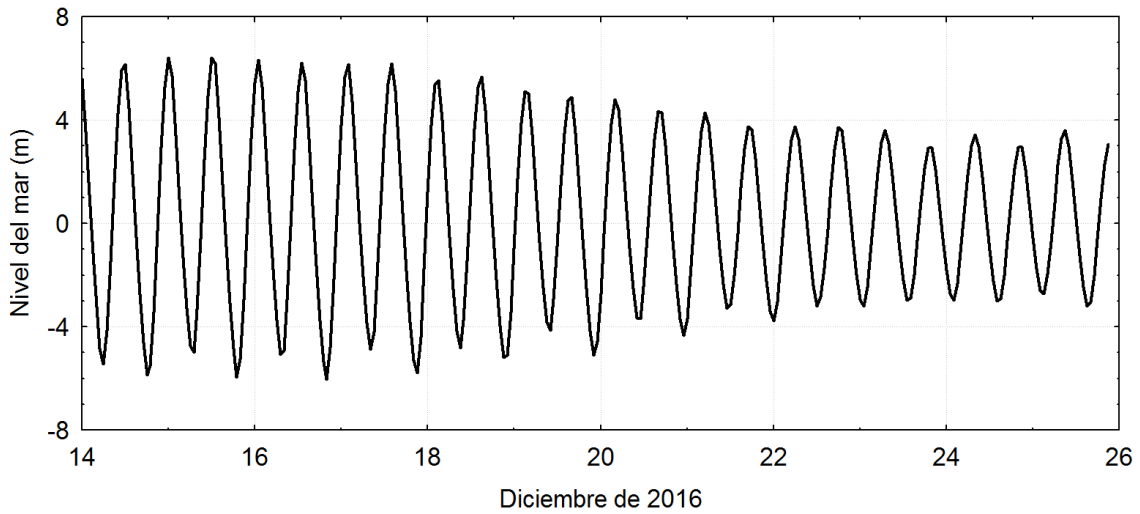


Figura 6.7.2 Variación de la salinidad en la Estación 10, para distintas profundidades

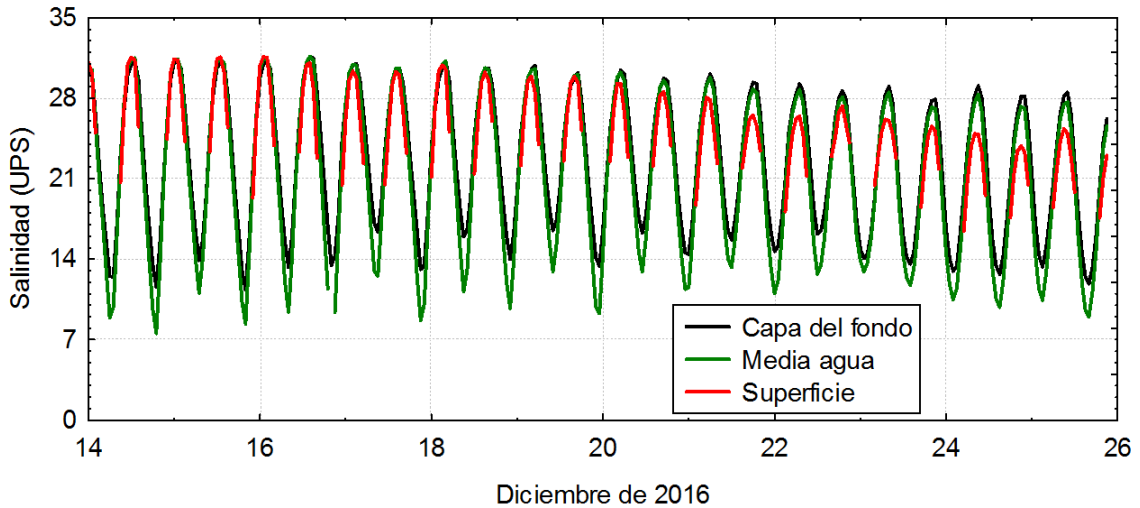


Figura 6.7.3 Variación de la temperatura en la Estación 10, para distintas profundidades

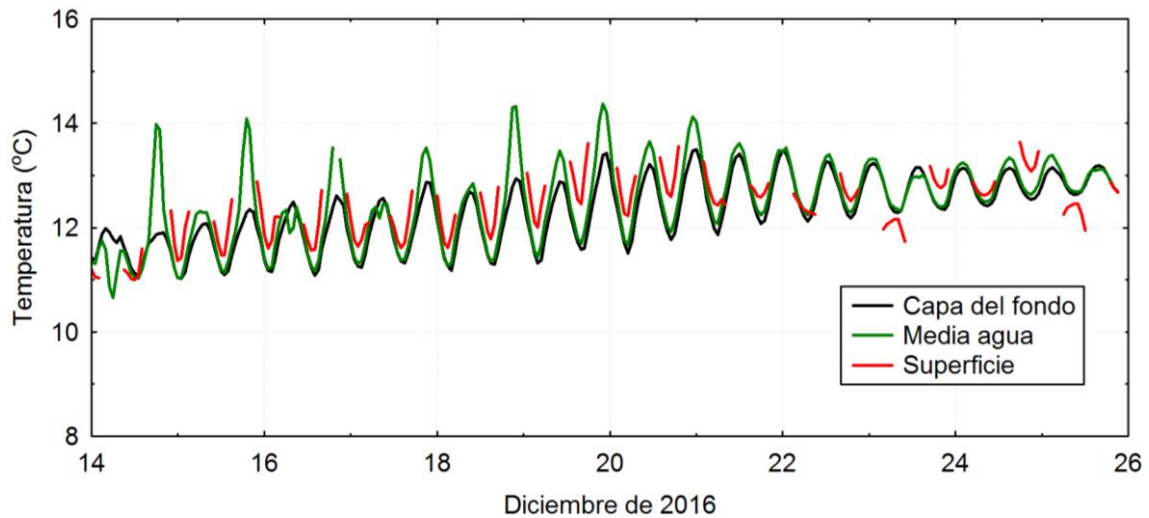
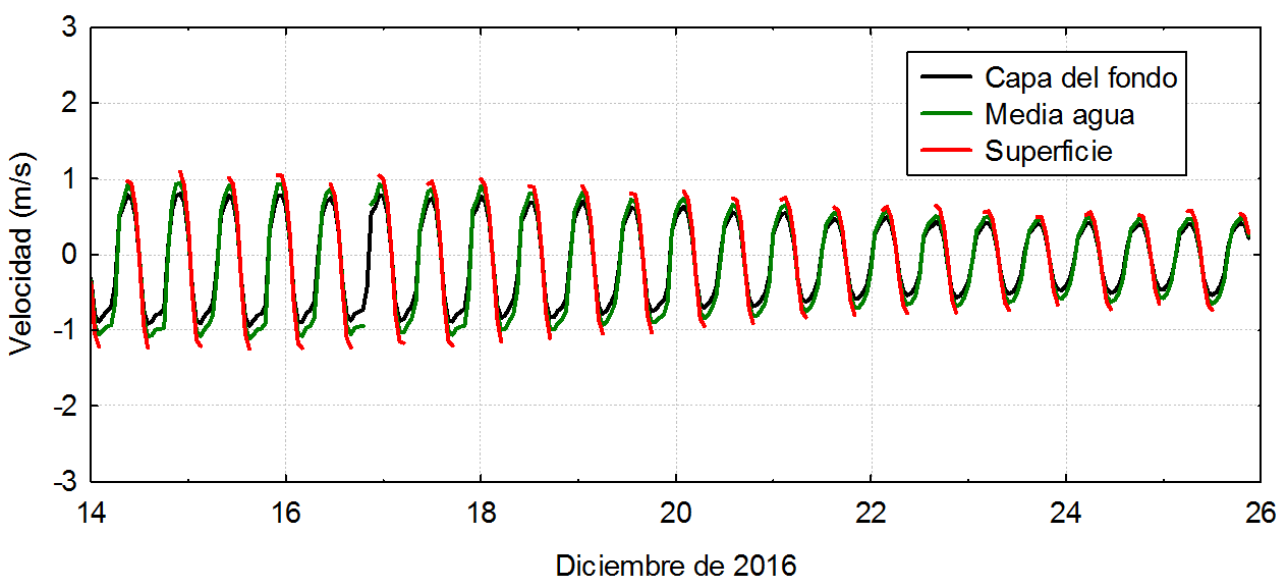
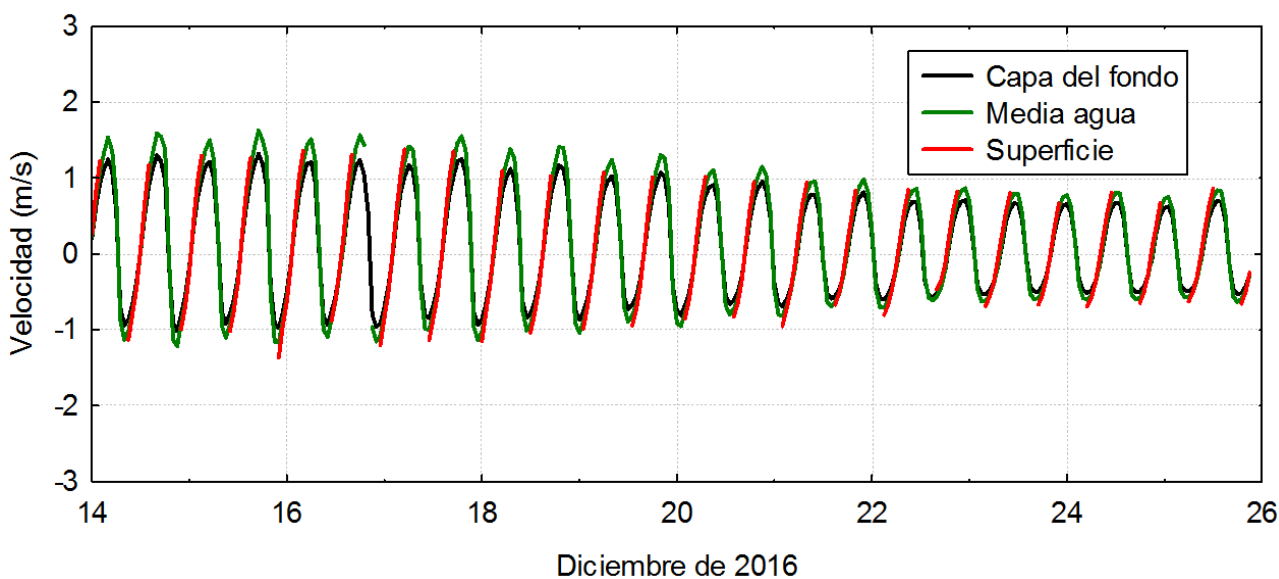


Figura 6.7.4 Variación de las componentes E-W (arriba) y N-S (abajo) de las corrientes en la Estación 10, para distintas profundidades



6.8. Comparación entre valores de salinidad para dos caudales del río

Con el objeto de establecer los valores de salinidad en puntos de referencia con un caudal mayor al establecido para la calibración (570 m³/s), se seleccionó un caudal de 700 m³/s y se hizo una corrida del MIKE 3.

De esta nueva corrida se extrajo la salinidad calculada por el modelo en los puntos P1 a P10, a las mismas profundidades que en el caso correspondiente al caudal de 570 m³/s. Se calcularon valores medios, mínimos y máximos de la serie de tiempo para cada punto y se incluyeron en la Tabla 6.8.1.

De la Tabla 6.8.1 puede verse que la salinidad asociada al caudal mayor es algo menor en todos los puntos. A modo de ejemplo, en el punto P7 la salinidad es en promedio 1.1 UPS menor que para la caso de caudal mayor.

Tabla 6.8.1 Síntesis de la salinidad calculada por el MIKE 3 en los Puntos P1 a P10, utilizando dos caudales del Río Santa Cruz: 570 m³/s y 700 m³/s, para el período del 12 a 25 de diciembre de 2016.

Punto	Q=570 m ³ /s	Q=700 m ³ /s	Q=570 m ³ /s	Q=700 m ³ /s	Q=570 m ³ /s	Q=700 m ³ /s
	Salinidad (UPS) Media	Salinidad (UPS) Media	Salinidad (UPS) Mínima	Salinidad (UPS) Mínima	Salinidad (UPS) Máxima	Salinidad (UPS) Máxima
P1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
P4	0.2	0.1	0.0	0.0	3.4	1.8
P5	0.9	0.5	0.0	0.0	9.0	6.5
P6	2.4	1.7	0.0	0.0	14.3	12.4
P7	5.2	4.1	0.0	0.0	20.3	19.6
P8	9.4	7.7	0.0	0.0	25.0	23.9
P9	16.5	15.0	3.3	1.6	30.3	30.1
P10	21.6	20.7	7.6	6.6	31.7	31.6

6.9. Comparación entre los campos de temperatura, salinidad, corrientes y niveles del mar para los caudales mínimos, máximos y medios del mes de junio

Se trata de simular las condiciones hidrodinámicas y, salinidad y temperatura, a partir de escenarios con caudales mínimos, medios y máximos. Se han seleccionado 3 escenarios de junio asociados a aspectos de interés ambiental (plena invernada del Maca Tobiano), con los caudales del río que se muestra en la Tabla 6.9.1 (ver Figura 4.9.1)

Tabla 6.9.1 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 (años 1955 – 2003)	691 m ³ /s
Caudal Máximo observado para junio (año 1966)	1002 m ³ /s
Caudal Mínimo observado para junio (año 1956)	232 m ³ /s

Las simulaciones (para el mes de junio) tienen las siguientes características:

- Marea y viento variables ambos de modelos globales validados por la calibración.
- Respecto de la temperatura del Río Santa Cruz, el informe (Serman & asociados, 2015) indica que

“En relación al río Santa Cruz, como parte de la campaña de verano se registraron temperaturas de 12°, mientras que en el invierno la temperatura registrada fue de entre 4 y 3° (siendo el valor más bajo de 2,8°C el cual se registró en el Punto 7), para caudales altos y bajos respectivamente, advirtiéndose una relación directa entre temperatura del agua y caudal”.

- Se ha seleccionado una temperatura constante en los dos ríos Santa Cruz y Chico de 4°C considerando a junio como primer mes del invierno y caudales relativamente altos para este período, ya que puede verse (Figura 4.9.1) que julio y agosto registran caudales inferiores.
- Temperatura del mar constante en los bordes del dominio de simulación de 7.5 °C en base a la interpolación conseguida de los datos de la WOD13 (ver Figura 4.1.1).
- Temperatura ambiente de datos de la estación meteorológica de Puerto Santa Cruz, el promedio histórico de junio es de 1.7 °C (Figura 4.8.1).
- Salinidad de los ríos Santa Cruz y Chico nula en los borde del dominio de modelación.
- Salinidad del mar constante de 32.5 UPS en los bordes del dominio de simulación basada en los datos de WOD13 (Figura 4.1.2).

Los resultados de la modelación en términos de la altura de la columna de agua, salinidad, temperatura y velocidad de la corriente, para los 10 puntos de referencia, para los 3 caudales seleccionados, cerca del fondo, se presentan en la Tablas 6.9.2 a 6.9.5.

Tabla 6.9.2 Altura de la columna de agua (m) medida desde el fondo, en cada punto, expresada en términos de sus valores medios, mínimos y máximos. Mes representado: junio

Puntos	Q _{min} = 232 m ³ /s			Q _{med} = 691 m ³ /s			Q _{max} = 1002 m ³ /s		
	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo
P1	1.8	1.6	4.8	2.5	2.4	5.0	2.9	2.8	5.0
P2	1.9	1.2	6.5	2.7	2.1	6.7	3.1	2.7	6.6
P3	1.9	0.5	7.0	2.2	1.0	7.3	2.4	1.2	7.3
P4	4.1	1.7	9.8	4.5	2.3	9.9	4.6	2.6	10.0
P5	4.7	1.2	10.6	5.0	1.8	10.7	5.1	2.2	10.8
P6	6.8	2.6	12.8	6.9	3.0	12.9	7.0	3.3	13.0
P7	8.5	3.7	14.8	8.6	3.9	14.8	8.7	4.1	14.9
P8	8.4	2.5	14.9	8.5	2.5	14.9	8.5	2.6	15.0
P9	12.0	5.9	18.5	12.0	6.0	18.6	12.1	6.0	18.6
P10	11.1	5.0	17.6	11.1	5.1	17.6	11.1	5.1	17.6

- Cerca del extremo oeste del dominio de modelación, en Piedrabuena, el nivel medio del río aumenta a medida que aumenta el caudal del mismo. La diferencia entre niveles del río alcanza 1.1 m entre las simulaciones con caudal mínimo y máximo.
- Prácticamente, a partir del punto P8 el nivel de las aguas es controlado por las mareas sin influencia del caudal que se trate.

Tabla 6.9.3 Salinidad (UPS), en cada punto, expresada en términos de sus valores medios, mínimos y máximos. Mes representado: junio

Puntos	Q _{min} = 232 m ³ /s			Q _{med} = 691 m ³ /s			Q _{max} = 1002 m ³ /s		
	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo
P1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P3	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P4	0.7	0.0	9.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1
P5	2.3	0.0	14.3	0.1	0.0	2.5	0.0	0.0	0.6
P6	5.5	0.0	19.1	0.7	0.0	7.3	0.2	0.0	3.3
P7	9.8	0.1	22.9	2.5	0.0	13.1	1.0	0.0	8.9
P8	16.3	2.1	26.7	6.3	0.0	19.9	3.7	0.0	16.7
P9	22.7	13.0	30.2	13.6	1.6	27.3	10.1	0.4	25.7
P10	26.2	18.4	31.4	19.3	6.0	30.0	16.1	2.6	29.6

- Bajo las condiciones de modelación, no se observa salinidad en los puntos P1 a P3 y en el punto P4 el modelo ha calculado 0.7 UPS de salinidad para el caudal mínimo, para el mes de junio.
- Dentro de la ría, se observan cambios importantes de la salinidad para los distintos caudales del río. 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.

Tabla 6.9.4 Temperatura (°C) en cada punto, expresada en términos de sus valores medios, mínimos y máximos. Mes representado: junio.

Puntos	Q _{min} = 232 m ³ /s			Q _{med} = 691 m ³ /s			Q _{max} = 1002 m ³ /s		
	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo
P1	3.9	3.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
P2	3.5	3.1	4.0	3.9	3.7	4.0	4.0	3.9	4.0
P3	3.3	2.7	3.9	3.7	3.4	4.0	3.7	3.4	4.0
P4	3.1	2.2	3.8	3.8	3.3	4.0	3.8	3.5	4.0
P5	2.9	2.2	3.7	3.7	2.9	4.0	3.8	3.2	4.0
P6	2.7	2.1	3.7	3.5	2.7	4.0	3.7	2.9	4.0
P7	2.6	2.0	3.5	3.3	2.6	3.9	3.5	2.7	4.0
P8	2.7	2.1	4.2	3.2	2.6	4.1	3.3	2.7	4.0
P9	3.4	2.1	5.5	3.4	2.5	5.3	3.5	2.7	5.2
P10	4.3	2.6	6.4	4.1	2.7	6.5	4.0	2.8	6.4

- La temperatura cerca del punto P1 depende de la condición de contorno impuesta al modelo: 4°C, constante para el mes de junio. La temperatura en el mar se ha considerado constante e igual a 7.5°C, mientras que la temperatura ambiente se la ha considerado igual a 1.7°C.
- Los resultados de la Tabla 6.9.4 deben entenderse de la siguiente manera: a partir del punto P1 la temperatura baja debido a la transferencia de frío desde el aire, que se encuentra unos 2.3°C por debajo de la temperatura del río. A partir del punto P8 se ve la influencia de la temperatura más cálida del mar. El fenómeno se repite para todos los caudales. Para obtener resultados más realistas desde el punto de vista de la variación en el tiempo de la temperatura, debería contarse con datos variables en el tiempo el borde del modelo. Datos

que sería interesante considerar para las simulaciones finales en la etapa de construcción y operación de las represas. Las variaciones de temperaturas máximas observadas para las simulaciones con máximo y mínimo caudal son de 1°C.

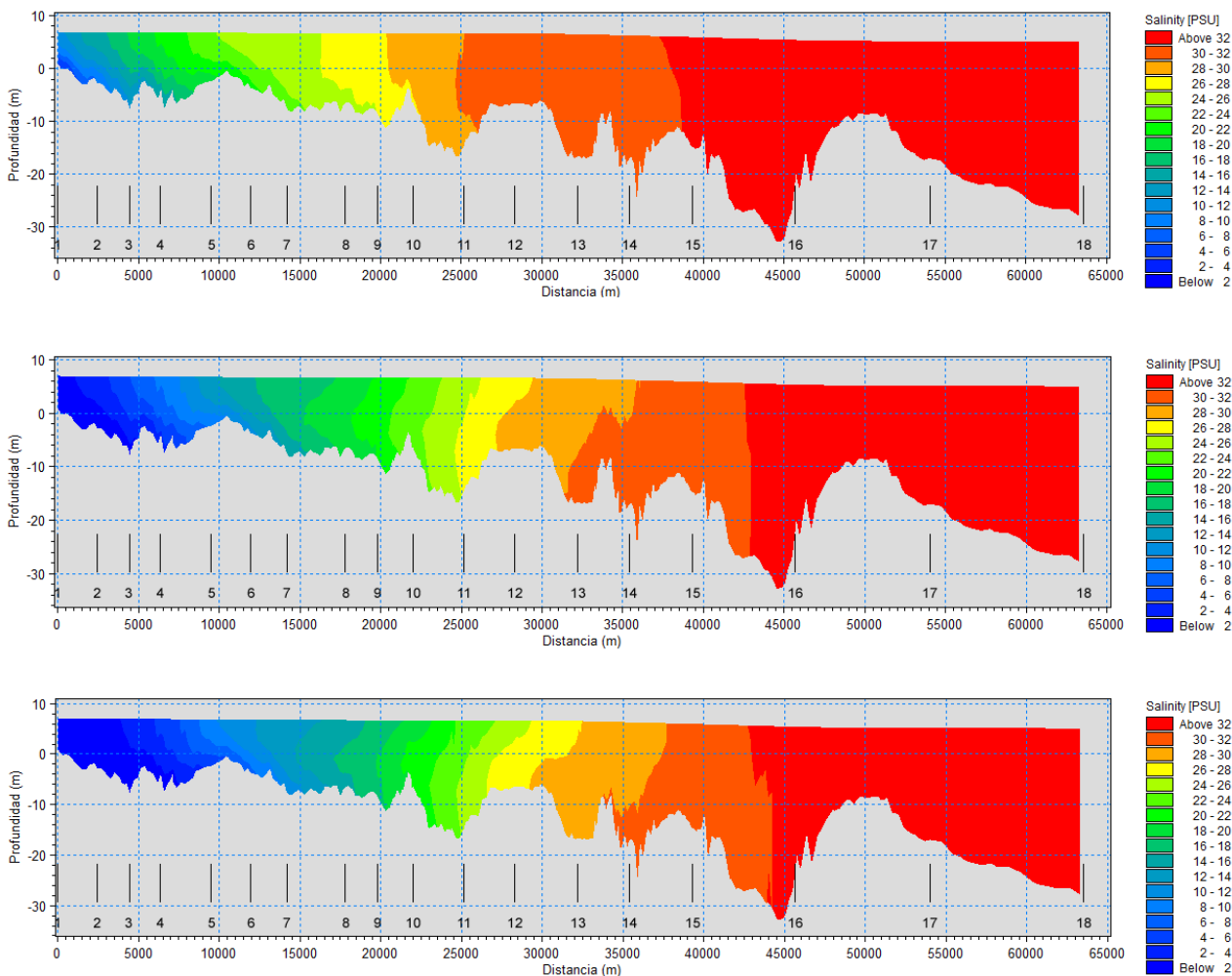
Tabla 6.9.5 Velocidad (m/s) en cada punto, expresada en términos de sus valores medios, mínimos y máximos. Mes representado: junio

Puntos	Q _{min} = 232 m ³ /s			Q _{med} = 691 m ³ /s			Q _{max} = 1002 m ³ /s		
	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo
P1	0.47	0.02	0.57	0.74	0.03	0.79	0.87	0.10	0.91
P2	0.81	0.00	1.52	1.16	0.01	1.39	1.30	0.02	1.51
P3	0.73	0.00	1.18	0.96	0.00	1.47	1.00	0.01	1.71
P4	0.51	0.01	1.39	0.57	0.03	1.19	0.61	0.01	1.10
P5	0.71	0.02	1.42	0.73	0.03	1.29	0.75	0.01	1.21
P6	0.60	0.01	1.18	0.61	0.00	1.13	0.61	0.00	1.10
P7	0.74	0.01	1.28	0.75	0.01	1.24	0.75	0.00	1.22
P8	0.83	0.03	1.40	0.82	0.05	1.44	0.82	0.02	1.47
P9	0.80	0.01	1.43	0.80	0.01	1.43	0.80	0.02	1.42
P10	0.76	0.02	1.52	0.75	0.02	1.52	0.75	0.02	1.52

- El módulo de las velocidades de las corrientes cerca del fondo varía, con alguna significación, con el caudal hasta el punto P5: a mayor caudal mayor velocidad hasta el punto P5. Desde allí hacia el mar, el módulo de la corriente se hace independiente del caudal y es dominado por las mareas.

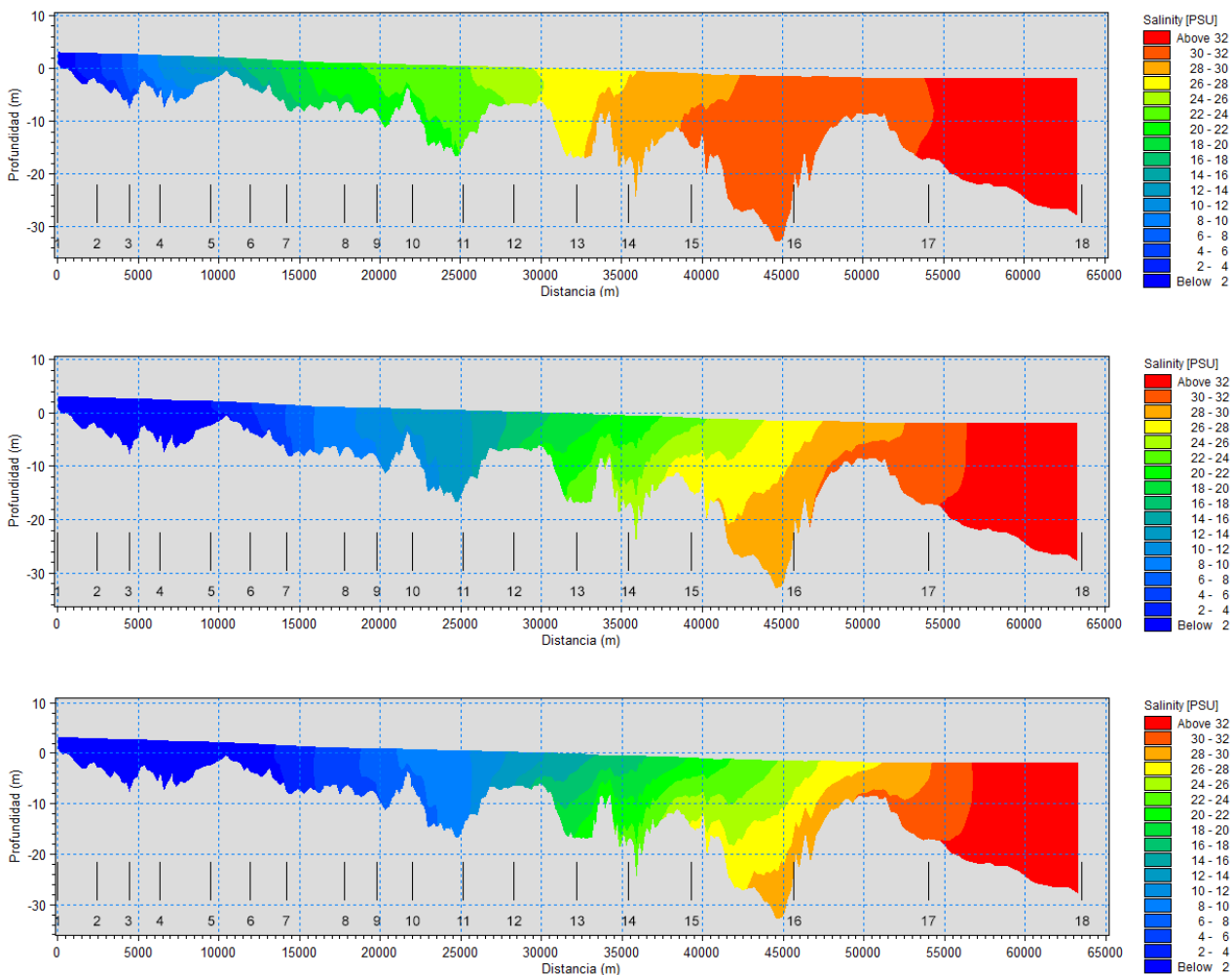
Las Figuras 6.9.1 a 6.9.3 muestran cortes, a lo largo del río y ría, con la distribución de la salinidad, para los 3 caudales considerados y 4 estados de la marea: pleamar, bajante, bajamar y creciente. La traza del corte, si bien arbitraria, es eficaz para ver los cambios de salinidad calculada por el modelo. Las marcas referencias de posición a lo largo de la traza del corte, presentes en las figuras siguientes, pueden verse en la Figura 6.6.1.

Figura 6.9.1 Cortes transversales 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.



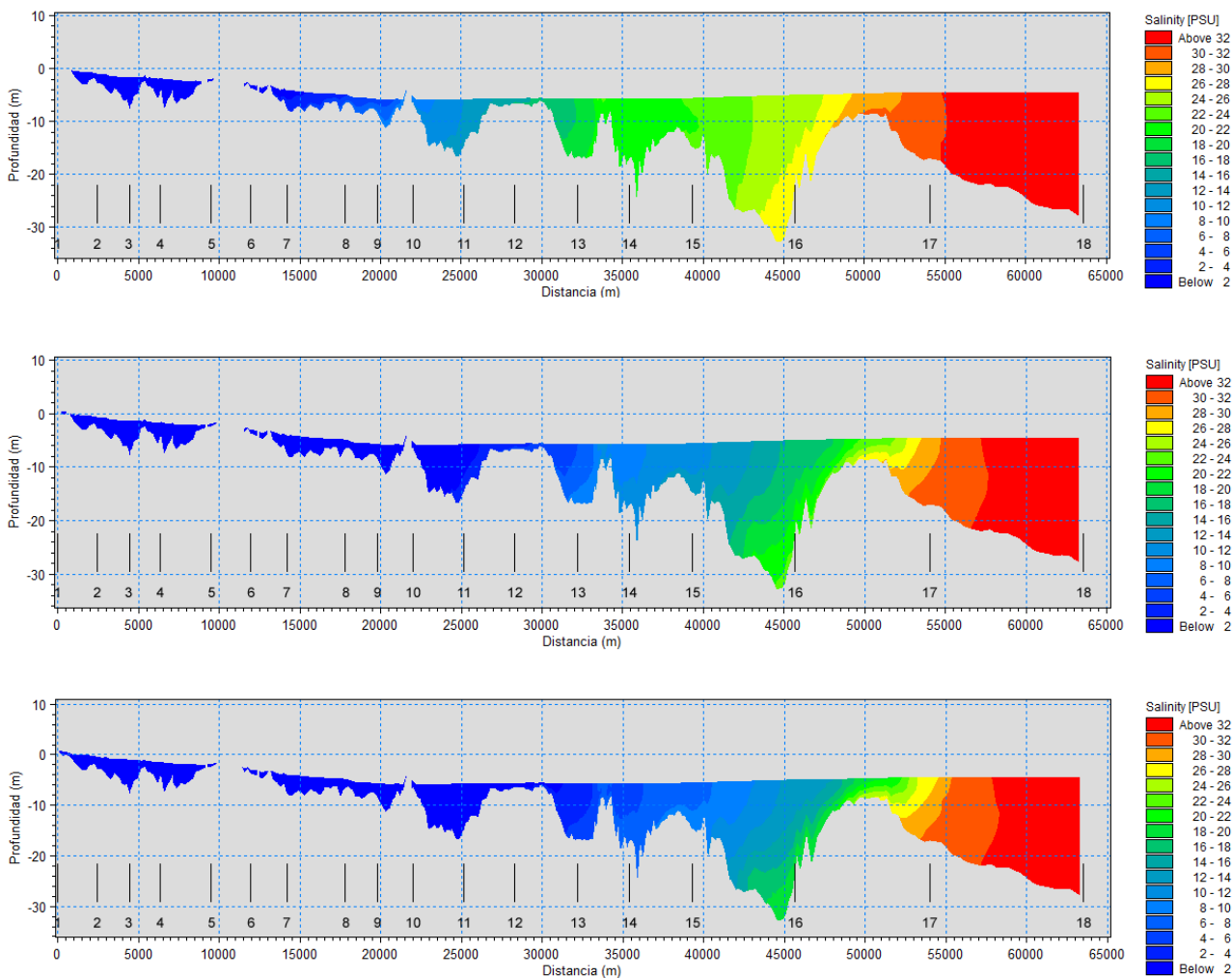
- Como es de esperarse, a mayor caudal, menor presencia salina en el río y la ría. A modo de ejemplo, valores de salinidad entre 26 y 28 UPS (amarillo en las figuras) se encuentran entre las marcas 7 y 8, y 10 para el caso del mínimo caudal y entre las marcas 11 y 12, y 13 para el máximo caudal.
- Salinidades menores a 2 UPS solamente se encuentran para los caudales medio y máximo.

Figura 6.9.2 Cortes transversales 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 bajante.



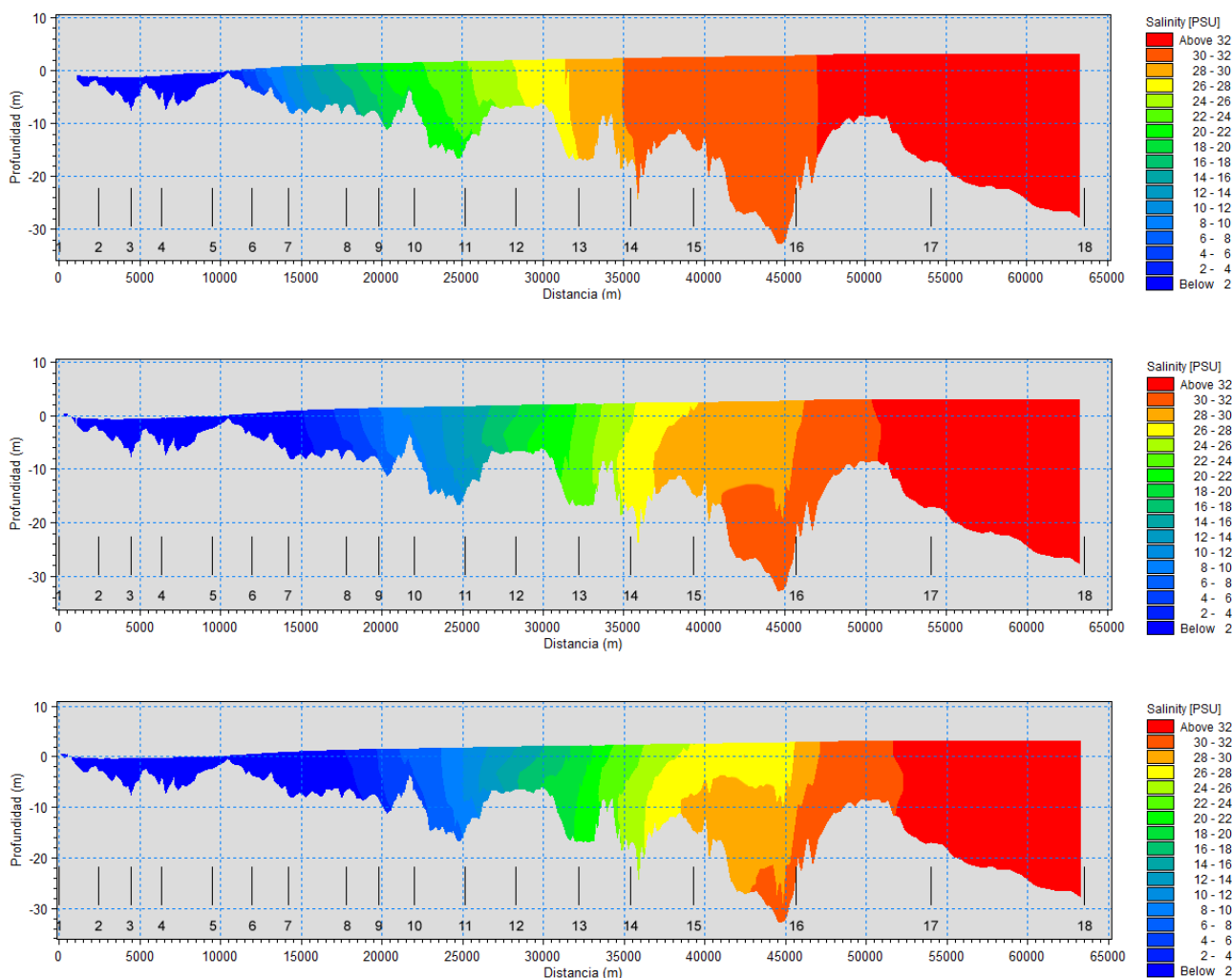
- En el caso de marea bajante, valores de salinidad entre 26 y 28 UPS (amarillo en las figuras) se encuentran entre las marcas 12 y 14 para el caso del mínimo caudal y entre las marcas 15, y 16-17 para el máximo caudal.
- Salinidades menores a 2 UPS solamente se encuentran para los todos los caudales.

Figura 6.9.3 Cortes transversales 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.



- En el caso de bajamar, valores de salinidad entre 26 y 28 UPS (amarillo en las figuras) se encuentran entre las marcas 15 y 16-17 para el caso del mínimo caudal y 17 para el máximo caudal.
- Salinidades menores a 2 UPS solamente se encuentran para los todos los caudales.

Figura 6.9.4 Cortes transversales 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 creciente.

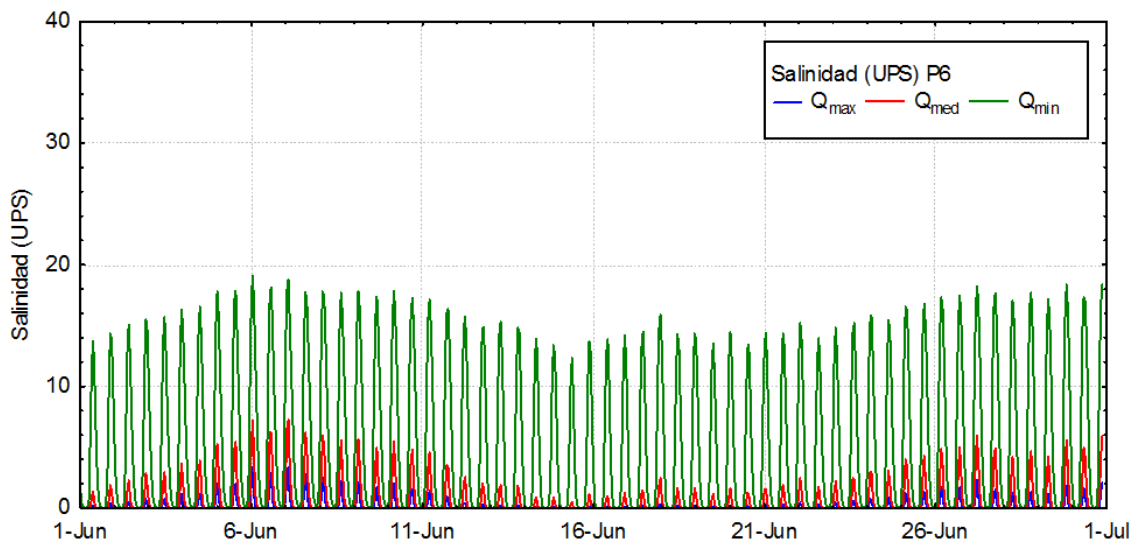


- En el caso de marea creciente, valores de salinidad entre 26 y 28 UPS (amarillo en las figuras) se encuentran entre las marcas 12 y 13 para el caso del mínimo caudal y entre las marcas 14 y 16 para el máximo caudal.
- Salinidades menores a 2 UPS solamente se encuentran para los todos los caudales.

Como consecuencia de estas simulaciones, puede verse que hay variaciones muy importantes de la salinidad en tan poco tiempo como un ciclo de marea (12.4h) durante el cual ocurren los estados de marea presentados: pleamar, bajante, bajamar y creciente. A modo de ilustración, valores entre 26 y 28 UPS, varían entre las marcas de referencia 7 y 8, y 17 durante un ciclo de marea, esto es en una distancia de unos 40 km. Lo mismo puede decirse de las zonas con valores de la salinidad menor a 2 UPS, que varían entre la marca 1 hasta la marca 13, algo más de 30 km.

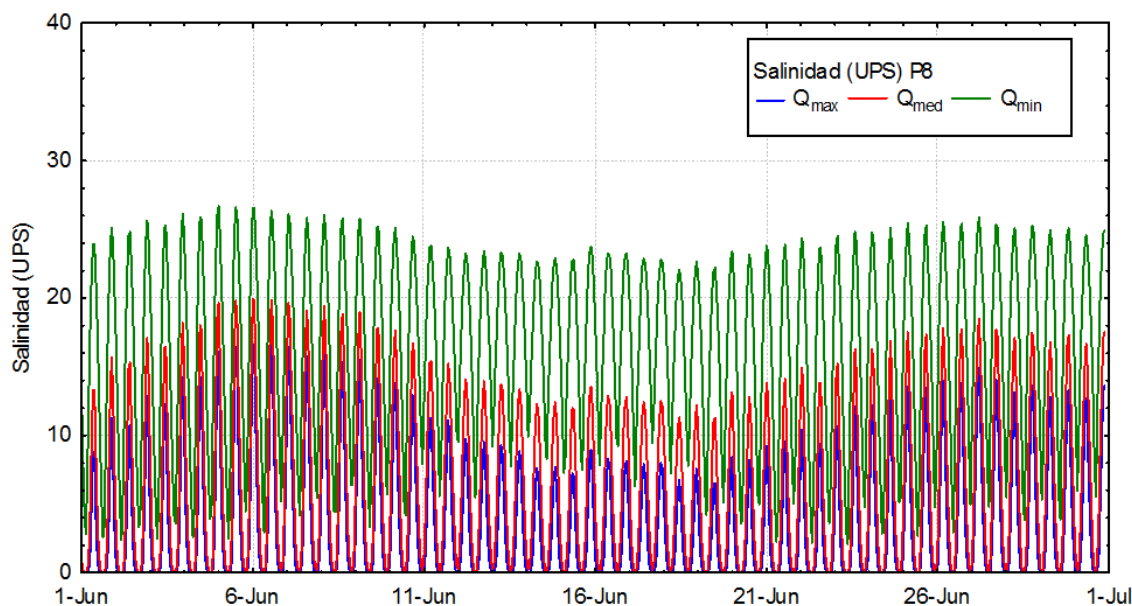
Las Figuras 6.9.5 a 6.9.7 muestran las series de tiempo (de 1 mes de duración) de la salinidad para los 3 caudales considerados y para los puntos P6, P8 y P10.

Figura 6.9.5 Series de tiempo (de 1 mes de duración) de la salinidad para los 3 caudales considerados, para el punto P6, a 1 m por sobre el fondo



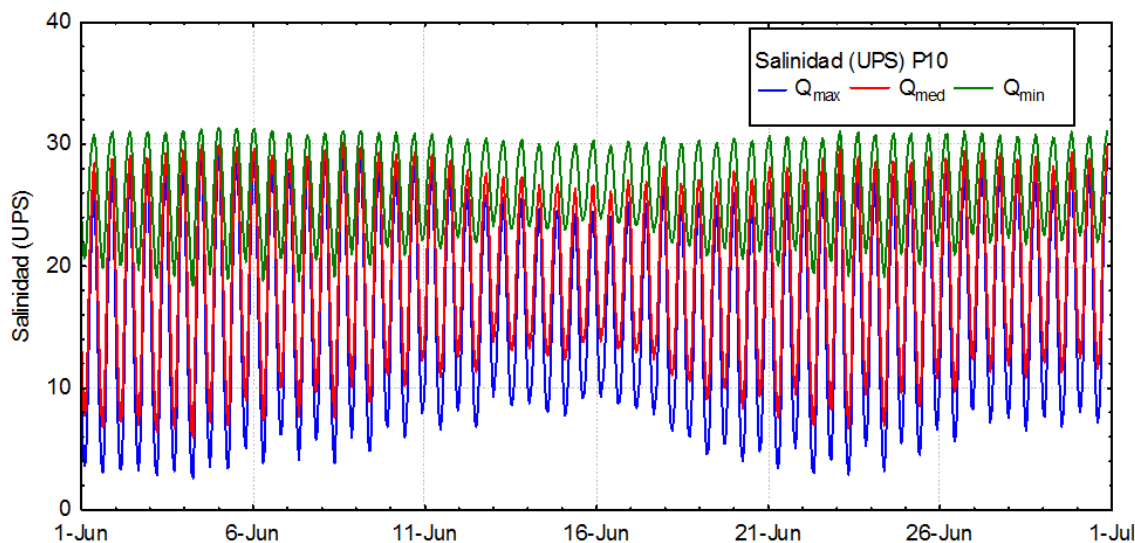
Puede verse que la salinidad en este punto varía con la marea, tomando valores nulos con la bajante y es mayor cuando el caudal del Río Santa Cruz es menor.

Figura 6.9.6 Series de tiempo (de 1 mes de duración) de la salinidad para los 3 caudales considerados, para el punto P8, a 1 m por sobre el fondo



En este caso, la salinidad varía con la marea tomando valores nulos con la bajante (para los caudales máximos y medios) y es mayor cuando el caudal del Río Santa Cruz es menor.

Figura 6.9.7 Series de tiempo (de 1 mes de duración) de la salinidad para los 3 caudales considerados, para el punto P10, a 1 m por sobre el fondo



Puede verse que la salinidad en este punto varía con la marea tomando valores mínimos (nunca nulos) con la bajante y es mayor cuando el caudal del Río Santa Cruz es menor.

En todos los casos la salinidad es mayor cuando el caudal del Río Santa Cruz es menor. Si se comparan las simulaciones que utilizan caudales medios y máximos resultan más parecidas entre sí que si se comparan los resultados de las que usan de caudales medios y mínimos. Esto se debe a que Q_{med} se obtiene multiplicando a Q_{min} por 3, mientras que para llegar a Q_{max} hay que multiplicar a Q_{med} por 1.45.

7. CONCLUSIONES

Se ha realizado una modelación de niveles del mar, corrientes, temperatura, salinidad y turbidez en el Estuario del Río Santa Cruz para establecer la calibración del modelo MIKE 3 en base a mediciones. Los módulos utilizados del MIKE 3 son tres: hidrodinámico, difusión – dispersión y transporte de sedimentos.

Se han utilizado diferentes fuentes de información para la calibración de los modelos: bases de datos globales (temperatura y salinidad del mar), resultados de las mediciones de corrientes, temperatura, conductividad (salinidad) y turbidez. Adicionalmente, se realizaron perfiles batimétricos complementarios de las cartas náuticas disponibles.

Este informe de avance incluye las siguientes tareas finalizadas (100% completadas): procesamiento de los datos; preparación de los modelos, batimetría, condiciones iniciales y de contorno; calibración del modelo hidrodinámico, incluyendo los campos de salinidad y temperatura. La calibración del modelo de transporte de sedimentos (turbidez) tiene un desarrollo del 75%. La modelación de los escenarios asociados a la construcción y operación de las represas no ha tenido desarrollo (0%).

- La calibración de los modelos MIKE 3 (HD) y MIKE 3 (AD) ha sido muy satisfactoria, favorecida por la regularidad y gran amplitud de las mareas, que se constituyen en la fuerza dominante del movimiento de las masas de agua en el estuario. El modelo corre sobre una grilla basada en la batimetría asociada al dominio de modelación y cuenta con 20874 elementos de variada forma y tamaño para hacer eficiente el cálculo.
- La renovación de agua del estuario puede analizarse considerando la cantidad de agua de mar que ingresa al estuario en cada ciclo de marea. Considerando que el volumen de agua del estuario (al NMM) es 1.12 km³ (1120 millones de metros cúbicos) y que el volumen de agua que ingresa al estuario entre la BM y la PM es 1.13 km³ para amplitudes medias de marea (1.69 y 0.85 km³ para amplitudes máximas asociadas a sicigias y mínimas asociadas a cuadraturas, respectivamente), es claro que en el término de un ciclo de marea (12.4 horas) se renueva (el agua entra y sale) un volumen de agua equivalente al del estuario. Este flujo de agua que entra y sale, permite que las aguas del estuario cambien constantemente sus propiedades, tales como la salinidad y la temperatura. El mecanismo de renovación de agua del estuario, por la acción de las mareas, es altamente eficiente.
- La importancia de la marea puede verse desde sus corrientes de marea asociadas. Son frecuentes corrientes con velocidades en superficie que superan 1.5 m/s.
- Las mediciones utilizadas para la calibración del modelo indican que para la época de medición las temperaturas de los Ríos Santa Cruz y Chico es superior a la observada en el mar, en unos 2°C.
- Al momento de las mediciones, aguas con salinidad de algún significado se encuentran partir de la convergencia de los dos ríos hacia el mar. Los perfiles de salinidad en el estuario muestran valores mayores cerca del fondo.
- En el estuario ocurre la mezcla de aguas producida por descarga del río Santa Cruz principalmente y aquellas de origen marino. Esta mezcla que convoca aguas dulces y salinas con diferente temperatura de origen, son afectadas por la variación diaria de temperatura impuesta por el intercambio de calor entre el agua y la atmósfera.
- En general, la temperatura del agua de mar, relativamente más fría que la de los ríos para la época de medición, ingresa al estuario generando un gradiente horizontal de temperatura que varía su posición en función de la condición de marea. En creciente se observa agua

relativamente más fría en el interior del estuario que en bajante. También debe considerarse que la temperatura del agua se ve modificada por la temperatura ambiente y en consecuencia el efecto de la marea (que considera a la temperatura como si fuera conservativa) se ve alterado. Las temperaturas aumentan a medida que las capas son más superficiales, encontrándose los máximos de temperatura en superficie.

- Las mediciones utilizadas en la calibración del modelo indican salinidades nulas en los Ríos Santa Cruz y Chico y superiores a 32 UPS en el mar.
- Durante la calibración, se hizo una comparación de 13 perfiles de corrientes medidos (considerados como instantáneos) y aquellos generados por el modelo. La correlación entre valores medidos y calculados se considera muy buena y coherente con las correlaciones entre series de tiempo.
- Los campos de salinidad variables en el tiempo han sido reproducidos por el modelo para diferentes condiciones de marea y viento. El agua de mar ingresa al estuario dominada por las velocidades de marea, generando un importante gradiente horizontal de salinidad que varía espacialmente en función de la condición de marea.
- En creciente (para el día 19/12/2016 con 9 m de amplitud de marea) la salinidad en el interior del estuario fue mayor que en bajante y salinidades del orden de 10 UPS pudieron encontrarse a unos 10 km dentro del Río Santa Cruz.
- En bajante (para el día 19/12/2016 con 9 m de amplitud de marea), el Río Santa Cruz muestra salinidad nula en toda la extensión simulada (desde Isla Pavón hasta su desembocadura en el estuario).
- Los campos de salinidad en todas las capas del modelo muestran una variación importante con salinidades nulas provenientes de los Ríos Santa Cruz y Chico hasta salinidades superiores a 32 UPS mar adentro. La salinidad en el estuario aumenta a medida que las capas son más profundas, encontrándose los máximos cercanos al fondo.
- La pluma de agua de relativamente baja salinidad, que se genera en la desembocadura del estuario hacia el mar, es de menor tamaño en el fondo que en la superficie. Respecto a la variación vertical de la salinidad puede verse que en la mayoría de los casos ésta aumenta con la profundidad (cuña salina) pero esta condición no se sostiene en el tiempo y cambia con cada ciclo de marea.
- Las series de tiempo del nivel del mar, temperatura, salinidad y componentes este-oeste y norte-sur de las velocidades calculadas por el modelo para un punto interior del estuario, muestran estar dominadas por las mareas para todas esas variables. Esto es, mayor amplitud en los ciclos de las variables coincide con la mayor amplitud en la marea.
- Con el objeto de establecer los valores de salinidad en puntos de referencia con un caudal mayor al establecido para la calibración (570 m³/s), se seleccionó un caudal de 700 m³/s y se hizo una corrida del MIKE 3, manteniendo las condiciones de las corridas con el anterior caudal. La máxima diferencia en la salinidad media, entre los dos casos, fue calculada para el punto P8 y alcanzó 1.7 UPS, mayor para el caso de menor caudal.

Atendiendo a aspectos de interés ambiental, se hicieron simulaciones para 3 caudales del Río Santa Cruz, todos representativos del mes de junio: mínimo, 232 m³/s; medio, 691 m³/s y máximo 1002 m³/s.

-
- Cerca del extremo oeste del dominio de modelación, en Piedrabuena, el nivel medio del río aumenta a medida que aumenta el caudal del mismo. La diferencia entre niveles del río alcanza 1.1 m entre las simulaciones con caudal mínimo y máximo.
 - Prácticamente, a partir del punto P8 el nivel de las aguas es controlado por las mareas sin influencia del caudal que se trate.
 - Bajo las condiciones de modelación, no se observa salinidad en los puntos P1 a P3 y en el punto P4 el modelo ha calculado 0.7 UPS de salinidad para el caudal mínimo, para el mes de junio.
 - Dentro de la ría, se observan cambios importantes de la salinidad para los distintos caudales del río. 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 temperatura cerca del punto P1 depende de la condición de contorno impuesta al modelo: 4°C, constante para el mes de junio. La temperatura en el mar se ha considerado constante e igual a 7.5°C, mientras que la temperatura ambiente se la ha considerado igual a 1.7°C. A partir del punto P1 la temperatura baja debido a la transferencia de frío desde el aire, que se encuentra unos 2.3°C por debajo de la temperatura del río, luego desde el punto P8 se ve la influencia de la temperatura más cálida del mar, repitiéndose este fenómeno para todos los caudales.
 - Las variaciones de temperaturas máximas observadas para las simulaciones con máximo y mínimo caudal son de 1°C.
 - El módulo de las velocidades de las corrientes cerca del fondo varía, con alguna significación, con el caudal del río hasta el punto P5: a mayor caudal mayor velocidad hasta el punto P5. Desde allí hacia el mar, el módulo de la corriente se hace independiente del caudal y es dominado por las mareas.
 - Las variaciones de salinidad son muy importantes en poco tiempo, como un ciclo de marea (12.4h) durante el cual ocurren los estados de marea pleamar, bajante, bajamar y creciente. Masas de agua con valores de salinidad entre 26 y 28 UPS, se desplazan unos 40 km en un solo ciclo de marea. Lo mismo puede decirse de las masas de agua con valores de la salinidad menor a 2 UPS, que se desplazan unos 30 km en ese mismo tiempo.

8. PROFESIONALES INTERVINIENTES

SERGIO SCHMIDT. Director del Proyecto en Gabinete. Presidente y socio fundador de Ezcurra & Schmidt S.A.,

Es Oceanógrafo del Instituto Tecnológico Buenos Aires (ITBA) de Argentina y Doctor of Philosophy, Coastal and Oceanographic Engineering, University of Florida, USA.

Es especialista en ingeniería de costas y oceanografía costera. Es experto en modelación numérica de fenómenos físico-ingenieriles, tales como erosión de costas y su control, hidrodinámica costera, canales dragados, dispersión de contaminantes, derrames de petróleo, clima de olas, impacto de acciones costeras, entre otros.

Ha liderado y trabajado en proyectos relacionados a dragados, instalaciones portuarias, mejoramiento de canales y cursos de agua, puertos deportivos, estabilidad de playas, evaluaciones ambientales asociados a manejos de costas, desarrollo de obras y estructuras costeras, dragados, puertos, e industria del petróleo offshore, entre otros.

Es profesor de grado y posgrado de la Universidad de Buenos Aires y tiene a su cargo el área de Oceanografía Costera que incluye los cursos de Olas, Introducción a la Ingeniería de Costas, Olas No Lineales, Oceanografía Aplicada y Aplicaciones Ambientales de la Oceanografía.

Es profesor de la Universidad del Salvador, en la Carrera de Ciencias Ambientales.

Es socio fundador de Ezcurra & Schmidt S.A., una firma consultora con experiencia en más de 200 proyectos oceánicos, costeros y ambientales

GABRIEL DANIELI. Modelación Matemática

Gabriel Danieli es oceanógrafo de la Universidad de Buenos Aires y parte del staff de Ezcurra & Schmidt S.A. desde el año 2003. Allí se especializó en modelación matemática de sistemas naturales trabajando en proyectos asociados a la oceanografía, ingeniería y el medioambiente.

ESSA le ha permitido participar en más de 60 proyectos de diversas temáticas ampliando sus conocimientos y capacidades, diversificándose y usando la oceanografía para resolver problemas de la ingeniería y el medioambiente. En ambos casos principalmente en el mar, pero también en proyectos de calidad de aire y aguas subterráneas, siempre desde la aplicación de modelos numéricos. Entre los modelos y software específicos que ha utilizado y utiliza actualmente se encuentran: DHI MIKE 3 (HD), DHI MIKE 21 (HD), DHI MIKE 3/21 (PA), DHI MIKE 3/21 (SA), CMS Flow, CMS Wave, Delft SWAN, Delft CRESS, MixZon CORMIX, Waterloo Hydrogeologic Visual Modflow, Matlab Acoustic Toolbox, Bellhop Model, ISCST3, Air Quality Model, SCREEN, Air Quality Model. También ha participado de campañas en zonas que van desde las playas hasta unos 100 m de profundidad, realizando diferentes tipos de muestreos.

MARCELO GRAMAGLIA. Técnico en electrónica. Operador de equipos en el mar. Asistente de Modelación.

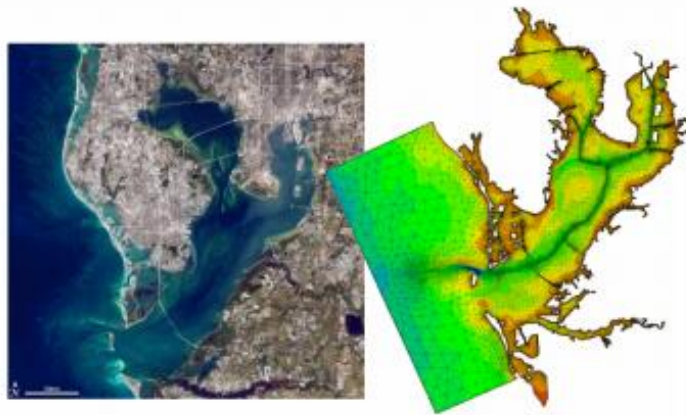
Es parte del staff de Ezcurra & Schmidt S.A. Experto en tareas de campo y navegación. Amplia experiencia en el planeamiento y ejecución de operaciones de campo tanto en el mar como en las costas, desde 1994. Ha participado en proyectos de investigación oceanográfica aplicada, hidrografía, levantamientos y operaciones de muestreos de diversos tipos en ambientes costeros, fluviales y oceánicos, y construcción naval liviana. Experiencia en el uso, fondeo y recuperación de instrumentos de auto registro de todo, incluyendo acústicos Doppler. Es operador de GIS, Autocad y de modelos matemáticos.

9. REFERENCIAS

Ezcurra & Schmidt S.A., 2017a. MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. Estudio de Campo de Apoyo a la Modelación. Estuario del Río Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz. REPRESAS PATAGONIA China Gezhouba Group Company Limited / Electroingeniería SA / Hidrocuyo SA / UTE.

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. ADENDA – SEGUNDA CAMPAÑA LIMNOLÓGICA. REPRESAS PATAGONIA, China Gezhouba Group Company Limited | Electroingeniería SA | Hidrocuyo SA | UTE

10. ANEXO A. MIKE 3 HD (HYDRODYNAMICS)



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

Hydrodynamic Module

Short Description

The expert in WATER ENVIRONMENTS



DHI headquarters
Agem Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

+45 4518 9200 Telephone
+45 4518 9333 Support
+45 4518 9292 Telefax

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

\\M0210_HQ_P01_Short_Description_files\AUS00000000\2015-11-08

© DHI

The Modules of the Flexible Mesh Series



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

The Flow Model FM is a comprehensive modelling system for two- and three-dimensional water modelling developed by DHI. The 2D and 3D models carry the same names as the classic DHI model versions MIKE 21 & MIKE 3 with an 'FM' added referring to the type of model grid - Flexible Mesh.

The modelling system has been developed for complex applications within oceanographic, coastal and estuarine environments. However, being a general modelling system for 2D and 3D free-surface flows it may also be applied for studies of inland surface waters, e.g. overland flooding and lakes or reservoirs.



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM is a general hydrodynamic flow modelling system based on a finite volume method on an unstructured mesh

The Modules of the Flexible Mesh Series

DHI's Flexible Mesh (FM) series includes the following modules:

Flow Model FM modules

- Hydrodynamic Module, HD
- Transport Module, TR
- Ecology Module, ECO Lab
- Oil Spill Module, ELOS
- Sand Transport Module, ST
- Mud Transport Module, MT
- Particle Tracking Module, PT

Wave module

- Spectral Wave Module, SW

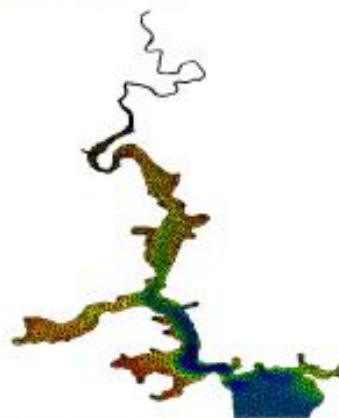
The FM Series meets the increasing demand for realistic representations of nature, both with regard to 'look alike' and to its capability to model coupled processes, e.g. coupling between currents, waves and sediments. Coupling of modules is managed in the Coupled Model FM.

All modules are supported by advanced user interfaces including efficient and sophisticated tools for mesh generation, data management, 2D/3D visualization, etc. In combination with comprehensive documentation and support, the FM series forms a unique professional software tool for consultancy services related to design, operation and maintenance tasks within the marine environment.

An unstructured grid provides an optimal degree of flexibility in the representation of complex geometries and enables smooth representations of boundaries. Small elements may be used in areas where more detail is desired, and larger elements used where less detail is needed, optimising information for a given amount of computational time.

The spatial discretisation of the governing equations is performed using a cell-centred finite volume method. In the horizontal plane an unstructured grid is used while a structured mesh is used in the vertical domain (3D).

This document provides a short description of the Hydrodynamic Module included in MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM.



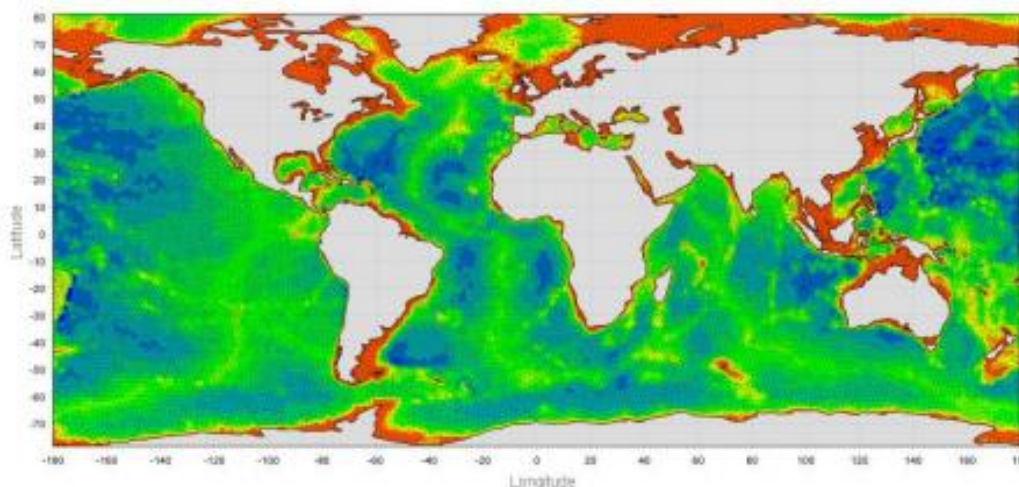
Example of computational mesh for Tamar Estuary, UK

The expert in WATER ENVIRONMENTS

1



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM



MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM supports both Cartesian and spherical coordinates. Spherical coordinates are usually applied for regional and global sea circulation applications. The chart shows the computational mesh and bathymetry for the planet Earth generated by the MIKE Zero Mesh Generator

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic Module

The Hydrodynamic Module provides the basis for computations performed in many other modules, but can also be used alone. It simulates the water level variations and flows in response to a variety of forcing functions on flood plains, in lakes, estuaries and coastal areas.

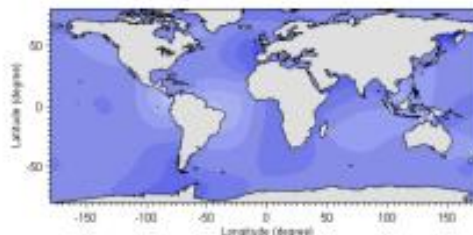
Application Areas

The Hydrodynamic Module included in MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM simulates unsteady flow taking into account density variations, bathymetry and external forcings.

The choice between 2D and 3D model depends on a number of factors. For example, in shallow waters, wind and tidal current are often sufficient to keep the water column well-mixed, i.e. homogeneous in salinity and temperature. In such cases a 2D model can be used. In water bodies with stratification, either by density or by species (ecology), a 3D model should be used. This is also the case for enclosed or semi-enclosed waters where wind-driven circulation occurs.

Typical application areas are

- Assessment of hydrographic conditions for design, construction and operation of structures and plants in stratified and non-stratified waters
- Environmental impact assessment studies
- Coastal and oceanographic circulation studies
- Optimization of port and coastal protection infrastructures
- Lake and reservoir hydrodynamics
- Cooling water, recirculation and desalination
- Coastal flooding and storm surge
- Inland flooding and overland flow modelling
- Forecast and warning systems

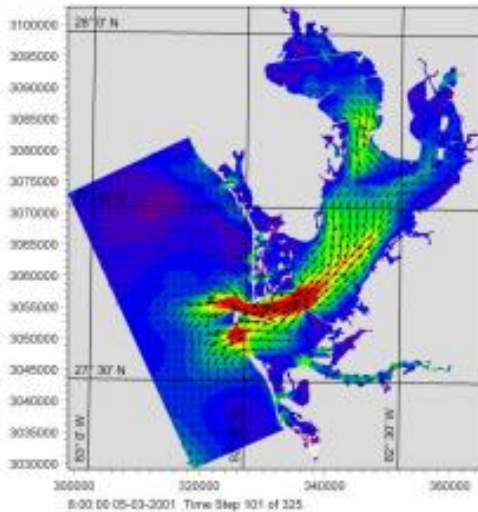


Example of a global tide application of MIKE 21 Flow Model FM. Results from such a model can be used as boundary conditions for regional scale forecast or hindcast models

Application Areas



The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM also support spherical coordinates, which makes both models particularly applicable for global and regional sea scale applications.

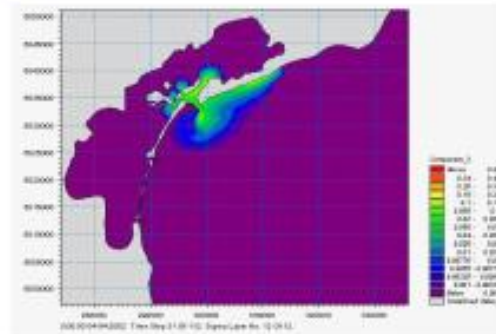


Example of a flow field in Tampa Bay, FL, simulated by MIKE 21 Flow Model FM

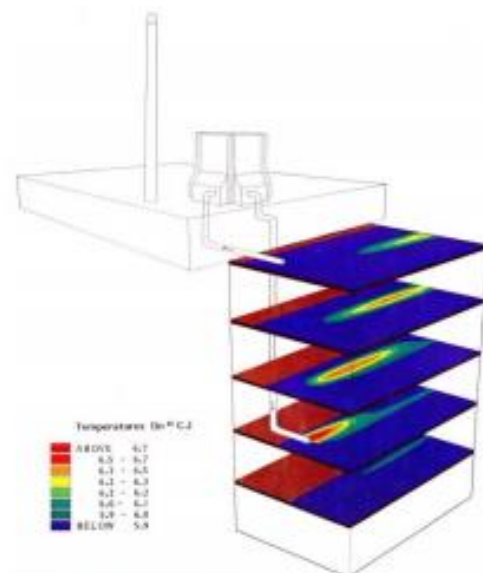


Typical applications with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM include cooling water recirculation and ecological impact assessment (eutrophication)

The Hydrodynamic Module is together with the Transport Module (TR) used to simulate the spreading and fate of dissolved and suspended substances. This module combination is applied in tracer simulations, flushing and simple water quality studies.



Tracer simulation of single component from outlet in the Adriatic, simulated by MIKE 21 Flow Model FM HD+TR



Study of thermal recirculation



Prediction of ecosystem behaviour using the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM together with ECO Lab

The expert in WATER ENVIRONMENTS

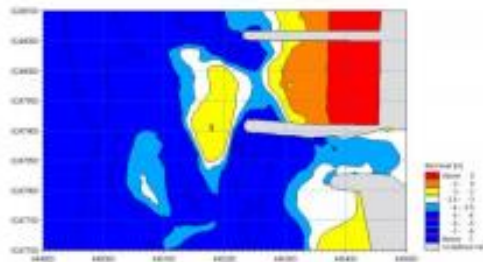


MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

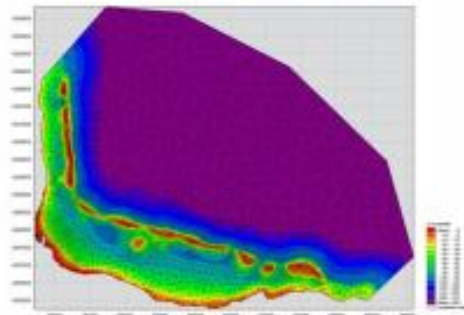
The Hydrodynamic Module can be coupled to the Ecological Module (ECO Lab) to form the basis for environmental water quality studies comprising multiple components.

Furthermore, the Hydrodynamic Module can be coupled to sediment models for the calculation of sediment transport. The Sand Transport Module and Mud Transport Module can be applied to simulate transport of non-cohesive and cohesive sediments, respectively.

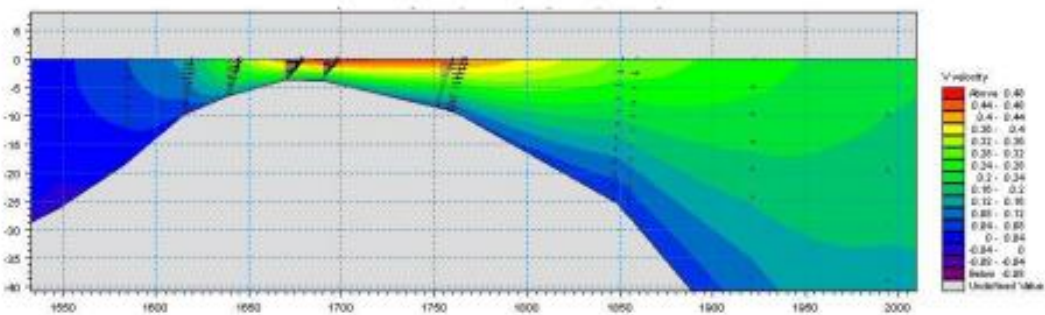
In the coastal zone the transport is mainly determined by wave conditions and associated wave-induced currents. The wave-induced currents are generated by the gradients in radiation stresses that occur in the surf zone. The Spectral Wave Module can be used to calculate the wave conditions and associated radiation stresses.



Coastal application (morphology) with coupled MIKE 21 HD, SW and ST, Torsminde harbour Denmark



Model bathymetry of Taravao Bay, Tahiti



Example of Cross reef currents in Taravao Bay, Tahiti simulated with MIKE 3 Flow Model FM. The circulation and renewal of water inside the reef is dependent on the tides, the meteorological conditions and the cross reef currents, thus the circulation model includes the effects of wave induced cross reef currents

Computational Features



Computational Features

The main features and effects included in simulations with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Hydrodynamic Module are the following:

- Flooding and drying
- Momentum dispersion
- Bottom shear stress
- Coriolis force
- Wind shear stress
- Barometric pressure gradients
- Ice coverage
- Tidal potential
- Precipitation/evaporation
- Wave radiation stresses
- Sources and sinks

Model Equations

The modelling system is based on the numerical solution of the two/three-dimensional incompressible Reynolds averaged Navier-Stokes equations subject to the assumptions of Boussinesq and of hydrostatic pressure. Thus, the model consists of continuity, momentum, temperature, salinity and density equations and it is closed by a turbulent closure scheme. The density does not depend on the pressure, but only on the temperature and the salinity.

For the 3D model, the free surface is taken into account using a sigma-coordinate transformation approach or using a combination of a sigma and z-level coordinate system.

Below the governing equations are presented using Cartesian coordinates.

The local continuity equation is written as

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

and the two horizontal momentum equations for the x- and y-component, respectively

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial v u}{\partial y} + \frac{\partial w u}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} -$$

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_x + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial u v}{\partial x} + \frac{\partial w v}{\partial z} = -f u - g \frac{\partial \eta}{\partial y} -$$

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_y + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

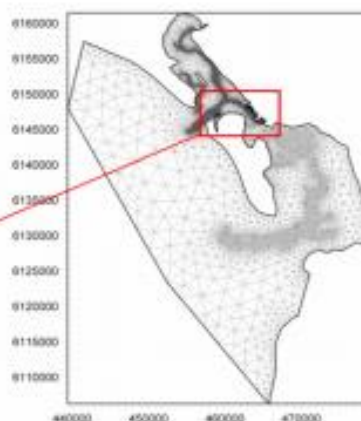
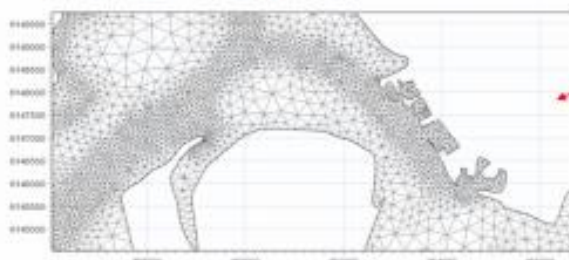
Temperature and salinity

In the Hydrodynamic Module, calculations of the transports of temperature, T, and salinity, s follow the general transport-diffusion equations as

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial u T}{\partial x} + \frac{\partial v T}{\partial y} + \frac{\partial w T}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \bar{H} + T_s S$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial u s}{\partial x} + \frac{\partial v s}{\partial y} + \frac{\partial w s}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_s \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S$$

Unstructured mesh technique gives the maximum degree of flexibility, for example: 1) Control of node distribution allows for optimal usage of nodes 2) Adoption of mesh resolution to the relevant physical scales 3) Depth-adaptive and boundary-fitted mesh. Below is shown an example from Ho Bay Denmark with the approach channel to the Port of Esbjerg



The expert in WATER ENVIRONMENTS



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

The horizontal diffusion terms are defined by

$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s)$$

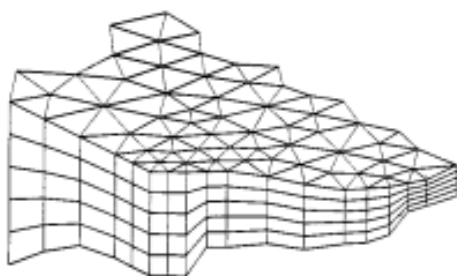
The equations for two-dimensional flow are obtained by integration of the equations over depth.

Heat exchange with the atmosphere is also included.

Symbol list	
t	time
x, y, z	Cartesian coordinates
u, v, w	flow velocity components
T, s	temperature and salinity
D_v	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
\hat{R}	source term due to heat exchange with atmosphere
S	magnitude of discharge due to point sources
T_s, s_s	temperature and salinity of source
F_T, F_s, F_c	horizontal diffusion terms
D_h	horizontal diffusion coefficient
h	depth

Solution Technique

The spatial discretisation of the primitive equations is performed using a cell-centred finite volume method. The spatial domain is discretised by subdivision of the continuum into non-overlapping elements/cells.



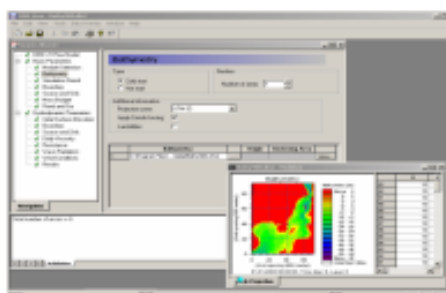
Principle of 3D mesh

In the horizontal plane an unstructured mesh is used while a structured mesh is used in the vertical domain of the 3D model. In the 2D model the elements can be triangles or quadrilateral elements. In the 3D model the elements can be prisms or bricks whose horizontal faces are triangles and quadrilateral elements, respectively.

Model Input

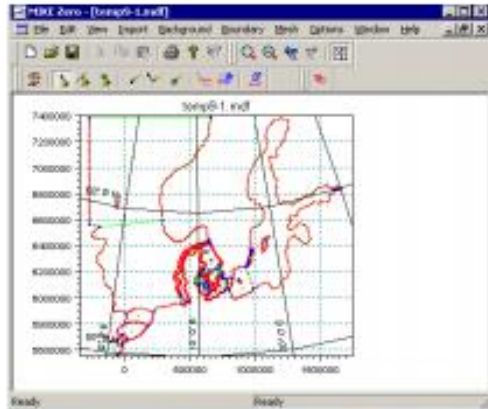
Input data can be divided into the following groups:

- Domain and time parameters:
 - computational mesh (the coordinate type is defined in the computational mesh file) and bathymetry
 - simulation length and overall time step
- Calibration factors
 - bed resistance
 - momentum dispersion coefficients
 - wind friction factors
- Initial conditions
 - water surface level
 - velocity components
- Boundary conditions
 - closed
 - water level
 - discharge
- Other driving forces
 - wind speed and direction
 - tide
 - source/sink discharge
 - wave radiation stresses



View button on all the GUIs in MIKE 21 & MIKE 3 FM HD for graphical view of input and output files

Model input



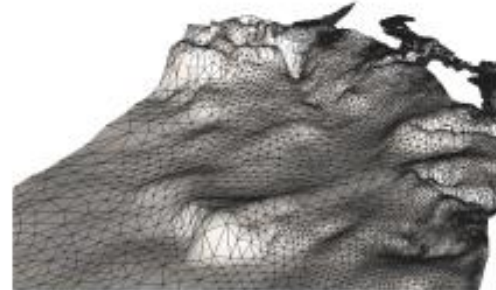
The Mesh Generator is an efficient MIKE Zero tool for the generation and handling of unstructured meshes, including the definition and editing of boundaries

Providing MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM with a suitable mesh is essential for obtaining reliable results from the models. Setting up the mesh includes the appropriate selection of the area to be modelled, adequate resolution of the bathymetry, flow, wind and wave fields under consideration and definition of codes for defining boundaries.



2D visualization of a computational mesh (Odense Estuary)

Bathymetric values for the mesh generation can e.g. be obtained from the MIKE by DHI product MIKE C-Map. MIKE C-Map is an efficient tool for extracting depth data and predicted tidal elevation from the world-wide Electronic Chart Database CM-93 Edition 3.0 from Jeppesen Norway.

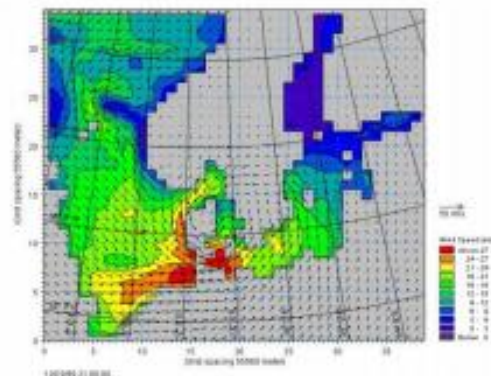


3D visualization of a computational mesh

If wind data is not available from an atmospheric meteorological model, the wind fields (e.g. cyclones) can be determined by using the wind-generating programs available in MIKE 21 Toolbox.

Global winds (pressure & wind data) can be downloaded for immediate use in your simulation. The sources of data are from GFS courtesy of NCEP, NOAA. By specifying the location, orientation and grid dimensions, the data is returned to you in the correct format as a spatial varying grid series or a time series. The link is:

<http://waterdata.dhigroup.com/octopus/home>



The chart shows a hindcast wind field in the North Sea and Baltic Sea as wind speed and wind direction



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

Model Output

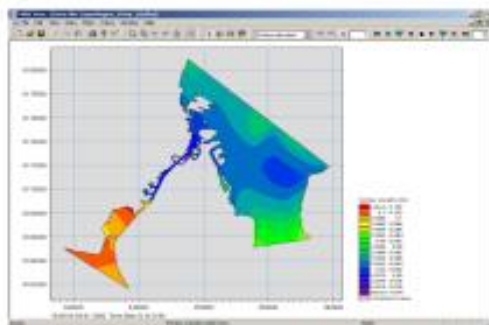
Computed output results at each mesh element and for each time step consist of:

- **Basic variables**
 - water depth and surface elevation
 - flux densities in main directions
 - velocities in main directions
 - densities, temperatures and salinities

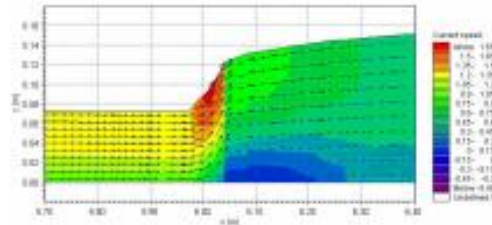
- **Additional variables**
 - Current speed and direction
 - Wind velocities
 - Air pressure
 - Drag coefficient
 - Precipitation/evaporation
 - Courant/CFL number
 - Eddy viscosity
 - Element area/volume

The output results can be saved in defined points, lines and areas. In the case of 3D calculations the results are saved in a selection of layers.

Output from MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM is typically post-processed using the Data Viewer available in the common MIKE Zero shell. The Data Viewer is a tool for analysis and visualization of unstructured data, e.g. to view meshes, spectra, bathymetries, results files of different format with graphical extraction of time series and line series from plan view and import of graphical overlays.



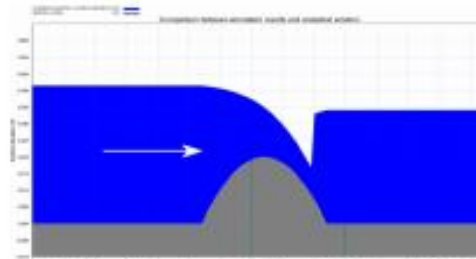
The Data Viewer in MIKE Zero – an efficient tool for analysis and visualization of unstructured data including processing of animations. Above screen dump shows surface elevations from a model setup covering Port of Copenhagen



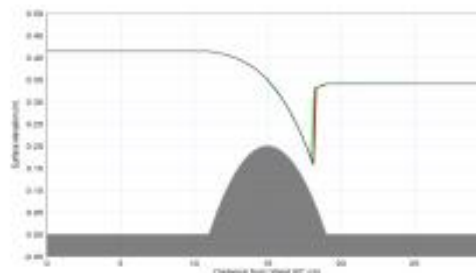
Vector and contour plot of current speed at a vertical profile defined along a line in Data Viewer in MIKE Zero

Validation

Prior to the first release of MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM the model has successfully been applied to a number of rather basic idealized situations for which the results can be compared with analytical solutions or information from the literature.



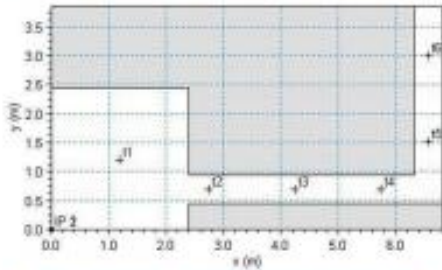
The domain is a channel with a parabola-shaped bump in the middle. The upstream (western) boundary is a constant flux and the downstream (eastern) boundary is a constant elevation. Below: the total depths for the stationary hydraulic jump at convergence. Red line: 2D setup, green line: 3D setup, black line: analytical solution



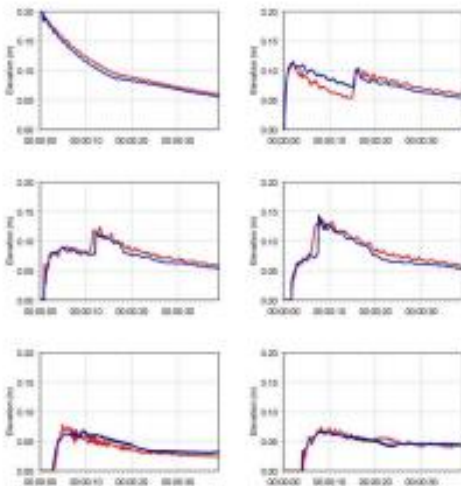
Validation



A dam-break flow in an L-shaped channel (a, b, c):

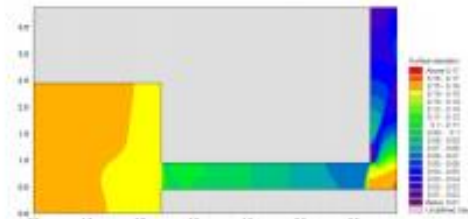
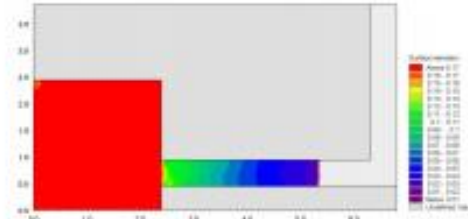


a) Outline of model setup showing the location of gauging points



b) Comparison between simulated and measured water levels at the six gauge locations. (Blue) coarse mesh (black) fine mesh and (red) measurements

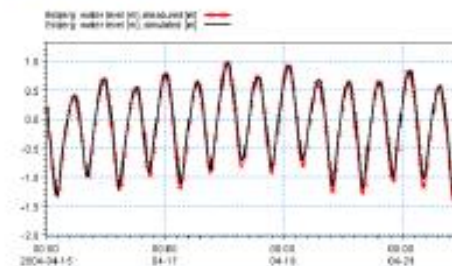
The model has also been applied and tested in numerous natural geophysical conditions; ocean scale, inner shelves, estuaries, lakes and overland, which are more realistic and complicated than academic and laboratory tests.



c) Contour plots of the surface elevation at T = 1.8 s (top) and T = 4.8 s (bottom)



Example from Ho Bay, a tidal estuary (barrier island coast) in South-West Denmark with access channel to the Port of Esbjerg. Below: Comparison between measured and simulated water levels



The expert in WATER ENVIRONMENTS

9



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

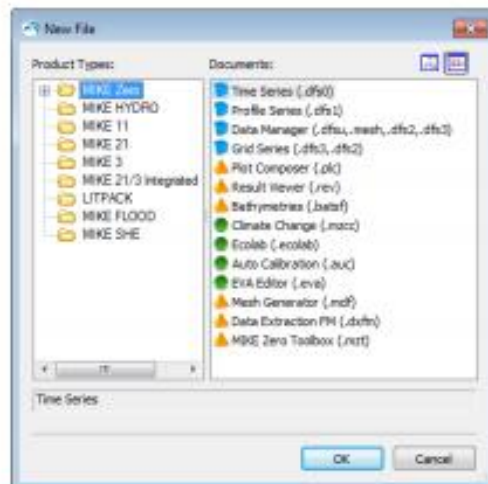


The user interface of the MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM (Hydrodynamic Module), including an example of the extensive Online Help system

Graphical User Interface

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic Module is operated through a fully Windows integrated graphical user interface (GUI). Support is provided at each stage by an Online Help system.

The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and utilities such as the Mesh Generator and Data Viewer.



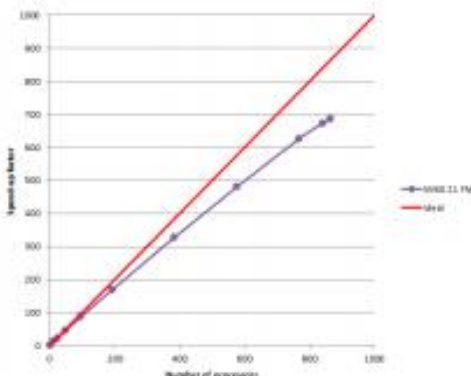
Overview of the common MIKE Zero utilities

Parallelisation



Parallelisation

The computational engines of the MIKE 21/3 FM series are available in versions that have been parallelised using both shared memory (OpenMP) as well as distributed memory architecture (MPI). The result is much faster simulations on systems with many cores.



MIKE 21 FM speed-up using a HPC Cluster with distributed memory architecture (purple)

Hardware and Operating System Requirements

The MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic Module supports Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (32 and 64 bit), Windows 8.1 Pro (64 bit), Windows 10 Pro (64 bit) and Windows Server 2012 R2 Standard (64 bit). Microsoft Internet Explorer 9.0 (or higher) is required for network license management as well as for accessing the Online Help.

The recommended minimum hardware requirements for executing the MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic Module are:

Processor:	3 GHz PC (or higher)
Memory (RAM):	4 GB (or higher)
Hard disk:	160 GB (or higher)
Monitor:	SVGA, resolution 1024x768
Graphic card:	64 MB RAM (256 MB RAM or higher is recommended)

Support

News about new features, applications, papers, updates, patches, etc. are available here:

www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx

For further information on MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM software, please contact your local DHI office or the support centre:

MIKE Powered by DHI Client Care
 Agern Allé 5
 DK-2970 Hørsholm
 Denmark

Tel: +45 4516 9333
 Fax: +45 4516 9292

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

Documentation

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM models are provided with comprehensive user guides, online help, scientific documentation, application examples and step-by-step training examples.





MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

References

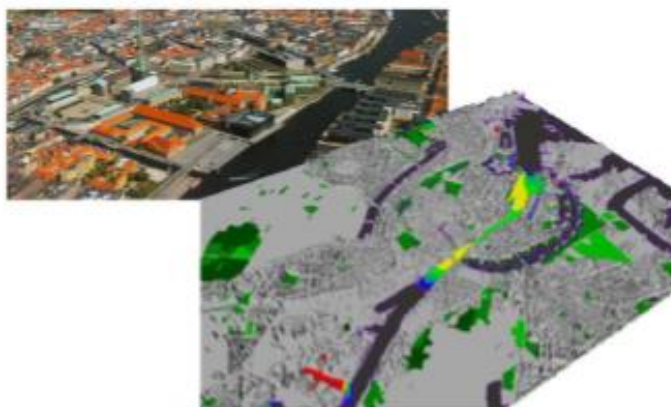
Petersen, N.H., Rasch, P. "Modelling of the Asian Tsunami off the Coast of Northern Sumatra", presented at the 3rd Asia-Pacific DHI Software Conference in Kuala Lumpur, Malaysia, 21-22 February, 2005

French, B. and Kerper, D. Salinity Control as a Mitigation Strategy for Habitat Improvement of Impacted Estuaries. 7th Annual EPA Wetlands Workshop, NJ, USA 2004.

DHI Note, "Flood Plain Modelling using unstructured Finite Volume Technique" January 2004 – download from

<http://www.theacademybydhi.com/research-and-publications/scientific-publications>

11. ANEXO B. MIKE AD TRANSPORT



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

Transport Module

Short Description

The expert in WATER ENVIRONMENTS



DHI headquarters
Agem Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark
+45 4516 9200 Telephone
+45 4516 9333 Support
+45 4516 9292 Telefax
mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

MIX2013_TPL_TPL_Sheet_Description.docx / A18 / 2015-11-20

© DHI

Application Areas



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Transport Module

The Transport Module simulates the spreading and fate of dissolved or suspended substances in an aquatic environment under the influence of the fluid transport and associated dispersion processes. The substance may be of any kind, conservative or non-conservative, inorganic or organic. Non-conservative substances are distinguished by the manner in which they decay. Examples of linearly decaying substances are tracers that are absorbed to particulate matter.

The hydrodynamic basis for the Transport Module is calculated with the Hydrodynamic Module (HD). The hydrodynamic modules can be applied for both barotropic (constant density) or baroclinic flows. In the latter case, the effect of variable density on the flow is included by solving the transport equations for salt and temperature. The viscosities or diffusivities in the hydrodynamic module are described either as simple constant or calculated using state-of-the-art turbulence models.

Application Areas

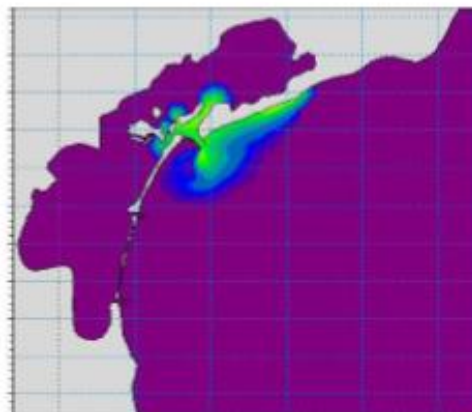
The Transport Module can be applied to a wide range of hydraulic and related phenomena. The application areas are generally problems where flow and transport phenomena are important with emphasis on coastal and marine applications, where the flexibility inherited in the unstructured meshes can be utilised.

Typical substances, which are modelled using the Transport Module are:

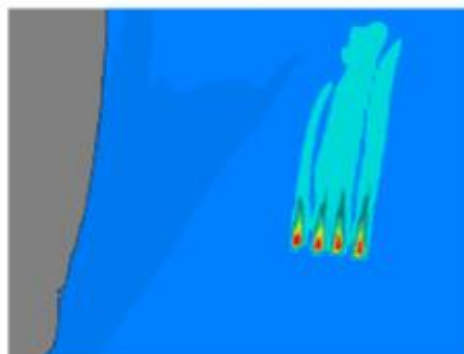
- Tracers
- Coliform bacteria
- Xenobiotic compounds

Typical applications include flushing studies, tracer simulations and simple water quality studies. In relation to point pollution sources the Transport Module can be used for conservative approximations of transport and dispersion of e-coli bacteria provided sufficient choice of decay coefficient.

The Ecology and Water Quality Module (ECO Lab) is closely integrated with the Transport Module and the Hydrodynamic Module. ECO Lab simulates reaction processes in multi-compound systems or of substances with a more complex decay than linear, i.e. decay of substances that also depend on light intensity like e-coli. This enables complex ecosystem studies in coastal areas, estuaries and lakes.



Typical applications with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Transport Module include tracer studies as shown above in the Venice lagoon



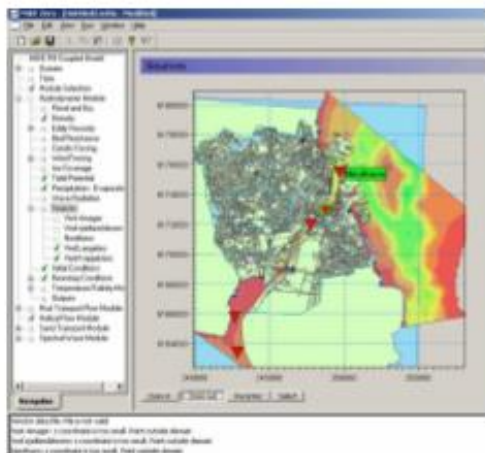
Example of plumes from outfall with colours indicating different concentrations

The expert in WATER ENVIRONMENTS

1



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM



Example of user interface where sources from CSO's are specified to be used in model simulations to compare different abatement schemes, or online as input to forecasts of water quality

Computational Features

The main features of MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Transport Module are as follows:

- Conservative substances
- Linear decay
- Sources and sinks (mass and momentum)

Model Equations

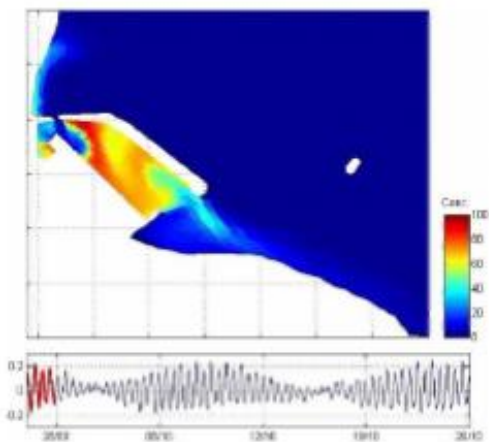
MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Transport Module is dynamically linked to the Hydrodynamic Module.

The modelling system is based on the numerical solution of the two/three-dimensional incompressible Reynolds averaged Navier-Stokes equations subject to the assumptions of Boussinesq and of hydrostatic pressure. Thus the model consists of continuity, momentum, temperature, salinity and density equations and it is closed by a turbulent closure scheme. The density does not depend on the pressure, but only on the temperature and the salinity.

For the 3D model, the free surface is taken into account using a sigma-coordinate transformation approach.



Example of bathing water quality forecasts from a municipality north of Copenhagen. The forecasts are made available on a dedicated bathing water quality webpage



Flushing study example from a harbour on Tahiti. Top: An initial concentration field is placed in the harbour and the dilution due to advection-dispersion processes are then simulated with the HD-TR modules. Bottom: Time series of tidal elevations

Solution Technique



Scalar quantity

The Transport Module can calculate the transport of a scalar quantity. The conservation equation for a scalar quantity is given by

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial wC}{\partial z} = F_c + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial C}{\partial z} \right) - k_p C + C_s S$$

The horizontal diffusion term is defined by

$$F_c = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] C$$

For 2D calculations, the conservation equation is integrated over depth and defined by

$$\frac{\partial h\bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{C}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{C}}{\partial y} = hF_c - hk_p\bar{C} + hC_s S$$

Symbol list

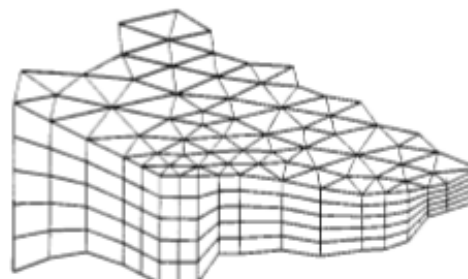
<i>t</i>	time
<i>x, y, z</i>	Cartesian coordinates
<i>D_v</i>	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
<i>S</i>	magnitude of discharge due to point sources
<i>F_c</i>	horizontal diffusion term
<i>D_h</i>	horizontal diffusion coefficient
<i>h</i>	depth
\bar{u}, \bar{v}	depth-averaged velocity components
<i>C</i>	concentration of scalar quantity
<i>k_p</i>	linear decay rate of scalar quantity
<i>C_s</i>	concentration of scalar quantity in source

Solution Technique

The solution of the transport equations is closely linked to the solution of the hydrodynamic conditions.

The spatial discretization of the primitive equations is performed using a cell-centred finite volume method. The spatial domain is discretized by subdivision of the continuum into non-overlapping elements/cells. In the horizontal plane an unstructured mesh is used while in the vertical domain in the 3D model a structured mesh is used. In the 2D model the elements can be triangles or quadrilateral elements. In the 3D model the elements can be prisms or bricks whose horizontal faces are triangles and quadrilateral elements, respectively.

The time integration is performed using an explicit scheme.



Principle of 3D mesh

Model Input Data

The necessary input data to the transport model is, besides the input for the hydrodynamic model alone, information about the components to simulate:

- Component type
- Dispersion coefficients
- Decay information
- Initial conditions
- Boundary conditions



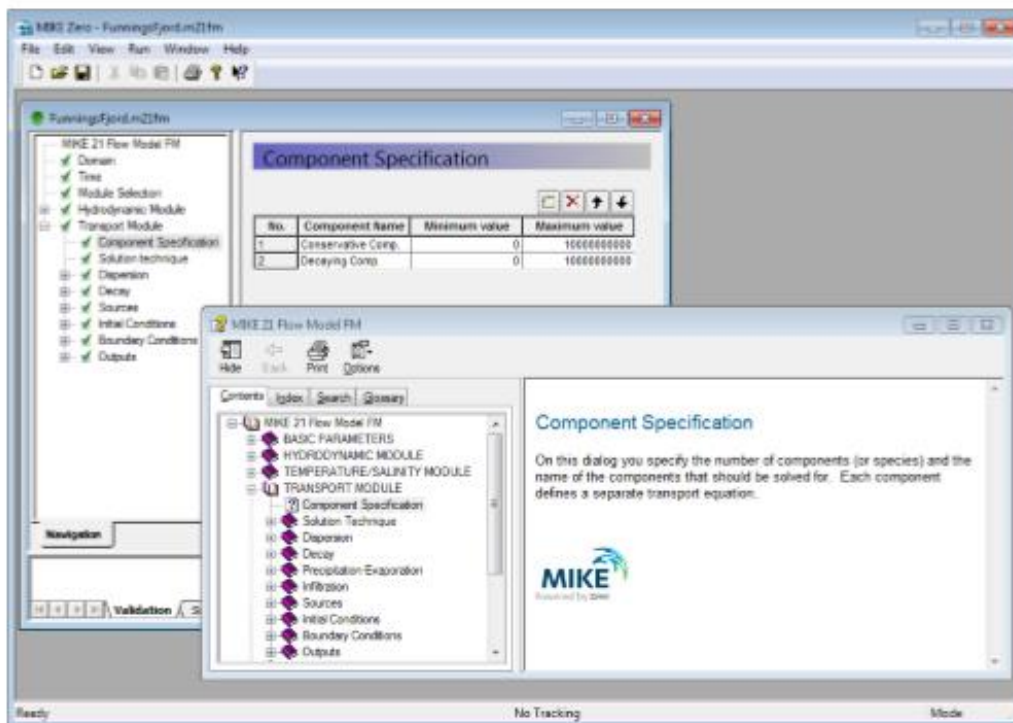
Example of Flexible Mesh generated for a flushing study in Port of Malmoe, Sweden. The background image is from MIKE C-Map which enables extraction of land contours and water depths from digitized Admiralty Charts provided by Jeppesen Norway

Model Output Data

The output from the model includes the concentrations of the given components. It is possible to specify the format of the output files in MIKE 21 & MIKE 3 as times series of points, lines, areas and volumes (three-dimensional calculations only).



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

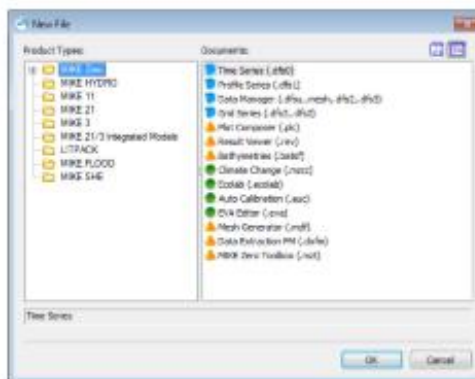


Graphical user interface of the MIKE 21 Flow Model FM, Transport Module, including an example of the Online Help System

Graphical User Interface

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Transport Module is operated through a fully Windows integrated Graphical User Interface (GUI). Support is provided at each stage by an Online Help System.

The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and a toolbox for/utilities as the Mesh Generator and Data Viewer.



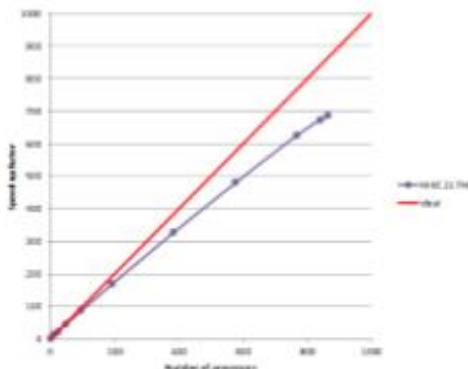
Overview of the common MIKE Zero utilities

Parallelisation



Parallelisation

The computational engines of the MIKE 21/3 FM series are available in versions that have been parallelised using both shared memory (OpenMP) as well as distributed memory architecture (MPI). The result is much faster simulations on systems with many cores.



MIKE 21 FM speed-up using a HPC Cluster with distributed memory architecture (purple)

Hardware and Operating System Requirements

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Transport Module supports Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (32 and 64 bit), Windows 8.1 Pro (64 bit), Windows 10 Pro (64 bit) and Windows Server 2012 R2 Standard (64 bit). Microsoft Internet Explorer 9.0 (or higher) is required for network license management as well as for accessing the Online Help.

The recommended minimum hardware requirements for executing the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Transport Module are:

Processor:	3 GHz PC (or higher)
Memory (RAM):	4 GB (or higher)
Hard disk:	160 GB (or higher)
Monitor:	SVGA, resolution 1024x768
Graphic card:	64 MB RAM (256 MB RAM or higher is recommended)

Support

News about new features, applications, papers, updates, patches, etc. are available here:

www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx

For further information on MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM software, please contact your local DHI office or the support centre:

MIKE Powered by DHI Client Care
 Agern Allé 5
 DK-2970 Hørsholm
 Denmark

Tel: +45 4516 9333
 Fax: +45 4516 9292

mike@dhi.com
www.mikepoweredbydhi.com

Documentation

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM models are provided with comprehensive user guides, online help, scientific documentation, application examples and step-by-step training examples.



12. ANEXO C. MIKE MT (MUD TRANSPORT)



MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM Mud Transport Module Short Description



MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM



Agern Allé 5 Tel: +45 4516 9200
DK-2970 Hørsholm Support: +45 4516 9333
Denmark Fax: +45 4516 9292

E-mail: software@dhlgroup.com
Web: www.dhlgroup.com

WATER • ENVIRONMENT • HEALTH

MIKE21_MT_FM_ShortDescription_desc\AJS\ek\HULUKAE\2007\Short_Descriptions_fm\2007-11-19

Mud Transport Module





**MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM
 – Mud Transport Module**

This document describes the Mud Transport Module (MT) under the new comprehensive modelling system for two- and three-dimensional flows, the Flexible Mesh series, developed by DHI.

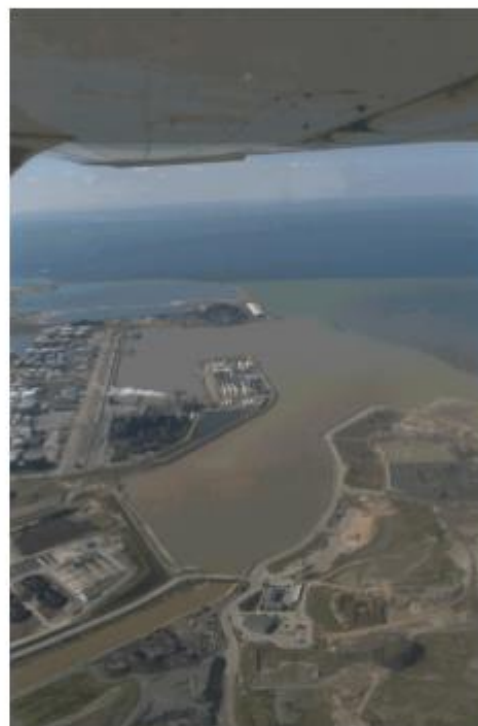
The MT module includes a state-of-the-art mud transport model that simulates the erosion, transport, settling and deposition of cohesive sediment in marine, brackish and freshwater areas. The module also takes into account fine-grained non-cohesive material.

With the FM series it is possible to combine and run the modules dynamically. If the morphological changes within the area of interest are within the same order of magnitude as the variation in the water depth, then it is possible to take the morphological impact on the hydrodynamics into consideration. This option for dynamic feedback between update of seabed and flow may be relevant to apply in shallow areas, for example, where long term effects are being considered. Furthermore it may be relevant in shallow areas where capital or considerable maintenance dredging is planned and similarly at sites where disposal of the dredged material takes place.



Example of spreading of dredged material in Øresund, Denmark

The MT module is an add-on module to MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM. It requires a coupling to the hydrodynamic solver and to the transport solver for passive components (Advection Dispersion module). The hydrodynamic basis is obtained with the MIKE 21 or MIKE 3 FM HD module. The influence of waves on the erosion/deposition patterns can be included by applying the Spectral Wave module, MIKE 21 FM SW.



Example of sediment plume from a river near Malmö, Sweden

Application Areas

The MT module is used in a variety of cases where the erosion, dispersion, and deposition of cohesive sediments are of interest. Fine-grained sediment may cause impacts in different ways. In suspension, the fines may shadow areas over a



time span, which can be critical for the survival of light-depending benthic fauna and flora. The fine-grained sediment may deposit in areas where deposition is unwanted, for instance in harbour inlets. Furthermore, pollutants such as heavy metals and TBT are prone to adhere to the cohesive sediment. If polluted sediment is deposited in ecologically sensitive areas it may heavily affect local flora and fauna and water quality in general.



Example of resuspension in the nearshore zone. Caravelas, Brazil. Assessment of resuspension may be relevant in for example dredging projects to identify sources and levels of background turbidity

The estimation of siltation rates is an area where the MT module often is applied and also an important aspect to consider when designing new approach channels or deepening existing channels to allow access for larger vessels to the ports. Simulations of fine-grained sediment dynamics may contribute to optimise the design with regard to navigation and manoeuvrability on one hand and minimising the need for maintenance dredging on the other.

The MT module has many application areas and some of the most frequently used are listed below:

- Dispersion of dredged material
- Optimisation of dredging operations
- Siltation of harbours
- Siltation in access channels
- Cohesive sediment dynamics and morphology

- Dispersion of river plumes
- Erosion of fine-grained material under combined waves and currents
- Studies of dynamics of contaminated sediments

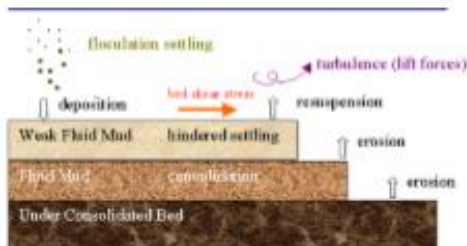


Example of muddy estuary. Caravelas, Brazil

Computational Features

The main features of the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Mud Transport module are:

- Multiple sediment fractions
- Multiple bed layers
- Flocculation
- Hindered settling
- Inclusion of non-cohesive sediments
- Bed shear stress from combined currents and waves
- Waves included as wave database or 2D time series.
- Consolidation
- Morphological update of bed



Example of modelled physical processes



Model Equations

The governing equations behind the MT module are essentially based on Mehta et al. (1989). The impact of waves is introduced through the bed shear stress.

The cohesive sediment transport module or mud transport (MT) module deals with the movement of mud in a fluid and the interaction between the mud and the bed.

The transport of the mud is generally described by the following equation (e.g. Teisson, 1991):

$$\frac{\partial c^i}{\partial t} + \frac{\partial uc^i}{\partial x} + \frac{\partial vc^i}{\partial y} + \frac{\partial wc^i}{\partial z} - \frac{\partial w_s c^i}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_{Tx}}{\sigma_{Tx}^i} \frac{\partial c^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_{Ty}}{\sigma_{Ty}^i} \frac{\partial c^i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_{Tz}}{\sigma_{Tz}^i} \frac{\partial c^i}{\partial z} \right) + S^i$$

Symbol list	
t	time
x, y, z	Cartesian co-ordinates
u, v, w	flow velocity components
D_v	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
c^i	the i 'th scalar component (defined as the mass concentration)
w_s^i	fall velocity
σ_{Tx}^i	turbulent Schmidt number
ν_{Tx}	anisotropic eddy viscosity
S^i	source term

The transport of the cohesive sediment is handled by a transport solver for passive components (AD-module). The settling velocity w_s is a sedimentological process and as such it is described separately with the extra term $\frac{\partial w_s c^i}{\partial z}$ using an operator splitting technique.

The bed interaction/update and the settling velocity terms are handled in the MT module.

The sedimentological effects on the fluid density and viscosity (concentrated near-bed suspensions) are not considered as part of the mud process module. Instead they are provided as separate sub-modules as they are only relevant for higher suspended sediment concentrations (SSC).



Mud plains in Loire river, France

Settling velocity

The settling velocity of the suspended sediment may be specified as a constant value. Flocculation is described as a relationship with the suspended sediment concentration as given in Burt (1986). Hindered settling can be applied if the suspended sediment concentration exceeds a certain level. To distinguish between three different settling regimes, two boundaries are defined, c_{floc} and $c_{hindered}$, being the concentrations where flocculation and hindered settling begins, respectively.

Constant settling velocity

Below a certain suspended sediment concentration the flocculation may be negligible and a constant settling velocity can be applied:

$$w_s = k \quad c < c_{floc}$$

where w_s is the settling velocity and k is the constant.

Flocculation

After reaching c_{floc} , the sediment will begin to flocculate. Burt (1986) found the following relationship:

$$w_s = k \times \left(\frac{c}{\rho_{sediment}} \right)^\gamma \quad c_{floc} > c > c_{hindered}$$

In which k is a constant, $\rho_{sediment}$ is the sediment density, and γ is a coefficient termed settling index.



Hindered settling

After a relatively high sediment concentration ($C_{hindered}$) is reached, the settling columns of flocs begin to interfere and hereby reducing the settling velocity. Formulations given by Richardson and Zaki (1954) and Winterwerp (1999) are implemented.

Deposition

The deposition is described as (Krone, 1962):

$$S_D = w_s c_b p_d$$

where w_s is the settling velocity of the suspended sediment ($m s^{-1}$), c_b is the suspended sediment concentration near the bed, and p_d is an expression of the probability of deposition:

$$p_d = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}$$

In the three-dimensional model, c_b is simply equal to the sediment concentration in the water cell just above the sediment bed.

In the two-dimensional model, two different approaches are available for computing c_b . If the Rouse profile is applied, the near bed sediment concentration is related to the depth averaged sediment concentration by multiplying with a constant centroid height:

$$c_b = \bar{c} \times (\text{centroid height})$$

Teeter (1986) related the near bed concentrations to the Peclet number (P_e), the bed fluxes, and the depth averaged suspended sediment concentrations. In this case, the near bed sediment concentration is described as:

$$c_b = \bar{c} \times \left(1 + \left(\frac{P_e}{1.25 + 4.75(P_e^{2.5})} \right) \right)$$

where P_e is the Peclet number:

$$P_e = \frac{w_s h}{D_e}$$

where h is the water depth, D_e is the eddy diffusivity, both computed by the hydrodynamic model.

Erosion

Erosion features the following two modes.

Hard bed

For a consolidated bed the erosion rate can be written as (Partheniades, 1965):

$$S_E = E \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right)^n \quad \tau_b > \tau_c$$

Where E is the erodibility ($kg m^{-2} s^{-1}$), n is the power of erosion, τ_b is the bed shear stress ($N m^{-2}$) and τ_{ce} is the critical shear stress for erosion ($N m^{-2}$). S_E is the erosion rate ($kg m^{-2} s^{-1}$).

Soft bed

For a soft, partly consolidated bed the erosion rate can be written as (Parchure and Mehta, 1985):

$$S_E = E \left(e^{\alpha \sqrt{\tau_b - \tau_c}} \right) \quad \tau_b > \tau_c$$

Consolidation

When long term simulations are performed consolidation of deposited sediment may be an important process. If several bed layers are used a transition rate (T) can be applied. This will cause sediment from the top layers to be transferred to the subsequently lower layers.

Solution Technique

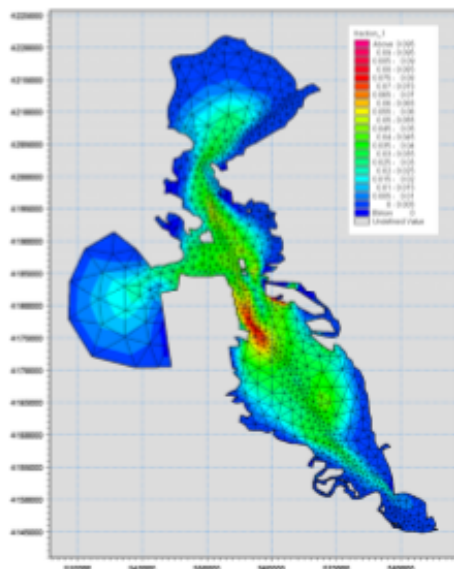
The solution of the transport equations is closely linked to the solution of the hydrodynamic conditions.

The spatial discretisation of the primitive equations is performed using a cell-centred finite volume method. The spatial domain is discretised by subdivision of the continuum into non-overlapping elements/cells. In the horizontal plane an unstructured grid is used while in the vertical domain in the 3D model a structured mesh is used. In the 2D model the elements can be triangles or quadrilateral elements. In the 3D model the elements can be prisms or bricks whose horizontal faces are triangles and quadrilateral elements, respectively.

The time integration is performed using an explicit scheme.

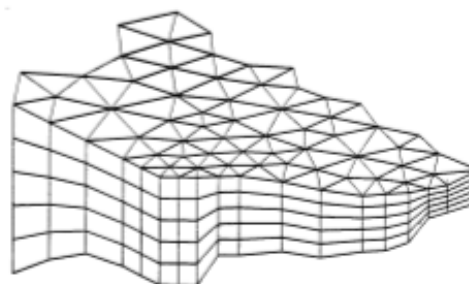


Model Input



The MT module is a tool for estuary sediment management in complex estuaries like San Francisco bay, California, USA

- Sediment in bed layers given as masses or heights
- Net sedimentation rates
- Computed bed shear stress
- Computed settling velocities
- Updated bathymetry



Principle of 3D mesh

Model Input

The generic nature of cohesive sediment dynamics reveals a numerical model that will always call for tremendous field work or calibration due to measurements performed. The following input parameters have to be given:

- Settling velocity
- Critical shear stress for erosion
- Critical shear stress for deposition
- Erosion coefficients
- Power of erosion
- Suspended sediment
- Concentration at open boundaries
- Dispersion coefficients
- Thickness of bed layers or estimate of total amount of active sediment in the system
- Transition coefficients between bed layers
- Dry density of bed layers

Model Output

The main output possibilities are listed below:

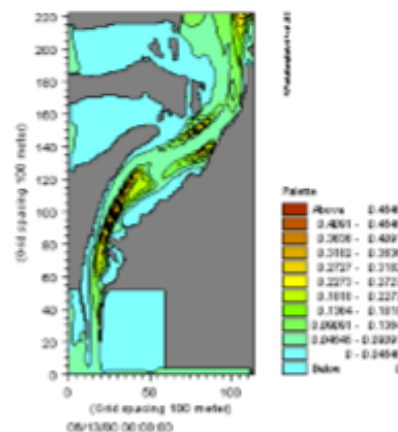
- Suspended sediment concentrations in space and time

Validation

The model engine is well proven in numerous studies throughout the world:

The Rio Grande estuary, Brazil

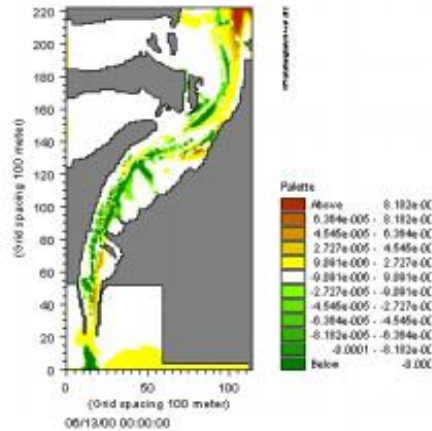
In 2001, the model was applied for a 3D study in the Rio Grande estuary (Brazil). The study focused on a number of hydrodynamic issues related to changing the Rio Grande Port layout. In addition the possible changes in sedimentation patterns and dredging requirements were investigated.



SSC in surface layer (kg/m³), Rio Grande, Brazil

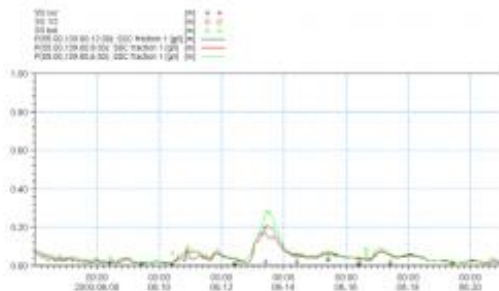


MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM



Instantaneous erosion (kg/m²/s), Rio Grande, Brazil

The figure below shows the most common calibration parameter, which is the suspended sediment concentration (SSC). The results are reasonable given the large uncertainties connected with mud transport modelling.



Suspended sediment concentrations, Rio Grande, Brazil

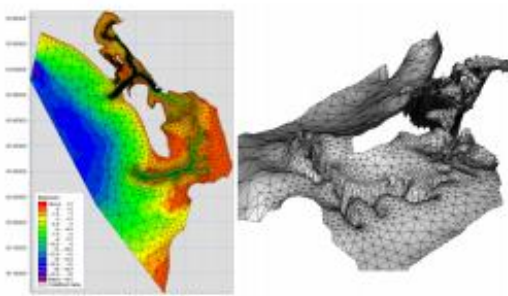
The Graadby tidal inlet, Denmark

The MT module has also been used in the Graadby tidal inlet located in the Danish part of the Wadden Sea. In this area, the highest tidal range reaches 1.7 m at springs, but the storm surge in the area can be as high as 2-4 metres.

The maximum current in the navigation channel leading to the harbour of Esbjerg is in the range of 1-2 m/s. The depth in the channel is 10-12 m at mean sea level.

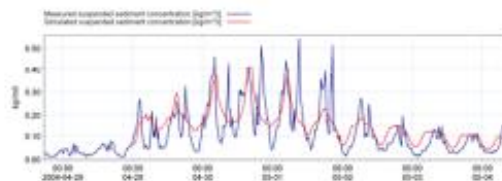


Graadby tidal inlet (Skallingen), Denmark



Bathymetry and computational mesh for the Graadby tidal inlet, Denmark

A comparison between measured and simulated SSC time series is shown below. The overall comparison is excellent.



Comparison between measured and simulated suspended sediment concentrations, Graadby tidal inlet, Denmark

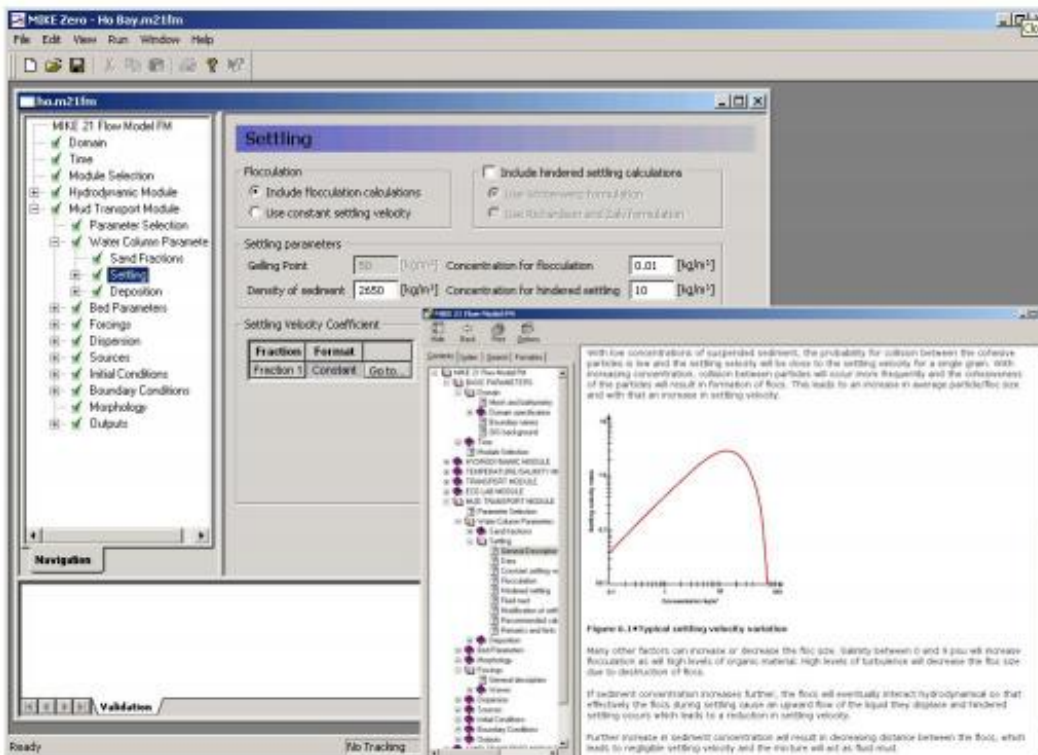


Graphical User Interface

Graphical User Interface

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Mud Transport module is operated through a fully Windows integrated Graphical User Interface (GUI). Support is provided at each stage by an

Online Help System. The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and a toolbox for/utilities as the Mesh Generator, the Data Viewer and the Data Manager.



The graphical user interface of the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM MT module including an example of the Online Help

Hardware and Operating System Requirements

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Mud Transport Module supports Microsoft Windows XP and Microsoft Windows Vista. Microsoft Internet Explorer 5.0 (or higher) is required for network license management as well as for accessing the Online Help.

The recommended minimum hardware requirements for executing MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Mud Transport Module are:

Processor:	2 GHz PC (or higher)
Memory (RAM):	1 GB (or higher)
Hard disk:	40 GB (or higher)
Monitor:	SVGA, resolution 1024x768
Graphic card:	32 MB RAM (or higher), 24 bit true colour
Media:	CD-ROM/DVD drive, 20 x speed (or higher)



Support

News about new features, applications, papers, updates, patches, etc. are available here:

<http://www.dhigroup.com/Software/Download/DocumentsAndTools.aspx>

For further information on MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM software, please contact your local DHI agent or the Software Support Centre:

Software Support Centre

DHI

Agern Allé 5

DK-2970 Hørsholm

Denmark

Tel: +45 4516 9333

Fax: +45 4516 9292

<http://dhigroup.com/Software.aspx>

software@dhigroup.com

References

Burt, N., 1986. Field settling velocities of estuary muds. In: *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*, edited by Mehta, A.J. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, NewYork, Tokyo, 126–150.

Krone, R.B., 1962. Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarine Shoaling Processes. Final Report to San Francisco District U. S. Army Corps of Engineers, Washington D.C.

Mehta, A.J., Hayter, E.J., Parker, W.R., Krone, R.B. and Teeter, A.M., 1989. Cohesive sediment transport. I: Process description. *Journal of Hydraulic Engineering – ASCE* 115 (8), 1076–1093.

Parchure, T.M. and Mehta, A.J., 1985. Erosion of soft cohesive sediment deposits. *Journal of Hydraulic Engineering – ASCE* 111 (10), 1308–1326.

Partheniades, E., 1965. Erosion and deposition of cohesive soils. *Journal of the hydraulics division Proceedings of the ASCE* 91 (HY1), 105–139.

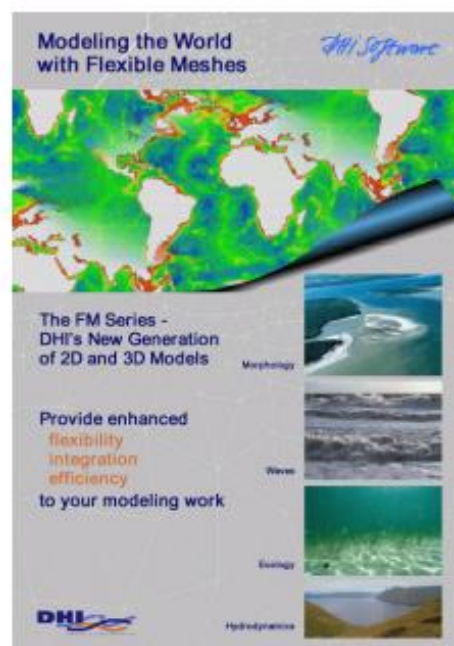
Richardson, J.F and Zaki, W.N., 1954. Sedimentation and fluidization, Part I, *Transactions of the institution Chemical Engineers* 32, 35–53.

Teeter, A.M., 1986. Vertical transport in fine-grained suspension and newly deposited sediment. In: *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*, edited

by Mehta, A.J. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, NewYork, Tokyo, 170–191.

Teisson, C., 1991. Cohesive suspended sediment transport: feasibility and limitations of numerical modelling. *Journal of Hydraulic Research* 29 (6), 755–769.

Winterwerp, J.C. (1999) “Flocculation and settling velocity”, TU delft, pp 10-17.



References on applications

Edelvang, K., Lund-Hansen, L.C., Christiansen, C., Petersen, O.S., Uhrenholdt, T., Laima, M. and Berastegui, D.A., 2002. Modelling of suspended matter transport from the Oder River. *Journal of Coastal Research* 18 (1), 62–74.

Lumborg, U., Andersen, T.J. and Pejrup, M., 2006. The effect of *Hydrobia ulvae* and microphytobenthos on cohesive sediment dynamics on an intertidal mudflat described by means of numerical modelling. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68 (1-2), 208–220.

References

- Lumborg, U. and Pejrup, M., 2005. Modelling of cohesive sediment transport in a tidal lagoon – An annual budget. *Marine Geology* 218 (1-4), 1–16.
- Petersen, O. and Vested, H.J., 2002. Description of vertical exchange processes in numerical mud transport modelling. In: *Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment*, edited by Winterwerp, J.C. and Kranenburg, C. Elsevier, Amsterdam, 375–391.
- Petersen, O., Vested, H.J., Manning, A.J., Christie, M. and Dyer, K., 2002. Numerical modelling of mud transport processes in the Tamar Estuary. In: *Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment*, edited by Winterwerp, J.C. and Kranenburg, C. Elsevier, Amsterdam, 643–654.
- Valeur, J.R., 2004. Sediment investigations connected with the building of the Oresund bridge and tunnel. *Danish Journal of Geography* 104 (2), 1–12.

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

ACTUALIZACIÓN

CAPÍTULO 3 – LINEA DE BASE AMBIENTAL Y ESTUDIOS ESPECIALES

**PUNTO 2 - MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE
DE SEDIMENTOS EN EL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ**

ANEXO I – INFORME DE CAMPO

MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Estudio de Campo de Apoyo a la Modelación
Estuario del Río Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz

INFORME DE CAMPO

Elevado a:

REPRESAS PATAGONIA

**China Gezhouba Group Company Limited / Electroingeniería SA /
Hidrocuyo SA / UTE**

Por



EZCURRA & SCHMIDT S.A. (ESSA)

Blanco Encalada 1721 P10 E, (1428)
Buenos Aires, Argentina. Tel / Fax: 54 1 4786-0851
www.essa.com.ar

Contactos:

Sergio Schmidt, sschmidt@essa.com.ar
Gabriel Danieli, gdanieli@essa.com.ar
Horacio Ezcurra, essa@essa.com.ar

10 DE ENERO DE 2017

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
MOVILIZACIÓN AL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ.....	4
OPERACIONES DE CAMPO	4
MEDICIONES EN ESTACIONES OCEANOGRÁFICAS FIJAS	4
Descripción de los equipos usados:.....	4
Instalación de la estación fija de mediciones “MAR”. Equipos ADCP AWAC 400 kHz, y OBS 3A, N° 776.	8
Instalación de la estación fija de mediciones “ESTUARIO”. Equipos ADCP AWAC 600 kHz, y OBS 3A N° 345.	9
Re-instalación de la estación fija de mediciones “ESTUARIO”. Equipos ADCP AWAC 1000 kHz, y OBS 3A N° 345.	11
MEDICIONES DE CAUDAL Y MUESTRAS DE AGUA, en el Río Santa Cruz y el Río Chico	12
Procesamiento de los datos	12
Medición de caudal y toma de muestra de agua en el Río Chico.....	12
Medición de caudal y toma de muestra de agua en el Río Santa Cruz	15
MEDICIONES CONTINUAS DE VIENTO, durante todo el período de trabajos de campo y mediciones.	17
MUESTRAS DEL FONDO en el estuario, con muestreadores draga Van Veen y Coring de caída libre	18
LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO EXPEDITIVO	20
Medición de mareas para reducir los sondajes al cero IGN	21
MEDICIÓN EXPEDITIVA DEL CAUDAL EN EL ESTUARIO	22
MEDICIONES DE 20 PERFILES VERTICALES DE CORRIENTES, TEMPERATURA, SALINIDAD Y TURBIDEZ	23
MUESTRAS DE AGUA EN EL ESTUARIO	27
MUESTRAS DE AGUA EN EL RÍO SANTA CRUZ.....	28
Muestra de agua en el eje del proyecto de la presa "Jorge Cepernic",	28
Muestra de agua en el nacimiento del Río Santa Cruz,	29
EMBARCACIONES USADAS PARA CONDUCIR EL TRABAJO	30
Lancha semirrígida "Viento Sur"	30
Características Generales	30
RESUMEN DE LOS DÍAS DE USO DE LA LANCHA "VIENTO SUR", INCLUYENDO LOS DÍAS DE STAND BY POR MAL TIEMPO	30
Bote semirrígido "Pampa 48"	32
Características Generales	32
CONCLUSIONES FINALES	33

INTRODUCCIÓN

El presente informe documenta las actividades desarrolladas durante una campaña de mediciones de campo, realizada en el Estuario del Río Santa Cruz, entre los días 11 y 29 de diciembre de 2016, y los resultados preliminares obtenidos.

El objetivo principal de la campaña fue obtener datos medidos, en varios lugares de los parámetros que caracterizan los procesos físicos y dinámicos de este estuario, con el objeto posterior de usar esos datos para calibrar modelos numéricos de simulación del funcionamiento del estuario. Estos modelos a su vez, serán usados para contribuir a evaluar el potencial impacto ambiental del llenado y la operación de los dos nuevos proyectos de represas a ser construidas sobre el Río Santa Cruz.

El estuario del Río Santa Cruz es un ambiente muy especial, y particularmente dinámico en sus procesos oceanográficos físicos. El régimen de mareas semidiurno, produce diariamente dos pleamares y dos bajamares, con amplitudes de mareas en el estuario exterior de 12 m durante los episodios mensuales de "mareas vivas", o Sicigias, y de 7,6 m durante los episodios mensuales de "mareas muertas", o Cuadraturas.

Las corrientes de mareas en el estuario están dominadas por las mareas, y el viento tiene poca influencia. Es común encontrar en el estuario, en las zonas con canales naturales profundos, velocidades de corrientes muy altas, del orden de 7 nudos (3,5 m/s), durante el vaciado y llenado que produce la marea.

Las operaciones fueron conducidas usando una lancha que trajimos especialmente de Puerto Camarones, la "Viento Sur", la cual demostró ser particularmente apta y eficiente para trabajar en las condiciones muy duras y cambiantes de este estuario.

El presente informe incluye los siguientes anexos:

ANEXO 01, Bitácora de las operaciones

Una descripción cronológica, con días y horas de todas las operaciones realizadas en la campaña de mediciones

ANEXO 02, Fotografías documentales

Una selección de fotos que ilustran el medio ambiente y las tareas hechas.

ANEXO 03, Ejemplos gráficos de datos medidos

Se han incluido, como ejemplo, resultados de las mediciones a fin de ilustrar la particular dinámica de este estuario

ANEXO 04, Muestras entregadas

El listado con los datos de las muestras entregadas en el Obrador de la UTE Represas, en Comandante Piedrabuena.

MOVILIZACIÓN AL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ

El equipo pesado fue enviado por camión, Transporte Cruz del Sur, arribando a la terminal de esa empresa en Cte. Piedrabuena (Santa Cruz) el día 21 de noviembre de 2016.

El equipo electrónico y otros instrumentos delicados, fueron transportados en camioneta desde Buenos Aires, viajando entre los días 08 y 11 de diciembre de 2016, a cargo de Horacio Ezcurra y Ana Moller Jensen.

Los técnicos hidro-oceanógrafos Pablo Ezcurra y Marcelo Gramaglia viajaron en avión el día 12 de diciembre a Río Gallegos, y de allí a Puerto Santa Cruz en auto alquilado.

OPERACIONES DE CAMPO

Las operaciones de campo fueron conducidas, con base en Puerto Santa Cruz, entre el lunes 12 de diciembre y el jueves 29 de diciembre de 2016.

El detalle de las tareas realizadas, día a día, se encuentra documentado en el **Anexo 01, Bitácora de las Operaciones**.

MEDICIONES EN ESTACIONES OCEANOGRÁFICAS FIJAS

Inicialmente, el día miércoles 14 de diciembre de 2016, pese a que las condiciones no eran ideales, se instalaron dos estaciones oceanográficas completas, de registro automático, una en el mar, afuera del estuario y otra dentro del mismo.

El objeto de instalar estas estaciones fue medir, durante 10 ciclos completos de mareas semidiurnas las siguientes variables oceanográficas:

1. Perfil vertical de velocidades, cada 10 minutos, con 2 equipos ADCP Nortek AWAC, de 600 kHz y 400 kHz de frecuencia acústica.
2. Salinidad, Temperatura, Mareas y Turbidez, cada 10 minutos, con 2 equipos turbidímetros nefelométricos digitales OBS-3A.

Descripción de los equipos usados:

AWAC (Acoustic Wave And Current Profiler): Equipo acústico basado en el principio ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), que mide el perfil de corrientes en un sitio, del fondo a la superficie, usando el efecto doppler.

El AWAC de Nortek es tanto un perfilador de corrientes como un medidor de oleaje direccional. Puede medir las velocidades y direcciones de las corrientes en capas de 1 m desde el fondo hasta la superficie. Puede medir también olas de todo tipo, tales como: ondas largas, temporales, olas de viento e incluso estelas de barcos que pasen por encima del instrumento.

El AWAC fue diseñado como un equipo para mediciones costeras. Es pequeño, robusto y adecuado para fondeos a largo plazo en ambientes hostiles. El equipo está fabricado en plástico y titanio para evitar corrosiones. Usamos tres equipos diferentes, con frecuencias acústicas de 1 MHz, 600 kHz y 400 kHz, lo que permite medir en tres rangos de profundidad.

Normalmente se fondea montado en una estructura estable junto al fondo, o implante, o "lander", alejado de las complicadas condiciones superficiales en cuanto a clima, paso de barcos o actos vandálicos.

Puede ser usado en modo on-line o en modo autocontenido. Fue usado en este proyecto

exclusivamente en modo autocontenido, con alimentación en base a baterías, y almacenamiento de datos en memoria interna. Este equipo no requiere calibración, ya que es acústico y su base de tiempo es constante y no deriva con el uso.

CTDTu (del Inglés Conductivity, Temperature, Depth, Turbidity): Mediciones verticales de Salinidad, Temperatura y Turbidez en función de la profundidad, con equipo **Campbell Scientific OBS 3A**, que mide Conductividad (salinidad), Temperatura, Profundidad (como presión hidrostática), y Turbidez Nefelométrica, (en unidades NTU). Este equipo puede permanecer en un punto, medir datos a intervalos regulares (por ejemplo cada 10 minutos), y almacenarlos en memoria interna. También puede perfilar datos en tiempo real, conectado con un cable a una computadora portátil, donde se almacenan los datos. Estos equipos fueron contrastados antes de comenzar las operaciones, y se definió una ecuación de calibración.

Figura 01 - Ubicación en el estuario de las estaciones oceanográficas fijas "Mar", "Estuario" y "Estuario 2".



Todos los equipos fondeados fueron programados para medir datos automáticamente cada 10 minutos. En cada estación, ambos equipos se instalaron en un implante especial, que se instala en el fondo, apoyado sobre su base, la cual tiene lastres de plomo para mantenerlo en su sitio.

En base a los puntos medidos en el sitio durante la maniobra de fondeo, con receptor GPS portátil, se hizo una interpretación y se determinó la posición correcta de cada uno de los puntos fundamentales de cada dispositivo:

- La posición del implante, con los equipos ADCP AWAC y OBS-3A.
- La posición del punto de recuperación usando arrastre de línea con grampín.
- La posición del muerto ubicado en el extremo de la línea de recuperación.

Figura 02 - Sistema de fondeo de estaciones fijas, mostrando implante o "lander" con equipos, línea de recuperación y muerto con un ancla adicional tipo Bruce.

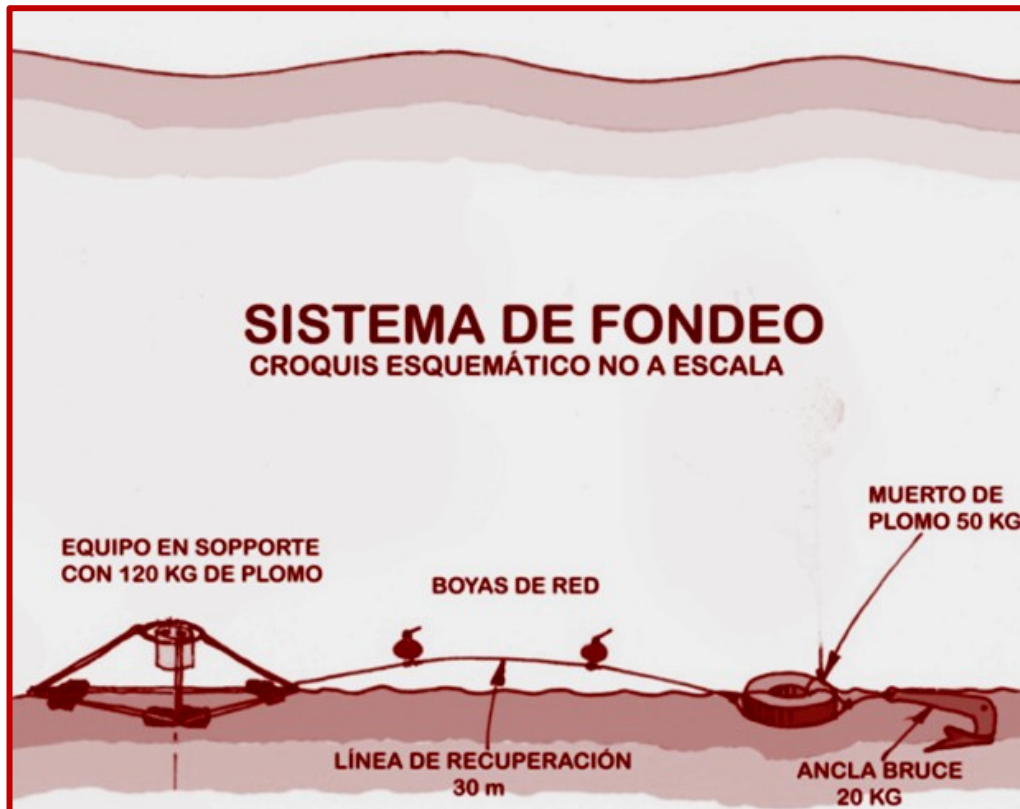


Figura 03 - El implante completo con el equipo ADCP AWAC de 400 kHz (transductores amarillos), su contenedor de baterías (cilindro azul), y el equipo CTDTu OBS 3A, listo a ser fondeado en el Punto Mar.



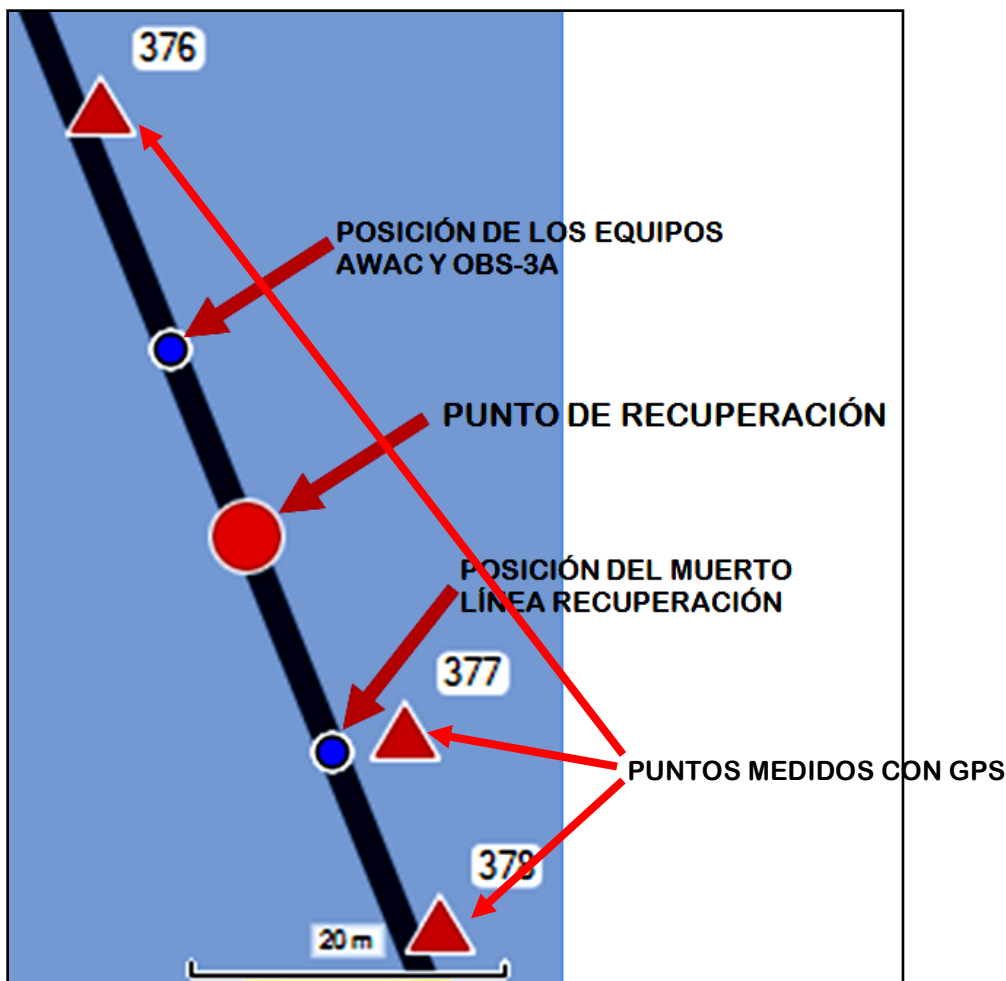
Figura 04 - El implante completo con el equipo ADCP AWAC de 600 kHz (transductores azules), su contenedor de baterías (cilindro azul), y el equipo CTDTu OBS 3A, listo a ser fondeado en el Punto Estuario.



Los puntos de instalación de estos equipos se describen a continuación.

Instalación de la estación fija de mediciones “MAR”. Equipos ADCP AWAC 400 kHz, y OBS 3A, N° 776.

Figura 05- Ubicaciones de fondeo en la estación "Mar".



SITIO MAR FONDEO: 14 dic 2016 1507 horas	PUNTO	LATITUD WGS 84	LONGITUD WGS 84	S [m]	Hm [m]	SR [m]
	EQUIPOS	50° 10.559' (s)	068° 12.709' (w)	15	3.3	11.7
	RECUPERACIÓN	50° 10.565' (s)	068° 12.706' (w)			
	MUERTO	50° 10.572' (s)	068° 12.702' (w)			

Notas:

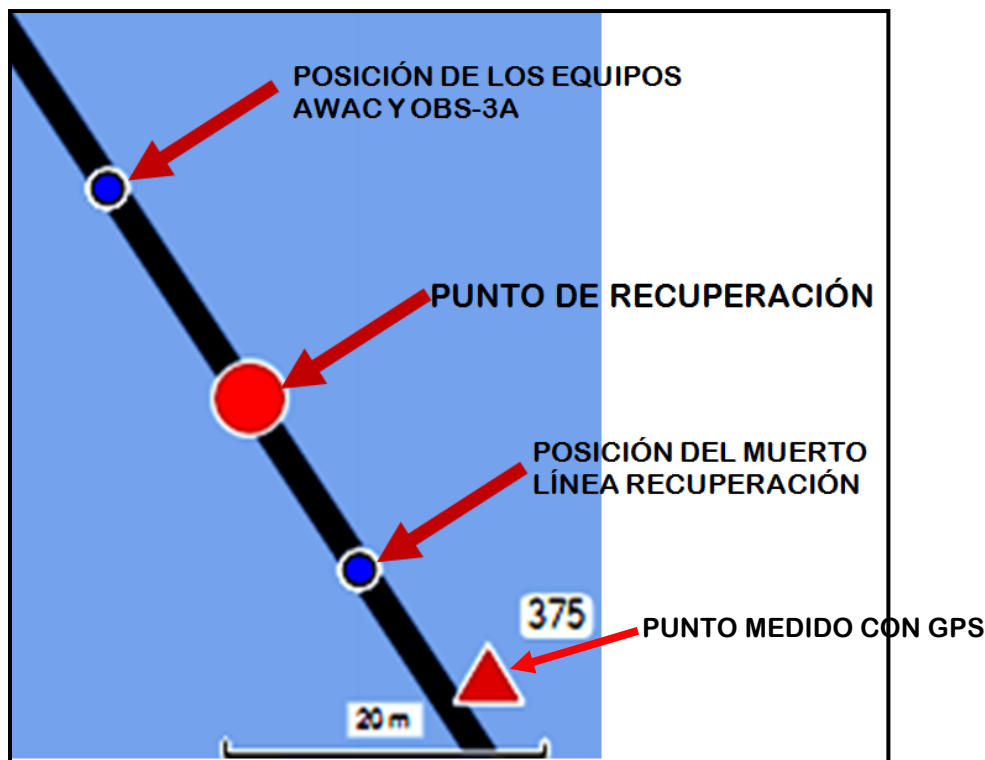
S: Sondaje tomado al fondear los equipos, en metros.

Hm: Altura de marea estimada de tabla, en metros.

SR: Sondaje reducido al cero hidrográfico local, en metros.

Instalación de la estación fija de mediciones “ESTUARIO”. Equipos ADCP AWAC 600 kHz, y OBS 3A N° 345.

Figura 06 - Ubicaciones de fondeo en la estación "Estuario".



SITIO ESTUARIO FONDEO: 14 dic 2016 1305 horas	PUNTO	LATITUD WGS 84	LONGITUD WGS 84	S [m]	Hm [m]	SR [m]
	EQUIPOS	49° 58.576' (s)	068° 31.323' (w)	23	10.7	12.3
	RECUPERACIÓN	49° 58.584' (s)	068° 31.317' (w)			
	MUERTO	49° 58.589' (s)	068° 31.313' (w)			

Notas:

- S: Sondaje tomado al fondear los equipos, en metros.
- Hm: Altura de marea estimada de tabla, en metros.
- SR: Sondaje reducido al cero hidrográfico local, en metros.

El día 20 de diciembre de 2016 se realizó la recuperación de los equipos fondeados el día 19 de diciembre. Se recuperó la Estación "Mar" sin novedades, en perfecto estado. Al recuperar la Estación "Estuario", observamos que tanto la estructura del implante, como los equipos en sí, presentaban señales de daños por haber sido arrastrados sobre el fondo rocoso, y haberse invertido todo el conjunto, y haber arrastrado y golpeado contra las rocas de ese fondo duro, formado por cantos rodados grandes. No se perdió ningún equipo. El implante y el muerto de plomo de la línea de recuperación presentan señales de haber estado próximos, por arrastre en el fondo. El conector entre el equipo y el pack de baterías presenta signos de estar dañado y haber perdido estanqueidad.

Es posible que el daño se haya producido durante la maniobra de fondeo, en el centro de un canal más profundo con corrientes intensas. Pero también es posible que el implante completo haya sido arrastrado unos

metros por una masa derivante de algas gigantes "Cachiyuyos", *Macrocystis Pyrifera*. arrastrando cerca del fondo o a media agua, enredándose en la línea de recuperación. Estas algas gigantes crecen en fondos rocosos, típicamente en las restingas de rocas terciarias de la Patagonia, y suelen desprenderse con grandes temporales. Hemos visto su presencia en el estuario, ver Figura 07, donde penetran con las corrientes de llenado de las mareas, y suelen aparecer en cantidades significativas como arribazones en las playas. Hemos tenido en el pasado, en zonas costeras de la Patagonia, este tipo de dificultad con equipos fondeados.

Ante este inconveniente discutimos con los modelistas de nuestro estudio, Sergio Schmidt y Gabriel Danieli, y decidimos hacer un nuevo fondeo en otro punto cercano, pero con menos profundidad y corriente, durante cuatro ciclos de marea completos. Decidimos usar el equipo ADCP AWAC de 1000 kHz, por su mayor resolución a esta profundidad, menor que la original.

Figura 07 -

Izquierda: El conjunto implante-equipos de la estación "Estuario", inmediatamente luego de ser recuperado, con signos de haber arrastrado en un fondo rocoso. Se observa (flecha) una rotura de la soldadura en la barra de inox del triángulo superior.

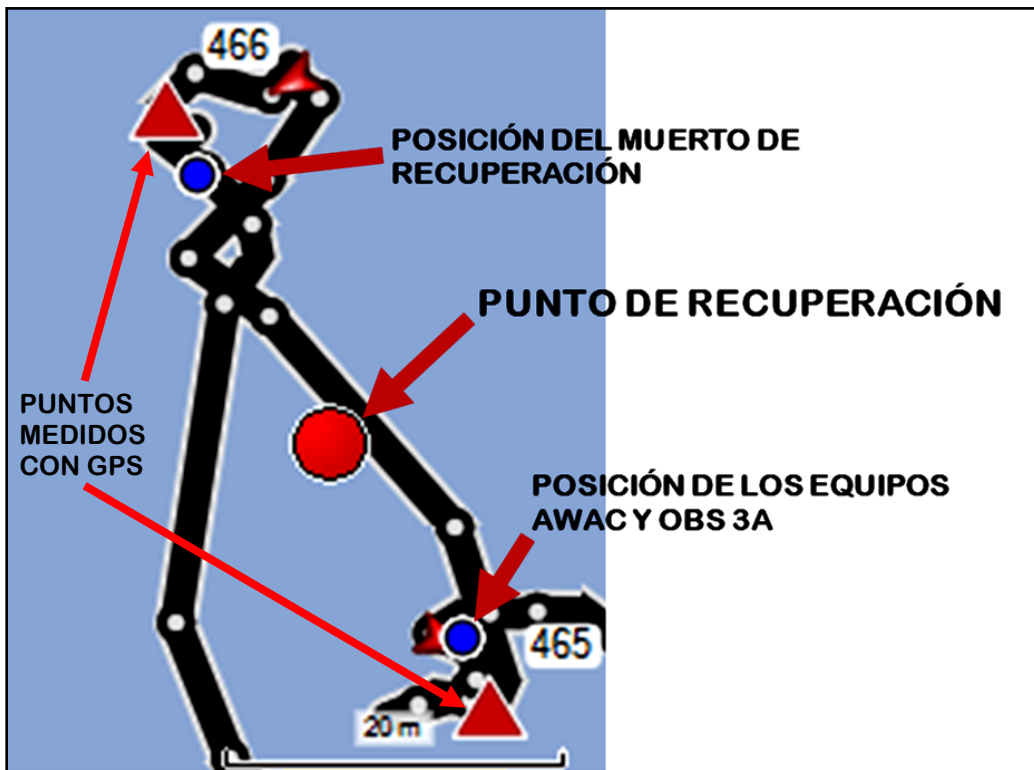
Derecha Una arribazón en la playa de alga gigante Cachiyuyo (*macrocystis pyrifera*)



El día 22 de diciembre de 2016 se realizó el segundo fondeo de equipo en la nueva Estación "Estuario".

Re-instalación de la estación fija de mediciones “ESTUARIO”. Equipos ADCP AWAC 1000 kHz, y OBS 3A N° 345.

Figura 08 - Ubicaciones de fondeo en la estación "Estuario 2".



SITIO ESTUARIO 2 FONDEO: 22 dic 2016 1337 horas	PUNTO	LATITUD WGS 84	LONGITUD WGS 84	S [m]	Hm [m]	SR [m]
	EQUIPOS	49° 58.530' (s)	068° 32.169' (w)	3.0	3.92	-.92
	RECUPERACIÓN	49° 58.523' (s)	068° 32.174' (w)			
	MUERTO	49° 58.515' (s)	068° 32.180' (w)			

Notas:

S: Sondaje tomado al fondear los equipos, en metros.

Hm: Altura de marea estimada de tabla, en metros.

SR: Sondaje reducido al cero hidrográfico local, en metros.

MEDICIONES DE CAUDAL Y MUESTRAS DE AGUA, en el Río Santa Cruz y el Río Chico

Se analizó el Informe "Influencia de la Marea sobre el Nivel del Río Santa Cruz en el Tramo de la Ex-Rn3 y Punta Quilla", elevado por el Grupo de Inspección de la Obra. De acuerdo el mismo se seleccionaron las secciones transversales a fin de determinar los caudales.

Del diálogo con el personal de la Inspección, y se definieron de común acuerdo las secciones que se usarán para realizar los aforos de caudal del río Chico, y del Río Santa Cruz.

Los sitios seleccionados fueron los siguientes:

1. **Río Chico:** En el Puente de la actual Ruta 3, y en un horario coincidente con la bajante de la marea.
2. **Río Santa Cruz:** En el lugar que ocupaba el antiguo puente de la Ex Ruta 3, aproximadamente 10 km aguas arriba del actual acceso carretero a la Isla Pavón. El sitio se inspeccionó por tierra, con la ayuda del Topógrafo GVB, de la UTE Represas. Se eligió también un horario coincidente con la bajante de la marea.

En cada sección Transversal elegida se midieron perfiles de velocidades usando nuestro correntómetro OTT C31. Los datos obtenidos se incluyen en planillas, abajo.

En cada perfil vertical se midió la profundidad con escandallo de plomo y cinta métrica.

En la parte de mayor velocidad del agua de cada sección se tomó una muestra de agua con botella Niskin, a media profundidad. Estas muestras, de 2 litros, se entregaron al Comitente para su análisis (contenido de sedimentos en suspensión, y su distribución granulométrica).

Procesamiento de los datos

Los datos de los perfiles obtenidos fueron graficados en forma de curvas de velocidades de corriente en función de la profundidad. A partir de estas curvas, se obtuvieron velocidades de corriente a intervalos verticales regulares. Con estos datos, se aplicó el método numérico de Simpson h/3, para realizar la integración en profundidad. De esta manera se calculó para cada vertical el caudal unitario en esa vertical. Los valores de los caudales unitarios obtenidos en cada vertical fueron graficados a lo ancho de cada sección transversal de aforo de caudal en forma de curvas de caudal.

A partir de estas curvas, se aplicó el método numérico de Simpson h/3, para realizar la integración a lo ancho de la sección de aforo de caudal, obteniéndose el caudal en m^3/s que pasaba por la sección de aforo durante las mediciones.

Medición de caudal y toma de muestra de agua en el Río Chico

Se realizó el día 15 de diciembre de 2016, entre las 19:15 y las 20:15, desde el puente de la Ruta 3 sobre el Río Chico. Colaboró en esta tarea el Sr. Gonzalo Valdés, Topógrafo de la UTE Represas.

Se levantó la geometría de la sección de aforo con cinta métrica. En una parte de la sección de aforo de caudal había un banco aflorante, cuyos límites se midieron con precisión a fin de determinar la sección.

Figura 09 - El puente sobre el Río Chico, en la Ruta 3, visto desde aguas arriba, el 29 dic 2016. Se observa algo más crecido que el día del aforo, hecho 14 días antes.



Figura 10 - Imagen Google del puente, donde se observa el banco aflorante que observamos el día de la medición.



Figura 11 - Tomando la muestra de agua con botella Niskin.



Figura 12 - El molinete OTT C31, con su "pescado" de plomo, usado para medir las velocidades de corrientes en cada vertical.

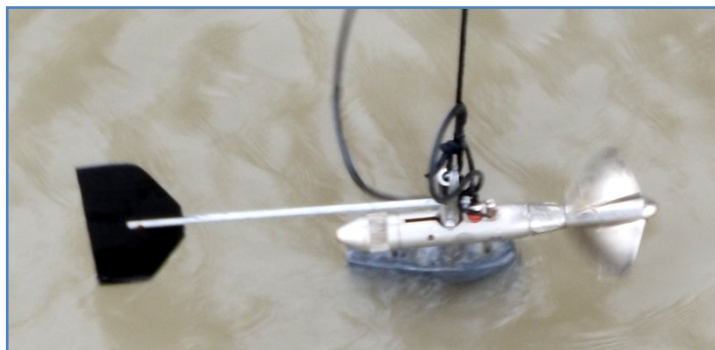


Tabla 01 - Datos medidos para determinar el caudal del Río Chico, sección Puente Ruta 3

	PROGRESIVA (m)	DELTA PROGRES. (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROF SUP (m)	PROF 50 % (m)	PROF FONDO (m)	TIEMPO SUPERF (s)	TIEMPO 50 % (s)	TIEMPO FONDO (s)	CANT. DE VUELTAS	ÁNG. ATAQUE SUPERF.	VELOC SUPERF (m/s)	VELOC 50 % (m/s)	VELOC FONDO (m/s)
M I	0	0	0,00									0,00	--	--
	1	1	0,51	0,12	--	0,33	13,3	0,0	17,7	30	0	0,52	--	0,37
	5	4	0,81	0,12	0,38	0,63	11,8	13,8	12,3	30	0	0,60	0,50	0,57
	10	5	0,95	0,12	0,45	0,77	12,8	14,8	12,5	30	0	0,54	0,46	0,56
	15	5	0,74	0,12	0,34	0,56	10,4	17,3	11,1	30	0	0,69	0,38	0,64
	20	5	0,48	0,12	--	0,30	13,0	0,0	15,6	30	0	0,53	--	0,43
	25	5	0,34	0,12	--	0,16	13,4	0,0	14,2	30	0	0,52	--	0,48
	30	5	0,24	0,12	--	--	18,7	0,0	0,0	30	0	0,34	--	--
Banco	34	4	0,00				0,0	0,0	0,0		0	0,00	--	--
Banco	43	0	0,00				0,0	0,0	0,0	--	0	0,00	--	--
	45	2	0,19	--	--	--	0,0	0,0	0,0	30	0	0,00	--	--
	50	5	0,42	0,12	--	0,24	44,6	0,0	29,9	30	0	0,09	--	0,18
	55	5	0,40	0,12	--	0,22	15,4	0,0	17,8	30	0	0,44	--	0,36
	60	5	0,58	0,12	--	0,40	13,1	0,0	15,7	30	0	0,53	--	0,43
	65,25	5,25	0,31	0,12	--	0,13	25,7	0,0	0,0	30	0	0,22	--	--
M D	67,25	2	0,00				0,0	0,0	0,0	--	0	0,00	--	--

CAUDAL TOTAL Río Chico, 15 dic 2016, a horas 1915-2015 = 11,1 m3/s

Nivel del Río Chico en sitio de aforo, Puente Ruta 3:

Dist. vertical superficie agua a marca roja en baranda= 11,55 m

Cota IGN marca roja en baranda= 16,143 m (determinada por el Topógrafo Gonzalo Valdés)

Altura nivel del agua IGN= 4,593 m

Medición de caudal y toma de muestra de agua en el Río Santa Cruz

Se realizó el día 19 de diciembre de 2016, entre las 15:30 y las 16:47 horas. Se usó la lancha "Pampa 48", a cargo de su patrón Sr. Leandro Ulrich.

Figura 13 - Vista panorámica de la sección de aforo de caudal. Río Santa Cruz en el cruce de la ex Ruta 3. Se observan las antiguas pilas del puente".



Figura 14 - Imagen de la sección de aforo, con los puntos de medición graficados. En cada uno de estos puntos, se determinó las coordenadas y se trazó la geometría de la sección en base a estos datos

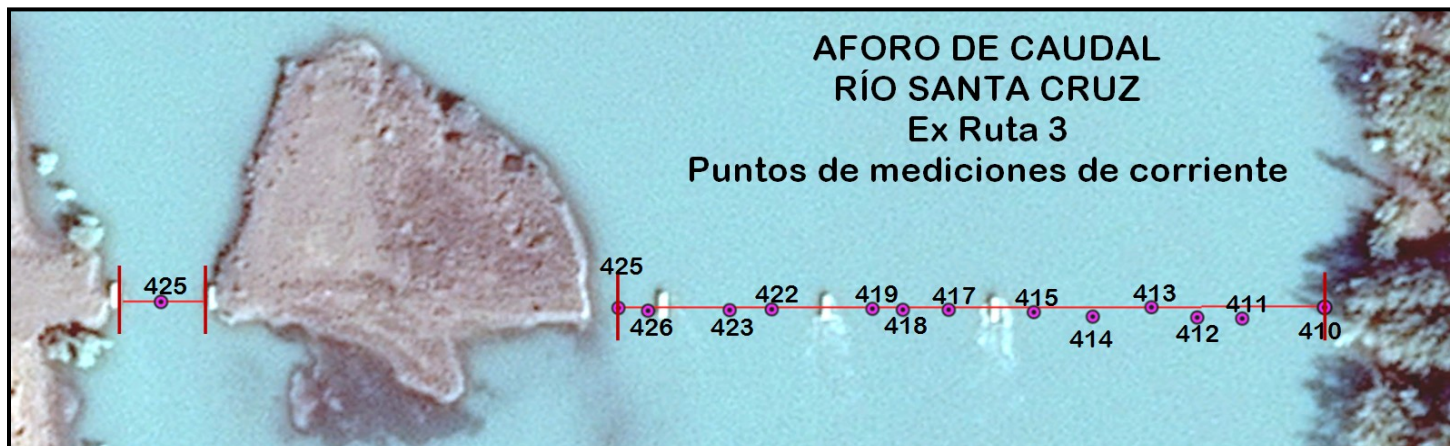


Figura 15 -

Izquierda: El molinete OTT C31, en la lancha Pampa 48

Derecha: La regla ubicada en la margen izquierda de la sección de aforo de caudal. El día 15 dic 2015 la lectura fue de 1,34 m.

Tabla 02 - Datos medidos para determinar el caudal del Río Santa Cruz, en la sección transversal que ocupaba el antiguo puente de la Ex Ruta 3.

PUNTO, WP	PROGRESIVA (m)	DELTA PROGRES. (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROF 1 [m]	PROF 2 [m]	PROF 3 [m]	PROF 4 [m]	ÁNG CABLE MOLINETE	TIEMPO 1 [seg]	TIEMPO 2 [seg]	TIEMPO 3 [seg]	TIEMPO 4 [seg]	CANT. DE VUELTAS	ÁNG. ATAQUE SUPERF.	VELOC A PROF 1 (m/s)	VELOC A PROF 2 (m/s)	VELOC A PROF 3 (m/s)	VELOC A PROF 4 (m/s)	ANCHO DEL CONDUCTO
CANAL PRINCIPAL, AL NORTE, MARGEN IZQUIERDA																			
MI, 410	0	0													0,00				
411	20,2	20,2	3,40	0,80	1,60	2,50	--	37,00	5,9	7,5	15,5	--	30	0	1,30	1,00	0,43	0,00	80,8
412	31,3	11,1	4,20	0,79	1,58	2,36	3,35	38,00	5,6	5,2	7,3	8,4	30	0	1,37	1,48	1,03	0,88	
413	42,7	11,4	3,70	0,72	1,44	2,40	--	44,00	4,5	7,1	10,0	--	30	0	1,73	1,06	0,72	--	
414	57,4	14,7	3,60	0,90	1,68	2,15	3,05	47,00	4,0	4,1	5,1	8,6	30	0	1,96	1,91	1,51	0,86	
415	72,4	15	4,00	0,64	1,50	2,30	3,15	50,00	3,5	3,8	4,1	5,8	30	0	2,25	2,07	1,91	1,32	
P1, izq	80,8	8,4																	
P1, der	83,9	3,1																	
417	94,5	10,6	3,60	0,67	1,50	2,20	2,90	48,00	3,8	4,3	5,0	7,6	30	0	2,07	1,81	1,55	0,98	40,4
418	105,8	11,3	3,40	0,67	1,40	2,15	2,97	48,00	3,8	4,0	4,7	6,8	30	0	2,07	1,96	1,65	1,11	
419	113,5	7,7	3,85	0,73	1,46	2,19	2,56	43,00	4,7	7,4	7,7	7,6	30	0	1,65	1,01	0,97	0,98	
P2, izq	124,3	10,8																	
P2, der	127,3	3																	
422	139,7	12,4	3,20	0,91	1,81	2,72	--	25,00	10,6	10,4	15,7	0,0	30	0	0,68	0,69	0,43	--	38,3
423	149,9	10,2	3,50	1,00	2,00	2,99	--	4,00	46,1	0,0	0,0	0,0	30	0	0,08	0,00	0,00	--	
P3, izq	165,6	15,7																	
P3, der	168,8	3,2																	
426	171,1	2,3	2,60	1,00	2,00	3,00	--	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	30	0	0,00	--	--	--	9,6
MD, 425	178,4	7,3													0,00				
CANAL SECUNDARIO, AL SUR, MARGEN DERECHA																			
Pila izq	281	0																	
427	292,1	11,1	1,90	0,91	1,81	0,00	--	25,00	11,3	11,3	0,0	0,0	30	0	0,63	0,63	--	--	20,9
Pila der	301,9	9,8																	

CAUDAL TOTAL Río Santa Cruz, 19 dic 2016, a horas 1530-1647 = 569,3 m³/s

Nivel río en sitio de aforo, ex Ruta 3:

Lectura escala limnimétrica Inspección= 1,41 m

Altura nivel del agua IGN= 8,59 m

MEDICIONES CONTINUAS DE VIENTO, durante todo el período de trabajos de campo y mediciones.

Se instaló, en el aeropuerto de Santa Cruz, una estación meteorológica automática, con anemómetro a 10 m de altura sobre el nivel del suelo, **Davis Instruments 6250 Vantage Vue Wireless Weather Station**, con data logger inalámbrico, programada para medir y registrar datos cada media hora. La estación midió dirección y velocidad del viento, presión, humedad relativa, y precipitaciones. El sensor de viento se orientó al norte verdadero, usando un punto de enfilación determinado con equipo GPS a una distancia de 400 m.



Figura 16 - Parando la torre de aluminio de la estación meteorológica automática DAVIS, modelo Vantage Vue 6250, en el Aeródromo de Puerto Santa Cruz.

Figura 17 - Abajo: La estación funcionando, en su torre.
 Derecha: La unidad de sensores, en el tope de la torre, y la unidad de registro



MUESTRAS DEL FONDO en el estuario, con muestreadores draga Van Veen y Coring de caída libre

Se tomaron 10 muestras de suelos en el estuario y parte del Río Santa Cruz. Los detalles de las posiciones exactas la descripción visual de cada muestra, y el tipo de envase y preservante agregado, están incluidos en el **ANEXO 04, Muestras entregadas**.

Los principales detalle de las muestras se incluyen abajo, en la Tabla 03, para facilitar la comprensión.

Se usaron dos equipos diferentes:

1. **Draga tipo Van Veen**, de cucharas opuestas y cierre disparado al hacer contacto con el fondo
2. **Equipo Coring**, con tubo sacamuestra de acero de 63 mm de diámetro interior, con camisa de PVC de pared fina, con un peso de 30 kg, y una penetración máxima de 1, 20 m.

Se seleccionaron 10 puntos en el estuario, que a nuestro criterio serían representativos de los sedimentos presentes.

Al iniciar el muestreo, encontramos fondos formados por arenas muy compactas y/o cantos rodados. Estos materiales no pudieron ser penetrados por el equipo Coring en ningún caso, el cual tiene aplicación, y es muy efectivo, sólo con limos y arcillas, sedimentos ausentes en las muestras tomadas en este estuario.

Figura 18 - Ubicación, sobre la imagen del estuario de los 10 puntos en los que se obtuvieron muestras del fondo.

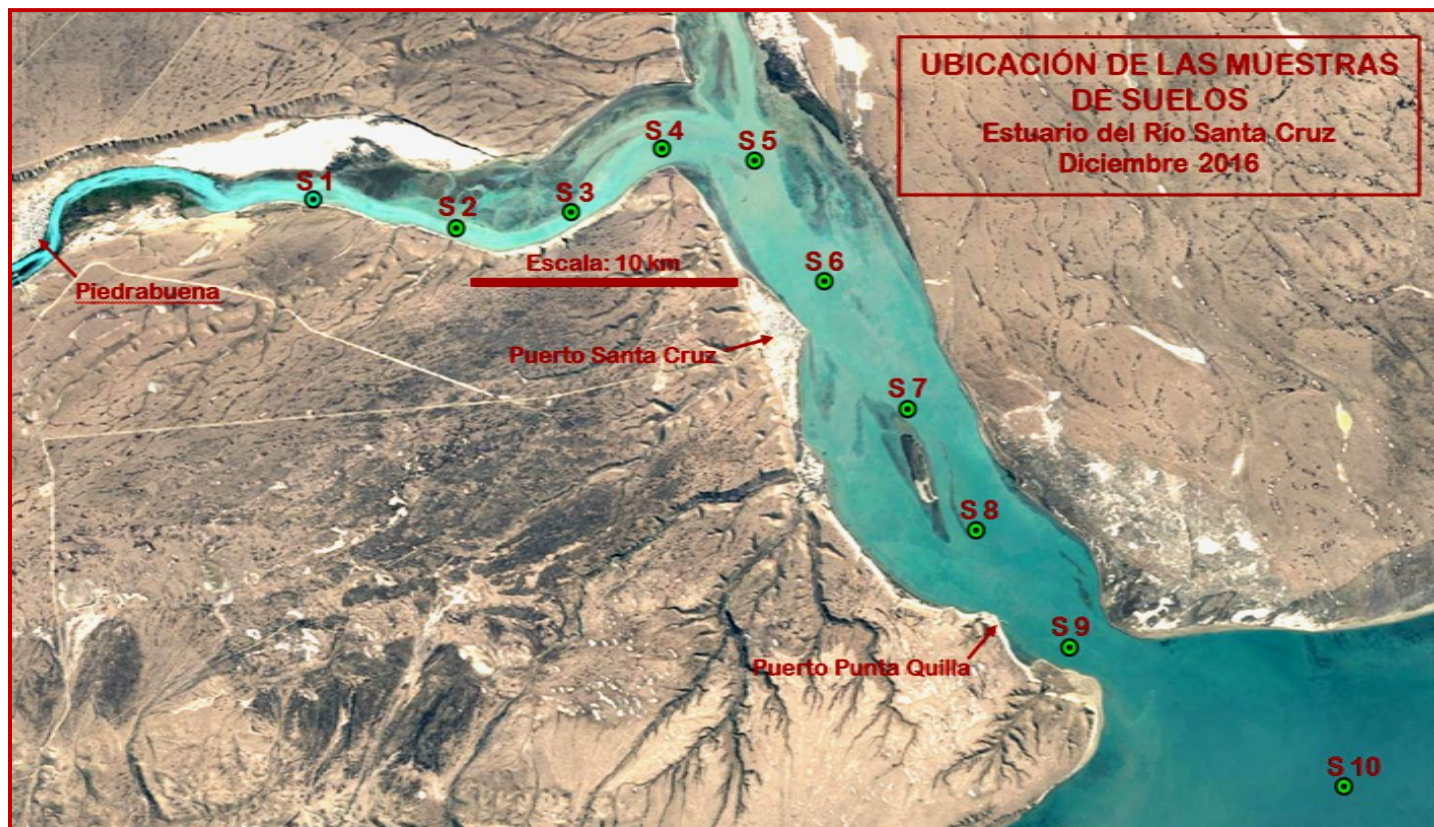




Figura 19 -

Arriba: Intentando tomar muestras de los fondos del estuario con el equipo Coring de caída libre. Este equipo no funcionó en los fondos de arena compacta o canto rodado.

Izquierda: Tomando muestras de fondo con la draga Van Veen. En varios de los puntos hubo que repetir los lances hasta obtener una cantidad adecuada de muestra.

Tabla 03 Detalle de las muestras de suelo

MUESTRA	FECHA de obtención	HORA de obtención	POSICIÓN Ref WGS 84	Descripción Visual
S 01	17-dic-16	14:39:43	S49 58.488 W68 46.124	Arena fina color castaño oscuro y cantos rodados
S 02	17-dic-16	14:00:54	S49 59.076 W68 41.637	Arena mediana color castaño y cantos rodados
S 03	17-dic-16	13:42:57	S49 58.752 W68 38.038	Arena fina color castaño
S 04	15-dic-16	14:05:03	S49 57.470 W68 35.195	Arena fina color castaño
S 05	17-dic-16	13:03:34	S49 57.712 W68 32.291	Arena mediana color castaño y cantos rodados
S 06	15-dic-16	12:53:26	S50 00.142 W68 30.101	Arena mediana color castaño y cantos rodados
S 07	17-dic-16	19:14:11	S50 02.716 W68 27.479	Cantos rodados gr., mal clasific., c/íncrustaciones de crustáceos Balanus.
S 08	17-dic-16	18:49:11	S50 05.158 W68 25.323	Cantos rodados grandes, mal clasificados
S 09	20-dic-16	6:58:42	S50 07.516 W68 22.372	Cantos rodados grandes, mal clasificados
S 10	20-dic-16	7:24:03	S50 10.298 W68 13.708	Arena fina color cast. c/ 1 valva de molusco 20 mm, y 1 esponja 30 mm.

LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO EXPEDITIVO

El objeto de levantamiento batimétrico expeditivo fue brindar datos acerca del relieve del fondo del estuario al modelo numérico hidrodinámico.

Se levantaron en forma expeditiva aproximadamente 69.5 km de perfiles batimétricos mono haz, en transectas (líneas perpendiculares al eje del estuario), líneas longitudinales y algunas diagonales, distribuidas como se indica en la Figura 20. Se levantaron líneas batimétricas en:

- En el estuario (a fin de verificar y ajustar la carta náutica del SHN),
- En el Río Chico, a fin de brindar datos del relieve del cauce para la modelación numérica.
- En el Río Santa Cruz, a fin de complementar un levantamiento batimétrico anterior, encargado por el Comitente.

El levantamiento se condujo los días 21 y 25 de diciembre de 2016, usando la lancha "Viento Sur".

El equipo usado fue el siguiente:

- Sonda ODOM Echotrack CV 100,
- Receptor GPS Trimble Ag 132, en modo no diferencial (error probable circular 5 m),
- Software de adquisición y control de derrotas HYPACK Batimetría expeditiva a los fines de brindar datos al modelo numérico.

La sonda fue calibrada dos veces por día mediante el "ensayo de la barra", para obtener un error máximo en la profundidad menor que 10 cm.

Figura 20 - Ubicación, sobre la imagen del estuario de las líneas batimétricas levantadas, aproximadamente 69.5 km



Medición de mareas para reducir los sondajes al cero IGN

El día 21 de diciembre se midieron mareas, refiriendo los datos mediante nivel óptico a la regla existente en el muelle en desuso del Ex Frigorífico Armour, ubicado en la confluencia de los Ríos Chico y Santa Cruz. Esta regla fue colocada por la Inspección de Obra. Se tomó la cota IGN del cero de la regla, definida en la publicación "Influencia de la Marea sobre el Nivel del Río Santa Cruz en el Tramo de la Ex-RN3 y Punta Quilla", elevado por el Grupo de Inspección de la Obra.

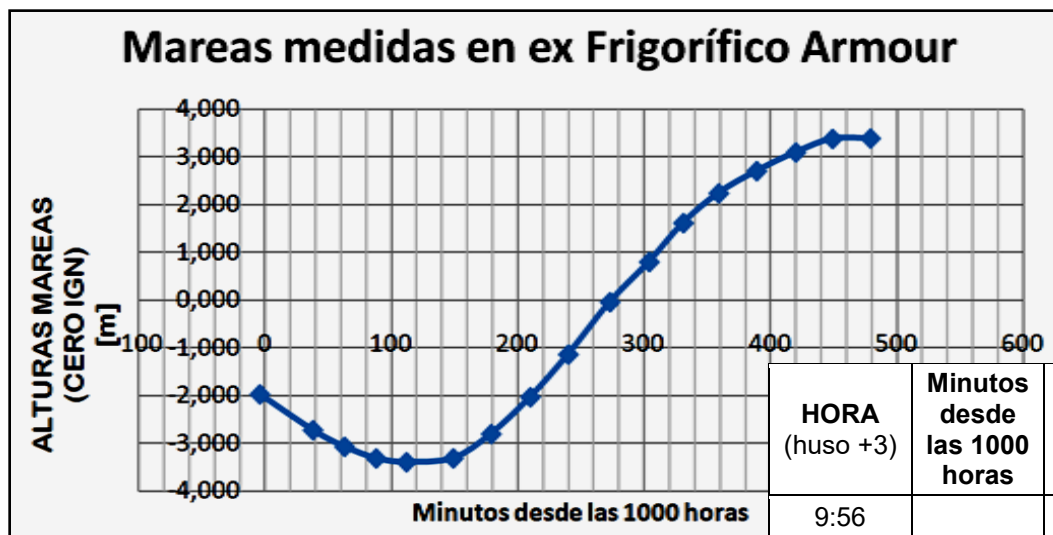


Figura 21 -
 Gráfico de las mareas medidas el día 21 dic 2016, entre las 0930 y las 1800 horas.

El sitio de medición de mareas. Muelle en desuso del antiguo Frigorífico Armour. Se observa la escala hidrométrica instalada por la Inspección de Obra, en el pilar más exterior del antiguo muelle de madera.



HORA (huso +3)	Minutos desde las 1000 horas	Altura Ref. Regla Muelle [m]	Altura Ref. IGN [m]	Alt. S/ Plano Reducción SHN [m]
9:56		0,462	-1,958	4,080
10:38	-4	-0,288	-2,708	3,330
11:03	38	-0,636	-3,056	2,982
11:28	63	-0,878	-3,298	2,740
11:52	88	-0,958	-3,378	2,660
12:29	112	-0,878	-3,298	2,740
2:59	149	-0,368	-2,788	3,250
13:30	179	0,402	-2,018	4,020
14:00	210	1,294	-1,126	4,912
14:33	240	2,390	-0,030	6,008
15:04	273	3,230	0,810	6,848
15:31	304	4,045	1,625	7,663
15:59	331	4,668	2,248	8,286
16:29	359	5,132	2,712	8,750
17:00	389	5,522	3,102	9,140
17:29	420	5,806	3,386	9,424
17:59	449	5,815	3,395	9,433

Alturas IGN = lecturas de la Escala Nº 1 - 2,42 m (Ver REF.)
 Alturas s Plano Reducción SHN = Alturas IGN+ 6,038 m (Ver REF.)
REF: Informe "Influencia de la Marea Sobre el Nivel del Río Santa Cruz, Tramo Pta Quilla-Ex Ruta 3". 22 oct 2016, Inspección de Obra.
 Alt. NMM s/ Plano Reducción SHN = 6,20 m (H-610, SHN)
NMM: Nivel Medio del Mar.
El Nivel Medio del Mar está 0,162 m sobre el Cero IGN

MEDICIÓN EXPEDITIVA DEL CAUDAL EN EL ESTUARIO

El día 17 de diciembre de 2016 se midieron perfiles verticales de corrientes, en 13 puntos, ubicados sobre 3 transectas, como se muestra en la Figura 22. Se usó el equipo ADCP AWAC de 1000 kHz de frecuencia acústica, por su superior resolución.

Debido a las grandes dificultades para fondear la lancha en este estuario, debido a las fuertes corrientes, del orden de 6 a 7 nudos, y el mal tenedero para las anclas en esos fondos con cantos rodados, se adoptó la técnica de "posicionamiento dinámico" para conducir las mediciones. Se intentó fondear una boya especial para ayudar al patrón de la lancha a mantener la posición, pero no resultó. La fuerte corriente hundía la boya y arrastraba al muerto. En consecuencia adiestramos al patrón de la lancha, para mantener la posición con máquina adelante y proa a la corriente, haciendo coincidir en la pantalla el punto de posición con el punto de medición programado. Esta técnica resultó confiable y precisa.

Figura 22 - Ubicaciones, sobre la imagen del estuario, de las transectas con estaciones de mediciones de corrientes con equipo AWAC ADCP de 1000 kHz.

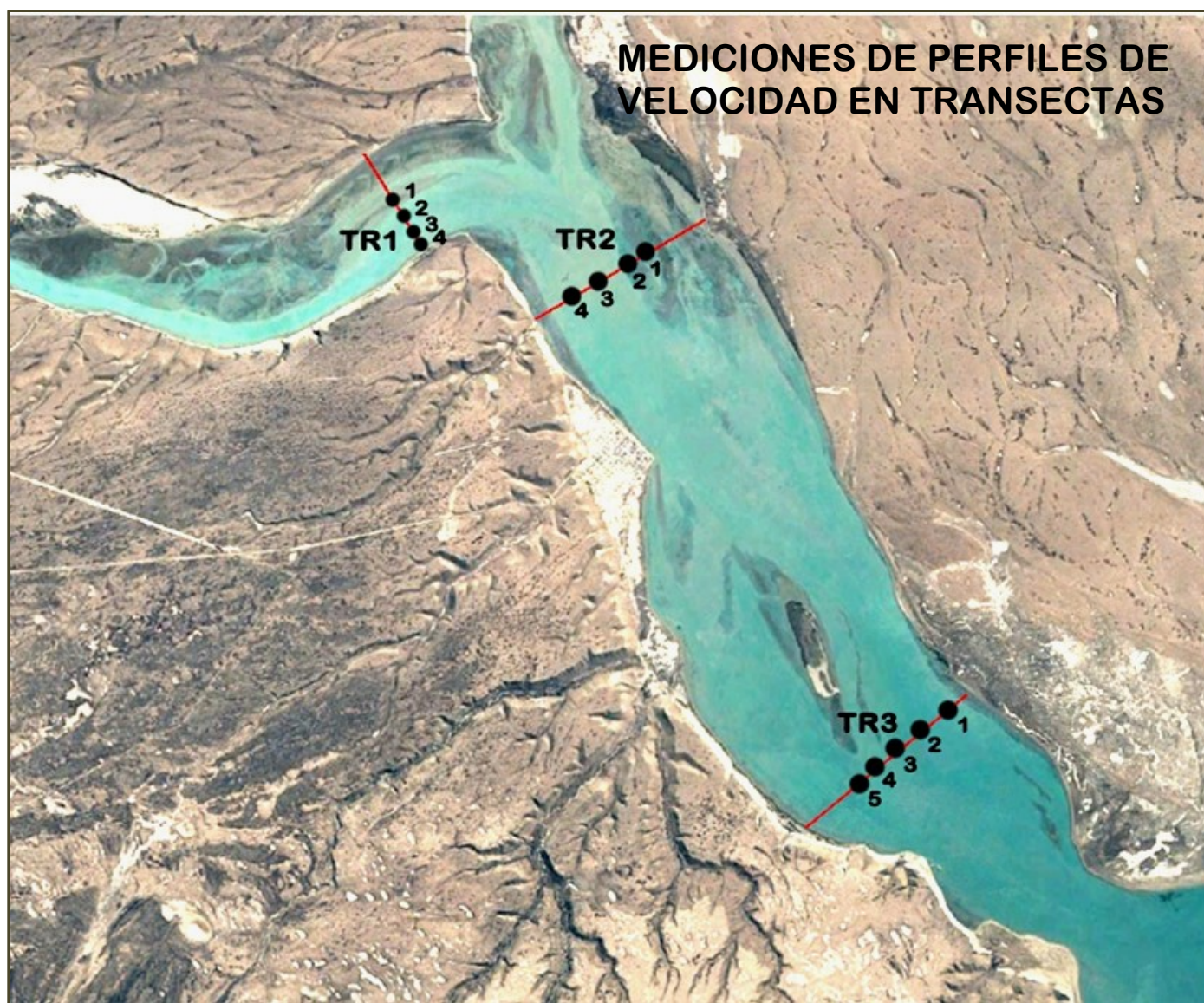


Tabla 04 - Datos de ubicación de estaciones de mediciones de perfiles verticales de velocidad con equipo ADCP AWAC.

ESTACIÓN	WP	FECHA	HORA	POSICIÓN, Ref WGS 84	Sondaje
TR 1-1	396	17-dic.-16	15:38:34	S49 57.361 W68 36.562	3,5
TR 1-2	397	17-dic.-16	15:49:08	S49 57.603 W68 36.305	9
TR 1-3	398	17-dic.-16	16:27:07	S49 57.841 W68 36.085	8
TR 1-4	399	17-dic.-16	16:46:28	S49 58.029 W68 35.917	10
TR 2-1	390	17-dic.-16	12:33:11	S49 58.140 W68 30.805	4,9
TR 2-2	389	17-dic.-16	12:19:31	S49 58.322 W68 31.212	5,3
TR 2-3	388	17-dic.-16	12:01:47	S49 58.584 W68 31.883	11
TR 2-4	387	17-dic.-16	11:38:14	S49 58.807 W68 32.485	9,2
TR 3-1	404	17-dic.-16	18:34:28	S50 04.828 W68 24.128	8,6
TR 3-2	403	17-dic.-16	18:21:06	S50 05.108 W68 24.764	18
TR 3-3	402	17-dic.-16	18:11:25	S50 05.370 W68 25.326	11
TR 3-4	401	17-dic.-16	18:00:37	S50 05.638 W68 25.785	7,3
TR 3-5	400	17-dic.-16	17:41:46	S50 05.884 W68 26.147	12

MEDICIONES DE 20 PERFILES VERTICALES DE CORRIENTES, TEMPERATURA, SALINIDAD Y TURBIDEZ

El día 23 de diciembre de 2016, se zarpó de la playa de Piedrabuena, Calle José Menéndez, cerca de la Terminal de Ómnibus, a bordo de la lancha "Viento Sur", a fin de conducir estas mediciones.

El objeto fundamental de estas mediciones fue poder observar la intrusión salina en el estuario.

Se midieron perfiles verticales de corrientes, velocidad y dirección, usando un equipo ADCP Nortek AWAK de 1000 kHz., y perfiles verticales de Conductividad (salinidad), Temperatura (°C), Turbidez (NTU), y Profundidad (como presión hidrostática) con un equipo CTDtu OBS 3A, en 10 puntos a lo largo del estuario, en situación de bajante, y luego de crecida en cada punto. En total se levantaron perfiles verticales, sobre 10 puntos, dos veces en cada punto, una en crecida y otra en bajante.

Se realizaron las mediciones, comenzando aguas arriba, en la Estación N° 01, y navegando aguas abajo, parando en cada una de las estaciones a realizar. La totalidad de estas mediciones fue hecha con marea en bajante. Al terminar la estación de más afuera del estuario, la Estación N° 10, se esperó desde las 1416 hasta las 1530 horas, para que se consolide la corriente de crecida.

A las 1531 se empezó a trabajar nuevamente en los perfiles, con la corriente creciendo francamente. Se empezó nuevamente en la Estación 10a, hasta terminar aguas arriba en la Estación 01a.

Debido a las grandes dificultades para fondear la lancha en este estuario, debido a las fuertes corrientes, y el mal tenedero para las anclas en esos fondos con cantos rodados, se adoptaron dos modalidades para las mediciones de corrientes, usando la experiencia ya ganada el día 17 de diciembre pasado, cuando medimos perfiles verticales de velocidades en transectas al estuario. Ambas modalidades se describen a continuación:

1. **Técnica de "posicionamiento dinámico"** para conducir las mediciones. mantener la posición con máquina adelante y proa a la corriente usando una pantalla donde hacer coincidir el punto de posición y el punto de medición. Esta técnica resultó confiable y precisa.
2. **Técnica de "Barco al Garete"**. El barco deriva con la corriente a velocidad constante y estabilizada, con sus hélices detenidas. Se mide con el equipo ADCP AWAC durante dos minutos, y se registra con GPS la posición y hora al segundo, inicial y final luego de los dos minutos. De esta manera se conoce el vector velocidad propia sobre el fondo. A este vector se le suma el vector velocidad medida de la corriente con el AWAC, con respecto al barco, y se obtiene el dato de velocidad de la corriente verdadera, con respecto al fondo.

Figura 23 - Ubicaciones de Estaciones CTDTu y AWAC, 01 a 10. Por claridad, sólo se graficaron las estaciones con mediciones con marea bajante, navegando hacia Afuera del estuario.

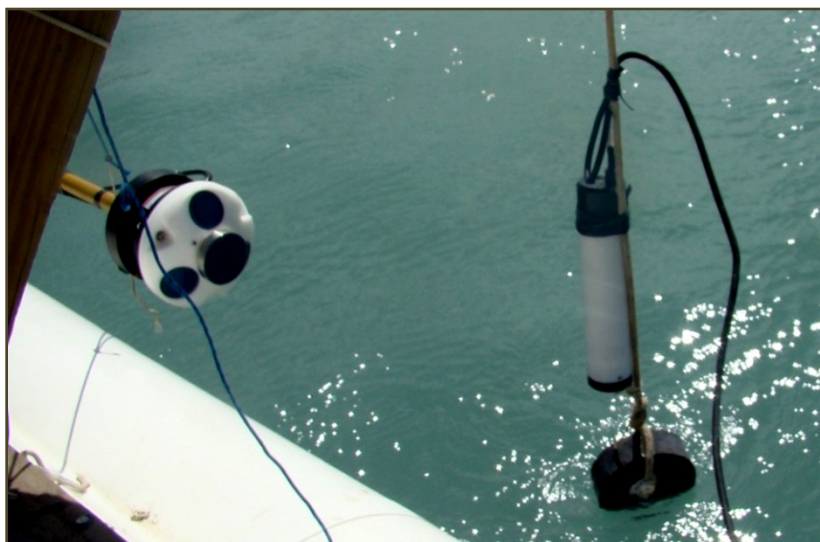
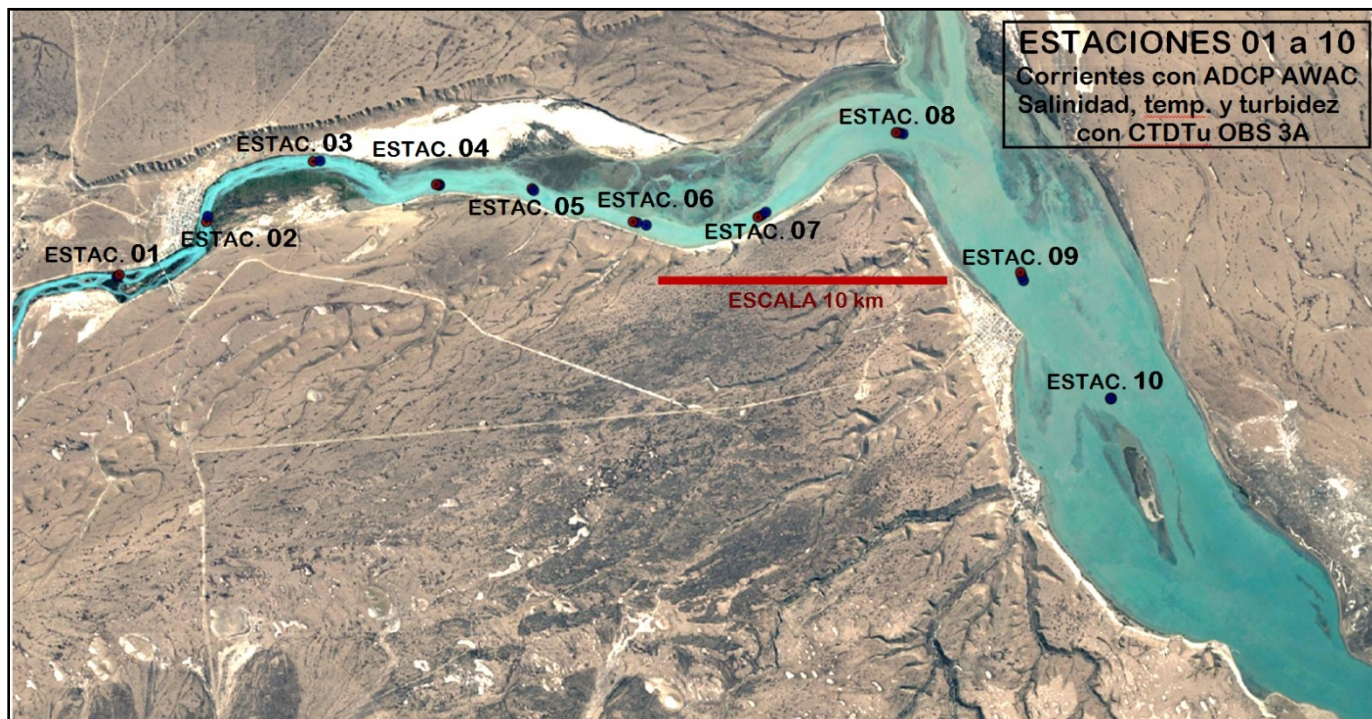


Figura 24 - El sensor del equipo ADCP AWAC de 1000 kHz, en su brazo, fuera del agua, y el equipo CTDTu OBS 33A, colgando con un lastre de plomo de 20 kg, y su cable umbilical conectado, listo a trabajar en modo "perfilaje en tiempo real".

Tabla 05 - Estaciones de perfiles verticales de corrientes, (con equipo AWAC 1000 kHz), y de perfiles verticales de Conductividad (Salinidad UPS), Temperatura (°C), Turbidez (NTU), y Profundidad (m) como presión hidrostática (con equipo CTDTu OBS 3A).

ESTACIÓN	WP	Fecha	Hora	POSICIÓN Ref WGS 84	NOTAS
CTDTu 01	436	23-dic.-16	9:45:05	S50 00.028 W68 56.765	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 01 ini	441	23-dic.-16	10:13:22	S50 00.066 W68 56.830	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
AWAC 01 fin	442	23-dic.-16	10:17:33	S50 00.064 W68 56.823	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
CTDTu 02	443	23-dic.-16	10:48:11	S49 59.056 W68 54.244	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 02 ini	444	23-dic.-16	10:54:52	S49 58.957 W68 54.204	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
AWAC 02 fin	445	23-dic.-16	10:59:02	S49 58.956 W68 54.205	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
CTDTu 03	446	23-dic.-16	11:18:33	S49 57.948 W68 51.149	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 03 ini	447	23-dic.-16	11:23:05	S49 57.939 W68 50.951	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
AWAC 03 fin	448	23-dic.-16	11:27:09	S49 57.938 W68 50.962	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
CTDTu 04	449	23-dic.-16	11:45:34	S49 58.383 W68 47.589	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 04 ini	451	23-dic.-16	11:51:49	S49 58.391 W68 47.501	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
AWAC 04 fin	452	23-dic.-16	11:55:52	S49 58.395 W68 47.502	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
CTDTu 05	453	23-dic.-16	12:07:15	S49 58.467 W68 44.823	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 05 ini	454	23-dic.-16	12:10:32	S49 58.498 W68 44.774	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
AWAC 05 fin	455	23-dic.-16	12:14:35	S49 58.490 W68 44.779	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
CTDTu 06	456	23-dic.-16	12:25:55	S49 59.077 W68 41.905	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 06 ini	457	23-dic.-16	12:27:43	S49 59.095 W68 41.788	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 06 fin	458	23-dic.-16	12:31:45	S49 59.140 W68 41.525	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 07	459	23-dic.-16	12:41:20	S49 58.996 W68 38.298	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 07 ini	460	23-dic.-16	12:44:08	S49 58.963 W68 38.188	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 07 fin	461	23-dic.-16	12:48:14	S49 58.906 W68 38.066	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 08	462	23-dic.-16	13:02:34	S49 57.432 W68 34.302	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 08 ini	463	23-dic.-16	13:05:27	S49 57.438 W68 34.218	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 08 fin	464	23-dic.-16	13:09:31	S49 57.456 W68 34.104	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 09	467	23-dic.-16	13:46:10	S50 00.011 W68 30.707	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 09 ini	468	23-dic.-16	13:50:13	S50 00.084 W68 30.668	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 09 fin	469	23-dic.-16	13:54:17	S50 00.164 W68 30.618	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 10	472	23-dic.-16	14:11:37	S50 02.342 W68 28.090	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 10 ini	470	23-dic.-16	14:04:54	S50 02.335 W68 28.074	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 10 fin	471	23-dic.-16	14:09:12	S50 02.341 W68 28.083	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 10a	473	23-dic.-16	15:32:06	S50 02.328 W68 28.100	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 10a ini	474	23-dic.-16	15:36:58	S50 02.254 W68 28.251	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 10a fin	475	23-dic.-16	15:41:04	S50 02.182 W68 28.376	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 09a	476	23-dic.-16	15:56:33	S50 00.144 W68 30.653	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776

AWAC 09a ini	477	23-dic.-16	15:58:51	S50 00.096 W68 30.711	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 09a fin	478a	23-dic.-16	16:02:51	S50 00.013 W68 30.810	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 08a	478	23-dic.-16	16:19:38	S49 57.439 W68 34.297	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 08a ini	479	23-dic.-16	16:21:01	S49 57.437 W68 34.377	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 08a fin	480	23-dic.-16	16:25:07	S49 57.424 W68 34.611	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 07a	483	23-dic.-16	16:42:08	S49 59.064 W68 38.472	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 07a ini	481	23-dic.-16	16:35:23	S49 58.928 W68 38.134	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 07a fin	482	23-dic.-16	16:39:27	S49 59.004 W68 38.332	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 06a	484	23-dic.-16	16:51:29	S49 59.145 W68 41.547	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 06a ini	485	23-dic.-16	16:53:57	S49 59.136 W68 41.624	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 06a fin	486	23-dic.-16	16:58:04	S49 59.110 W68 41.778	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 05a	489	23-dic.-16	17:14:10	S49 58.442 W68 44.903	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 05a ini	487	23-dic.-16	17:08:02	S49 58.490 W68 44.828	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 05a fin	488	23-dic.-16	17:12:04	S49 58.466 W68 44.883	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 04a	490	23-dic.-16	17:24:04	S49 58.388 W68 47.511	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 04a ini	491	23-dic.-16	17:26:40	S49 58.391 W68 47.549	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 04a fin	492	23-dic.-16	17:30:44	S49 58.392 W68 47.601	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 03a	495	23-dic.-16	17:50:01	S49 57.943 W68 50.980	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 03a ini	493	23-dic.-16	17:42:55	S49 57.931 W68 51.053	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
AWAC 03a fin	494	23-dic.-16	17:47:02	S49 57.913 W68 50.863	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN garete
CTDTu 02a	496	23-dic.-16	18:04:59	S49 58.977 W68 54.217	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 02a ini	497	23-dic.-16	18:11:34	S49 58.971 W68 54.214	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
AWAC 02a fin	498	23-dic.-16	18:15:37	S49 58.973 W68 54.217	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
CTDTu 01a	501	23-dic.-16	18:34:46	S50 00.058 W68 56.837	Perfil CTDTu, con OBS 3A, N° 776
AWAC 01a ini	499	23-dic.-16	18:27:58	S50 00.062 W68 56.833	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico
AWAC 01a fin	500	23-dic.-16	18:32:04	S50 00.065 W68 56.831	Corrientes AWAC 600 kHz, PSN dinámico

MUESTRAS DE AGUA EN EL ESTUARIO

Simultáneamente con la tarea de obtener perfiles CTDu, se tomaron 10 muestras de agua de 2 litros cada una con botellas Niskin, en 5 puntos, a profundidad media, inmediatamente luego de medir los perfiles verticales de CTDu. Las muestras de agua se tomaron en todos los puntos con número par. Es decir que se tomaron las muestras en los puntos 02, 04, 06, 08, y 10 en situación de bajante, y en los puntos 10a, 08a, 06a, 04a, y 02a, en situación de creciente. Ver detalles en el **ANEXO 04, Muestras entregadas**

El objeto de estas muestras es determinar su contenido de Sólidos Totales en Suspensión (tarea no incluida, a cargo del Comitente), a fin de correlacionar este dato con el de turbidez nefelométrica medida en el mismo instante y sitio, en las estaciones CTDu. Se resumen a continuación los datos de las 10 muestras de agua obtenidas:

Tabla 06 - Datos de Muestras de agua tomadas simultáneamente con las estaciones CTDu.

MUESTRA	WP	FECHA de obtención	HORA de obtención	POSICIÓN Ref WGS 84	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	USO, CONSERVAC.
CTDTu 02, agua	443	23-dic-16	10:48:11	S49 59.056 W68 54.244	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 04, agua	449	23-dic-16	11:45:34	S49 58.383 W68 47.589	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 06, agua	456	23-dic-16	12:25:55	S49 59.077 W68 41.905	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 08, agua	462	23-dic-16	13:02:34	S49 57.432 W68 34.302	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 10, agua	472	23-dic-16	14:11:37	S50 02.342 W68 28.090	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 10a, agua	473	23-dic-16	15:32:06	S50 02.328 W68 28.100	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 08a, agua	478	23-dic-16	16:19:38	S49 57.439 W68 34.297	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 06a, agua	484	23-dic-16	16:51:29	S49 59.145 W68 41.547	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 04a, agua	490	23-dic-16	17:24:04	S49 58.388 W68 47.511	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 02a, agua	496	23-dic-16	18:04:59	S49 58.977 W68 54.217	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante



Figura 25 - Botella Niskin para muestras de agua, abierta, lista a ser sumergida. El cierre se produce accionando una segunda línea con una clavija, que libera las tapas, las que se cierran herméticamente.

MUESTRAS DE AGUA EN EL RÍO SANTA CRUZ

Se tomaron dos muestras de agua, ambas el día 27 de diciembre de 2016. Se transcriben los datos de estas muestras según el **ANEXO 04, Muestras entregadas**.

Tabla 07 - Datos de muestras de agua tomada fuera del estuario, sobre el Río Santa Cruz.

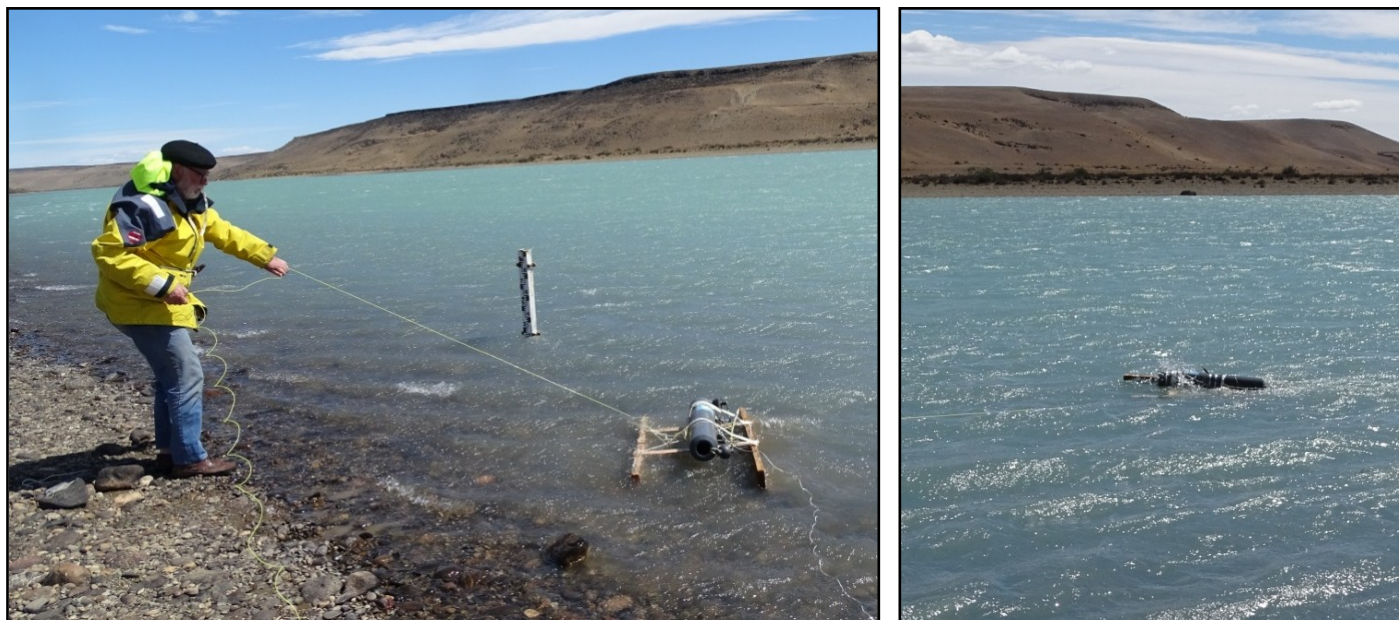
MUESTRA	WP	FECHA de obtención	HORA de obtención	POSICIÓN Ref WGS 84	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	USO, CONSERVACIÓN
Eje Presa JC, R.S. CRUZ, agua	351	27-dic-16	12:00:00	S50 11.202 W70 07.292	Muestra de agua en vertical de mayor corriente, a media profund.	Botella Niskin	Sin preservante
Nacimiento R. S. CRUZ, agua	353	27-dic-16	16:15:00	S50 16.065 W71 53.143	Muestra de agua en vertical de mayor corriente, a media profund.	Botella Niskin	Sin preservante

Muestra de agua en el eje del proyecto de la presa "Jorge Cepernic",

El día 27 de diciembre de 2016, a las 1200 horas

Dado que en el Obrador de la presa JC no íbamos a tener un bote, armamos un dispositivo comandado a distancia, una especie de "drone artesanal" acuático, controlado por dos líneas de hilos de nylon. Este "drone" tiene una forma tal que la corriente lo separa de la costa, ya que su plano lateral sustenta hacia afuera de la costa, hacia el centro del río. Al llegar al lugar deseado, mediante un hilo se libera la botella Niskin, que se hunde mediante un peso de plomo, y al llegar a la profundidad diseñada, se acciona automáticamente el disparo. La botella se cierra, capturando la muestra.

Figura 26 - Usando un "drone" fluvial casero para tomar la muestra de agua con botella Niskin, en el eje de la Presa JC.



Muestra de agua en el nacimiento del Río Santa Cruz,

El mismo día 27 de diciembre de 2016, a las 16:15, usando el puente de la ruta 40

La muestra se obtuvo usando una botella Niskin, desde el puente de la Ruta 40, a media agua, en la zona de mayor velocidad de esa sección transversal del río.

Figura 27 - Tomando una muestra de agua desde el Puente de la Ruta 40, usando la botella Niskin, con disparo desde la superficie



EMBARCACIONES USADAS PARA CONDUCIR EL TRABAJO

Lancha semirrígida "Viento Sur"

Características Generales

Tipo de embarcación:	Lancha motor, casco semirrígido, con pontones inflables y fondo rígido en plástico reforzado con fibra de vidrio. Con cabina. Habilitada para servicio de pasaje y de trabajo en general.
Matrícula Mercante Nacional:	02985M
Señal Distintiva:	LW 3062
Eslora:	8,34 m
Manga:	2,95 m
Puntal:	1,10 m
Desplazamiento	2000 kg, listo a navegar, pero sin equipo, carga, combustible, ni tripulación.
Propulsión:	Potencia total de máquinas 230 HP , con dos motores fuera de borda de nafta, de 4 tiempos Yamaha ecológicos, de 115 HP cada uno.

La lancha "Viento Sur", y su excelente tripulación, contribuyeron significativamente a la realización de esta campaña. La lancha fue transportada por tierra desde Puerto Camarones, arribando a Puerto Santa Cruz el día 11 de diciembre de 2016.

El conjunto lancha-tripulación, hizo un trabajo muy bueno, pese a las grandes dificultades que implicaba trabajar en este estuario en estas tareas. Particularmente fue complicado lanzar y recuperar la lancha del agua en Puerto Santa Cruz, desde la playa con marea baja.

Esta lancha demostró ser excepcionalmente apta para este proyecto. Tiene bajo calado, y puede navegar sobre los bancos y dentro del Río Santa Cruz y Chico. Es veloz, navega a 16 nudos en los traslados entre sitios de trabajo. Es confiable, y su tripulación es diestra y aguerrida para este tipo de trabajos.

RESUMEN DE LOS DÍAS DE USO DE LA LANCHA "VIENTO SUR", INCLUYENDO LOS DÍAS DE STAND BY POR MAL TIEMPO

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Días de trabajo															
Días sin trabajar, en Stand By															

Figura 28 - Embarcando en la lancha Viento Sur, en la rampa de Pto Santa Cruz, con marea alta.



Figura 29 - Derecha: Planeando a 18 nudos en un traslado

Figura 30 - La lancha Viento Sur acercándose a la costa para salir del agua



Figura 31 - La lancha Viento Sur colocándose sobre su tráiler, posicionado en la costa y sumergido para la maniobra de salida del agua. Esta maniobra es difícil con vientos fuertes y marea baja.



Bote semirrígido “Pampa 48”

Este bote fue provisto por la UTE Represas, a fin de facilitar la ejecución de la medición del caudal en el Río Santa Cruz, aguas arriba de Piedrabuena, en el sitio donde están los restos del antiguo puente que cruzaba el río en la Ex Ruta 3, aproximadamente 12 km aguas arriba de Piedrabuena.

Su patrón, Leandro Ulrich fue competente, lo cual nos permitió hacer el aforo sin problemas.

Características Generales

Tipo de embarcación:	Bote motor, casco semirrígido, con pontones inflables y fondo rígido en plástico reforzado con fibra de vidrio.
Eslora	4.8 m
Manga	2.16 m
Eslora int	3.2 m
Manga int	1.16 m
Puntal int	0.65 m
Desplazamiento	400 kg, listo a navegar, pero sin equipo, carga, combustible, ni tripulación.
Propulsión:	Motor fuera de borda Yamaha 2 tiempos, de 70 HP

Figura 32 - Bote Semirrígido "Pampa 48, usado para realizar el aforo de caudal en el Río Santa Cruz, en el cruce de la Ex Ruta 3.



CONCLUSIONES FINALES

El estuario del Río Santa Cruz representó un desafío especial para conducir estas operaciones, por su dinámica muy intensa, caracterizada por corrientes de marea fuertes con valores máximos entre 4 y 7 nudos, vientos de alta variabilidad y muy fuertes, y grandes dificultades por las amplitudes de marea para navegar en sitios con bancos, y para lanzar y recuperar la lancha.

El principal problema que encontramos en esta campaña fue el hecho que al recuperar los equipos fondeados en la Estación Estuario, todo el conjunto tenía graves evidencias de haber arrastrado sobre un fondo rocoso, y haberse deteriorado tanto el perfilador vertical de corrientes ADCP AWAC como el Turbidímetro y CTD OBS 3A. Ante esa situación decidimos fondear nuevamente esa estación, para registrar adicionalmente cuatro ciclos adicionales de marea dentro del estuario. Al recuperar esta estación, comprobamos que los datos eran buenos.

La cantidad y diversidad de datos registrados en esta campaña costera permiten concluir que los objetivos de la misma se cumplieron ampliamente.

ANEXO 01, Bitácora de las operaciones

(Ver Notas y Abreviaturas al final de este Anexo)

Le presente bitácora es una transcripción de las notas tomadas durante la campaña en un cuaderno manuscrito. Se describe cronológicamente lo hecho durante la campaña, día a día.

09 al 16 de noviembre de 2016

Preparación del equipamiento que será usado en proyecto en general, especialmente los elementos más pesados y menos delicados, que serán enviados a Santa Cruz mediante transporte terrestre.

16 de noviembre de 2016

1510 Despacho de envío con equipos más pesados, muertos de plomo, implantes de equipos, sistemas de fondeo y recuperación, anclas, equipos de seguridad y otros, 560 kg en total, en la terminal de Buenos Aires de la Empresa de transporte Cruz del Sur, con destino a Comandante Piedrabuena, Santa Cruz.

Lunes 21 de noviembre de 2016

1200 Arribo del envío de carga con equipos más pesados, 560 kg en total, al depósito de la Empresa de transporte Cruz del Sur, en Comandante Piedrabuena.

Lunes 21 de noviembre de 2016, al miércoles 07 de diciembre

Se realizó la calibración de ambos equipos turbidímetros/CTD OBS-3A, en la empresa Servicios de Instrumentación y Control SRL, de la Ciudad de Buenos Aires.

Se realizó la calibración del Correntómetro OTT C31, con el dispositivo que usaremos en los aforos de ríos, en el Canal de Hidrodinámica Naval de la Facultad de Ingeniería de la UBA, Depto Ingeniería Naval, Av. Paseo Colón 850, Buenos Aires.

Se revisaron, probaron y prepararon todos los equipos que se usarán en el proyecto. Fueron convenientemente embalados para su transporte en camioneta al sitio.

Jueves 08 de diciembre de 2016

1230 Zarpada de Buenos Aires, HE y AMMJ en Camioneta Ford Ranger doble cabina patente GVD181, llevando un lote de equipos de mediciones, instrumentos, herramientas varias, envases para muestras, más equipo personal y de seguridad.

1650-1750 Parada en Tandil.

2100 En Gonzales Chaves. Hotel Central.

Viernes 09 de diciembre de 2016

0800-1000 Compras varias en Gonzales Chaves. Formol para muestras biológicas, cinta métrica de fibra de vidrio, combustible.
1000 Zarpada de G Chaves.
1400 Almuerzo en Médanos.
2140 En Trelew, Hotel Chaltum, Irigoyen 1385.

Sábado 10 de diciembre de 2016

1045 Zarpada de Trelew
2000 En San Julián, Hotel Costanera.

Domingo 11 de diciembre de 2016

1030 Zarpada de San Julián.
1200-1215
1230-1530 En Comandante Piedrabuena, gestiones varias.
1630 En Puerto Santa Cruz, Hostería Municipal.
1700-1715 Encuentro con Néstor Errecalde, frente a la Prefectura Santa Cruz. Inspección somera de la lancha "Viento Sur".
1800-2000 Visita a "Granja Melena", en las cabañas donde se aloja el equipo de la lancha "Viento Sur".
Descargamos equipos a un depósito en las cabañas.

Lunes 12 de diciembre de 2016

0520-0835 PE y MG vuelan de Aeroparque a Río Gallegos, vuelo Aerolíneas Argentina 1850.
0750-0830 Viajando por tierra a Comandante Piedrabuena. HE y AMMJ
0830-0900 Esperando que abra el depósito de la Empresa de Transportes Cruz del Sur.
0900-0940 En el depósito de la Empresa de Transportes Cruz del Sur, cargando 500 kg equipos en la camioneta Ranger.
0940-1015 Regresando a Pto Santa Cruz, con el equipo en la camioneta.
1000-1300 PE y MG viajan en auto alquilado de Gallegos a Puerto Santa Cruz.
1015-1130 Reunión con el Topógrafo de la UTE Represas, GVB. Se habló la posibilidad de usar equipo RTK de UTE Represas a fin de medir durante el levantamiento batimétrico, la cota de la superficie del agua.
1230-1415-Reunión con el equipo de la Inspección. Se explicó en detalle el alcance de las tareas a realizar, los riesgos, las medidas de seguridad adoptadas. Se respondió a preguntas de diversa índole. Concurren a la reunión:
Ing. Guillermo Ravero, acompañado por un equipo de 8 personas más.
Ing^a en Recursos Naturales Edith Mayhuá, UTE Represas.
Lic. Andrea Barauna, UTE Represas.
Topógrafo Gonzalo Valdés, UTE Represas.
Lic. Horacio Ezcurra, ESSA.
Técnicos Pablo Ezcurra y Marcelo Gramaglia, a partir de las 1300. ESSA.
Ana María Moller Jensen, ESSA.

1600-1715 Visita a la Municipalidad de Puerto Santa Cruz, a fin de obtener un permiso para instalar la estación meteorológica DAVIS en el Aeropuerto. Reunión con el Intendente Sr. Néstor Fabián González, quien

llamó al Sr. Andrés Urbano, jefe de la estación meteorológica del aeropuerto. Acordamos ir al aeropuerto a las 1945, para intentar instalar el equipo.

1730-1930 Trabajando en Cabañas Don Melena, en preparación del equipo y de la lancha.

1950-2210 Instalando la estación meteorológica DAVIS en el Aeropuerto de Puerto Santa Cruz, al lado de la estación meteorológica del aeropuerto. Se levanta una torre de aluminio de 10,5 m de altura, con riostras de cable de acero y tensores de cabo de dacron. Colabora en la maniobra el Sr. Luis Castro, Observador Meteorológico y ayudante del Sr. Andrés Urbano. Queda instalada en la siguiente posición geográfica:

Nº WAYPOINT	LATITUD WGS84	LONGITUD WGS 84
372	50° 01.313' (S)	068° 34.741' (W)

2200 Se comprueba que la estación meteorológica funciona bien, y graba los datos correctamente en su memoria.

2210-2230 Regresamos a Puerto Santa Cruz, Hostería Municipal. Fin trabajo del día.

Martes 13 de diciembre de 2016

0800-1400 Se trabaja en la lancha y en el equipo. Se arma la maniobra de fondeo de equipos ADCP AWAC y OBS 3A. Se prepara el molinete correntómetro OTT C31, para trabajar en aforos de caudal. Se setean los equipos a fondear, y se ponen en marcha. Se instalan en sus implantes o "landers".

1530-1630 Se continua con la tareas anteriores, se calibra los equipos AWAC en dirección, se levanta automáticamente una planilla de desvíos para el compás magnético.

1630-1830 MG y PE van a Piedrabuena a averiguar acerca de sitios seguros para lanzar y recuperar del agua a la lancha "Viento Sur".

Miércoles 14 de diciembre de 2016

0800-0900 Reunión con el equipo a cargo de la lancha, incluyendo a su patrón. Se discutió la incidencia de la marea en la maniobra de lanzamiento al agua y posterior recuperación de la lancha.

Se realizó la reunión de seguridad prevista en nuestro Plan de Seguridad, en el salón de la Hostería Municipal de Puerto. Santa Cruz, con el personal involucrado en las operaciones de la lancha. El objeto de esta reunión fue el siguiente:

1. Explicar en detalle las tareas a desarrollar.
2. Explicar los riesgos involucrados en esas tareas.
3. Revisar las normas de seguridad a cumplir a fin de minimizar esos riesgos.

Durante la reunión se explicó el objeto del trabajo, que es un estudio oceanográfico con instrumentos diversos, algunos a ser fondeados y un muestreo de suelos y agua, a fin de contribuir con estos datos al ajuste de un modelo numérico del Estuario del Río Santa Cruz.

Se describió el trabajo a realizar, los cuidados a tener, los riesgos para la seguridad y las medidas a tomar.

Se alentó a todos los participantes del trabajo, tanto de la dotación del buque como del equipo técnico embarcado, a trabajar en cooperación y opinar abiertamente sobre los temas relacionados con la seguridad.

0915-1100 Se prepara la lancha y el equipo para zarpar.

1115 Zarpa la lancha "Viento Sur", con el siguiente personal a bordo:

Patrón local / baqueano

Mauro D'Andrea, Patrón de Pesca, Matr 144691.

Tripulante / maquinista	Técnico Leonardo Juanto
Personal Técnico Científico	Técnico Pablo Ezcurra, ESSA Técnico Marcelo Gramaglia, ESSA

1305 Se fondea el equipo ADCP AWAC de 600 kHz, junto con un turbidímetro OBS 3A N° 345, en el Punto Estuario, en las siguientes coordenadas:

-SITIO ESTUARIO- FONDEO: 14 dic 2016 1305 horas	PUNTO	LATITUD WGS 84	LONGITUD WGS 84
	EQUIPOS	49° 58.576' (s)	068° 31.323' (w)
	RECUPERACIÓN	49° 58.584' (s)	068° 31.317' (w)
	MUERTO	49° 58.589' (s)	068° 31.313' (w)

1507 Se fondea el equipo ADCP AWAC de 400 kHz, junto con un turbidímetro OBS 3A N° 776, en el Punto Mar, fuera del Estuario, en las siguientes coordenadas:

-SITIO MAR- FONDEO: 14 dic 2016 1507 horas	PUNTO	LATITUD WGS 84	LONGITUD WGS 84
	EQUIPOS	50° 10.559' (s)	068° 12.709' (w)
	RECUPERACIÓN	50° 10.565' (s)	068° 12.706' (w)
	MUERTO	50° 10.572' (s)	068° 12.702' (w)

1530-1600 Reunión en la Hostería Municipal entre HE y el Topógrafo GVB.

1710 Regresa a la costa la lancha "Viento Sur", luego de haber fondeado exitosamente ambas estaciones de medición de corrientes, mareas, turbidez, temperatura, y salinidad.

1730-1830 Maniobra de sacada del agua de la lancha "Viento Sur", con media marea bajando.

1800-2000 se prepara el equipo para las tareas de mañana.

Jueves 15 de diciembre de 2016

Por la mañana preparación del trabajo del día.

1315-1400 HE y AMMJ se reúnen en Piedrabuena con personal de la Inspección (Ing. H. Ramírez, Ing. A. Sabattini, e Ing. Gabriel Tallo) y con el Topógrafo GVB. Se discute la incidencia de la marea en la tarea de aforo de caudal en el Río Chico, Puente Ruta 3.

1410-1440 Se calcula, en obrador, en base al estudio de Propagación de la Onda de Marea, el horario seguro para evitar la influencia de marea en Río chico y Ruta 3. Se concluye que debe ser para hoy luego de las 1800, y hasta las 2200.

1440-1715 Recorrimos la costa, margen izquierda, del Río Santa Cruz, en proximidades del Puente Viejo de la Ex Ruta 3, junto con GVB, a fin de seleccionar un lugar seguro y adecuado para realizar el aforo de este río los próximos días.

1800-2035 Trabajando en el Puente del Río Chico Ruta 3, con la colaboración de GVB. Se preparó el equipo, y se los probó.

Se determinó la geometría del puente y se definieron y marcaron los puntos donde medir perfiles verticales de velocidad. Se midió la distancia vertical de un punto marcado con pintura y el nivel del agua. Se midieron velocidades en 12 perfiles verticales y se definieron 4 bordes con velocidad cero. Hay un banco aflorante en el centro del río. Se tomó una muestra a media agua en la parte más profunda del río, que era de 95 cm, usando una botella Niskin de cierre comandado desde la superficie.

1915-2035 Aforo de caudal Río Chico, mediciones con correntómetro OTT C 31.

2040 Se mide la distancia H de la superficie del agua a una marca hecha con pintura roja en una columna de la baranda del Puente Ruta 3. Lado aguas abajo, cerca de Margen Izquierda. H = 11.55 m.

2050 Muestra de agua.

2135 De regreso en Pto. Santa Cruz.

A bordo de la lancha “Viento Sur”

1155 Zarpada, con el mismo personal que ayer:

Patrón local / baqueano	Mauro D’Andrea, Patrón de Pesca, Matr 144691.
Tripulante / maquinista	Técnico Leonardo Juanto
Personal Técnico Científico	Técnico Pablo Ezcurra, ESSA Técnico Marcelo Gramaglia, ESSA

1258 En sitio muestra fondo S 06, WP 381, Prof 7.1 m. Dos lances con Draga VV. Muestra: Arena media, castaño, con cantos rodados $D_{50} = 50$ mm en promedio.

1344 En sitio muestra fondo S 05, WP 382, Prof 17.0 m. Tres lances con Draga VV. Muestra: Arena media a fina, castaño, muy poca cantidad, debido a las condiciones de corriente muy fuerte.

1404 En sitio muestra fondo S 04, WP 383, Prof 10.0 m. Tres lances con Draga VV. Muestra: Arena fina, castaño. Poca cantidad, debido a las condiciones de corriente muy fuerte. Se decide comenzar a medir corrientes en transectas.

1430-1500 En Transecta 1-4. Prof 7.9 m. Se intenta fondear con ancla Bruce y cadena pesada de 11 mm de diámetro. Corriente de 6 nudos. El ancla no agarra, a pesar de los varios intentos.

1520-1545 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 1-2. WP 384. Sondaje = 5.8 m. Fondeados, el ancla agarró bien. Se fondeó con dos anclas engalgadas, más un peso muerto de plomo de 25 kg, y cadena pesada de 11 mm de diámetro. Corriente estimada de 3 nudos. Buenos datos.

1550 El viento aumenta a 27 nudos. Se decide esperar que disminuya, fondeados en poca profundidad.

1550-17300 Condiciones de viento muy cambiantes, con momentos de viento fuerte, y recalmones. Se espera que mejore. Finalmente se decide regresar a Pto. Santa Cruz.

1800. En la costa, se saca la lancha del agua.

Viernes 16 de diciembre de 2016

Hoy soplaron, tal como había sido pronosticado, vientos muy fuertes, de más de 35 nudos, con visibilidad fuertemente restringida por transporte de polvo en la atmósfera, por el fuerte viento, por lo cual se debió permanecer en Stand-By todo el día, sin poder operar.

Se procesaron datos, se trabajó en informes y en preparar el trabajo de los días próximos.

Sábado 17 de diciembre de 2016

0940-1030 Maniobra de botado de la lancha en playa de Pto Santa Cruz.

1030 Viento 17 k/310°

1030 Embarcan en la Lancha “Viento Sur”:

Patrón local / baqueano	Mauro D’Andrea, Patrón de Pesca, Matr 144691.
Tripulante / maquinista	Técnico Leonardo Juanto
Personal Técnico Científico	Lic. Horacio Ezcurra, ESSA Técnico Pablo Ezcurra, ESSA



1030-1105 Navegando a TR 2-4

1105-1140 Ensayamos fondear una boya liviana con 100 m de hilo de nylon monofilamento de 2 mm. No se puede sostener en la corriente, la boya desaparece de a ratos y el conjunto garrea.

Se decide medir con posicionamiento dinámico, usando GPS. Se ensaya la maniobra, con éxito.

1140-1150 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 2-4. WP 387. Sondaje = 9.2 m. Posicionamiento dinámico.

1203-1207 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 2-3. WP 388. Sondaje = 11.0 m. Posicionamiento dinámico.

1217-1221 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 2-2. WP 389. Sondaje = 5.3 m. Posicionamiento dinámico.

1235-1240 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 2-1. WP 390. Sondaje = 4.9 m. Fondeados.

1300 En sitio muestra fondo S 05, WP 391. Tres lances con Draga Van Veen. Muestra: Arena media, castaño, con cantos rodados $D_{50} = 30$ mm en promedio. El Coring no saca muestra.

1327 En sitio muestra fondo S 04, WP 391. Tres lances con Draga Van Veen. Muestra: Arena fina, castaño, pura. El Coring no saca muestra.

1344 En sitio muestra fondo S 03, WP 392. Tres lances con Draga Van Veen. Muestra: Arena fina, castaño oscuro, pura. Sondaje = 13.9 m. El Coring no saca muestra.

1405 En sitio muestra fondo S 02, WP 393. Tres lances con Draga Van Veen. Muestra: arena fina, castaño oscura, con cantos rodados $D_{50} = 30$ mm en promedio. Sondaje = 11.0 m. El Coring no saca muestra.

1430 En sitio muestra fondo S 01, WP 394. Cinco lances con Draga Van Veen. Muestra: Arena fina, castaño oscura, con cantos rodados $D_{50} = 15$ mm en promedio. Sondaje = 9.0 m. El Coring no saca muestra.

Decidimos corrernos un poco, imposible recuperar muestra por cantos rodados dominantes.

1441 En sitio muestra fondo, repetimos S 01, WP 395. Cuatro lances con Draga Van Veen. Muestra: Cantos rodados $D_{50} = 30$ mm en promedio. Sondaje = 7.7 m.

1535-1540 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 1-1. WP 396. Sondaje = 3.5 m. Posicionamiento dinámico.

1555-1605 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 1-2. WP 397. Sondaje = 9.0 m. Posicionamiento dinámico. Este fue el tercer intento en este punto, es válido. Descartar los anteriores.

1625-1630 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 1-3. WP 398. Sondaje = 8.0 m. Posicionamiento dinámico.

1643-1648 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 1-4. WP 399. Sondaje = 10.0 m. Posicionamiento dinámico.

1710 Desembarcamos a Mauro D'Andrea, que tienen un compromiso familiar.

1715-1743 Navegamos al perfil TR 3. Por recomendación del Piloto Mauro D'Andrea, reubicamos este perfil algo más hacia afuera del Estuario, aguas debajo de la Isla Leones, debido a que es peligroso navegar entra la isla y la margen derecha durante la bajante.

1743-1750 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 3-5, WP 400. Sondaje = 11.9 m. Posicionamiento dinámico.

1757-1801 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 3-4, WP 401. Sondaje = 7.3 m. Posicionamiento dinámico.

1809-1813 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 3-3, WP 402. Sondaje = 11.2 m. Posicionamiento dinámico.

1820-1826 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 3-2, WP 403. Sondaje = 17.7 m. Posicionamiento dinámico.

1833-1838 Midiendo perfiles verticales de corrientes con ADCP 1000 kHz, en TR 3-1, WP 404. Sondaje = 8.6 m. Posicionamiento dinámico.

1853 En sitio muestra fondo S 08, WP 405. Cuatro lances con Draga Van Veen. Muestra: Cantos rodados muy mal clasificados. Sondaje = 6.5 m. El Coring no saca muestra.

1853-1907 En sitio muestra fondo S 08, WP 407. Ocho lances con Draga Van Veen. Muestra: Cantos rodados muy mal clasificados, con incrustaciones de Crustáceos Balanus, con caparazón calcáreo. Sondaje = 9.0 m. El Coring no saca muestra.

1915 En sitio muestra fondo S 07, WP 408. Seis lances con Draga Van Veen. Muestra: Cantos rodados muy mal clasificados, con incrustaciones de Crustáceos Balanus, con caparazón calcáreo. Sondaje = 8.0 m. El Coring no saca muestra.

1935-2040 Maniobra de sacada de la lancha en playa de Pto. Santa Cruz. Muy complicado...hay barro blando bajo los cantos rodados, el tráiler se entierra.

Domingo 18 de diciembre de 2016

Por la mañana se decide quedar en stand-by, viento mayor que 25 nudos.

PE trabaja manteniendo y preparando el equipamiento. MG con fiebre todo el día, sin servicio.

1200-1600 HE y AMMJ viajan a Piedrabuena a obtener acceso por un campo privado al Ex Frigorífico Armour. Se investiga las posibilidades, y finalmente se consigue hablar con el encargado del campo.

El resto de la tarde en Pto Santa Cruz, tareas varias.

1900-2030 HE y AMMJ viajan a Piedrabuena a obtener la llave de acceso de la tranquera del camino interior al Ex Frigorífico Armour. Reciben la llave del encargado Sr. Rodrigo Suarez, tel 0296615449399, y de su hermano, Sebastián Suarez, tel. 02966528584.

2130-2300 Cena con tripulación de la lancha.

Lunes 19 de diciembre de 2016

0730 El pronóstico empeora, da 28 nudos para hoy.

0830 MG sigue enfermo, con decaimiento y dolores varios.

1000 Al intentar bajar la lancha en la playa de Pto Santa Cruz, la misma se desliza del tráiler y cae sobre el canto rodado, con daños menores en el casco.

Debido al fuerte viento y la situación de la lancha, se decide quedar en stand-by por el resto del día, y realizar el aforo del Río Santa Cruz en el antiguo puente de la ex Ruta 3.

1030 MG tuvo un desvanecimiento. Decidimos llevarlo al hospital inmediatamente. Tiene un diagnóstico normal, con indicación de reposos y medicamentos específicos.

1325-1400 HE, PE y AMMJ viajan a Piedrabuena, luego de coordinar el uso de la lancha, para realizar el aforo de caudal del Río Santa Cruz.

1400-1440 Preparando el trabajo de aforo y el equipo en la lancha semirrígida "Pampa 48", provista por el Sr. Leandro Ulrich, a cargo de UTE Represas.

1030 Embarcan en la Lancha "Pampa 48":

Patrón local / baqueano	Leandro Ulrich, Patrón local.
Personal Técnico Científico	Lic. Horacio Ezcurra, ESSA Técnico Pablo Ezcurra, ESSA

1440-1503 Navegando hacia el Puente viejo Ex Ruta 3.

1503-1758 Se trabaja en realizar el aforo de caudal del Río Santa Cruz en el antiguo puente de la ex Ruta 3.

1530-1647 Aforo de caudal.

1758-1820 Navegando de regreso a Piedrabuena.

1850-1930 Regresando a Puerto Santa Cruz.



Martes 20 de diciembre de 2016

0515-0625 Botando la lancha en la playa de Puerto Santa Cruz.

0625 Embarcan en la Lancha "Viento Sur":

Patrón local / baqueano	Mauro D'Andrea, Patrón de Pesca, Matr 144691.
Tripulante / maquinista	Técnico Leonardo Juanto
Personal Técnico Científico	Lic. Horacio Ezcurra, ESSA Técnico Pablo Ezcurra, ESSA

0625 Zarpada con la lancha "Viento Sur", luego de botarla en la playa de Pto Santa Cruz.

0625 Viento 5 k / 090°.

0658 En sitio muestra fondo S 09, WP 430. tres lances con Draga Van Veen. Muestra: Cantos rodados D50 = 35 mm. El Coring no saca muestra.

0720 En sitio muestra fondo S 10, WP 431. Cuatro lances con Draga Van Veen. Muestra: Arena fina castaño, con 1 valva de molusco 20 mm, y 1 esponja 30 mm. El Coring no saca muestra.

0725 Viento 12 k / 180°.

0740 Muestra agua botella Niskin en sitio equipos Estación Mar ADCP-OBS 3A, a 0,5 m del fondo.

0800-0840 Rastreo, enganche y recuperación de equipos en Estación Mar ADCP-OBS 3A, en posición prevista.

0840 Equipos a bordo. ADCP AWAC 400 kHz, y OBS-3A N° 776.

1000 En la playa Puerto Santa Cruz, buscando más equipo para maniobras. Continuamos con trabajo de recuperación de equipos. Vamos a Sitio Estuario.

1020 Viento 15 k / 270°.

1022 Muestra agua botella Niskin en sitio equipos Estación Estuario ADCP-OBS 3A, a 0,5 m del fondo.

1022-1050 Esperando la estoa de la corriente.

1050-1145 Rastreo, enganche y recuperación de equipos en Estación Estuario ADCP-OBS 3A, en posición prevista.

1145 Equipos a bordo. ADCP AWAC 600 kHz, y OBS-3A N° 345. Tanto la estructura de implante como los equipos en sí, presentan señales de daños por haber sido arrastrados sobre el fondo rocoso, y haberse invertido, y golpeado contra rocas, todo el conjunto. No se perdió ningún equipo. El implante y el muerto de plomo de la línea de recuperación presentan señales de haber estado próximos, por arrastre en el fondo. El conector entre el equipo y el pack de baterías presenta signos de estar dañado y haber perdido estanqueidad.

1210 Desembarco en la Playa de Pto Santa Cruz.

1640- 2010 Viaje al Ex Frigorífico Armour a inspeccionar la escala de mareas instalada por la Inspección en el Muelle Antiguo. Viajan HE y AMMJ.

1715-1810 Viajando de Piedrabuena al Ex Frigorífico.

1810-1847 Trabajando en el Ex Frigorífico. Se inspeccionó el lugar, la regla y se tomó una medición de marea con nivel y regla.

1831 Altura de marea = 4.62 m referida a la Escala N° 1 de la Inspección.

1847-2010 Regresando a Pto Santa Cruz.

Miércoles 21 de diciembre de 2016

0715-0800 traslado de la lancha "Viento Sur" de Pto Santa Cruz a Piedrabuena.

0800-0840 Maniobra de botado de la lancha "Viento Sur" en la playa de Piedrabuena, cerca de la Terminal

0840 Zarpada de la lancha "Viento Sur", para realizar batimetrías, con el siguiente personal:

Patrón local / baqueano	Mauro D'Andrea, Patrón de Pesca, Matr 144691.
Tripulante / maquinista	Técnico Leonardo Juanto
Personal Técnico Científico	Técnico Pablo Ezcurra, ESSA Técnico Marcelo Gramaglia, ESSA

0930-1800 HE y AMMJ miden mareas en la Escala N° 1 del antiguo Muelle del Ex Frigorífico, cada media hora, con nivel óptico y regla.

0930-1745 Se levantan 48 km aproximadamente de perfiles batimétricos expeditivos.

1820 La lancha navega hacia la playa de Puerto Santa Cruz, debido al fuerte viento de más de 27 nudos hace complicado el regreso con viento de proa a Piedrabuena.

182-1900 Se saca la lancha del agua, en situación de marea alta.

Jueves 22 de diciembre de 2016

Todo el día en stand-by por vientos muy fuertes, pronosticados ayer y confirmados por la mañana a las Se usó el día para discutir asuntos técnicos con la oficina de ESSA, para preparar el equipo para el trabajo de mañana, y para procesar datos y escribir informes.

Viernes 23 de diciembre de 2016

0900 Zarpada con la lancha "Viento Sur", desde la playa de Piedrabuena, Calle José Menéndez, cerca de la Terminal de Ómnibus, con el siguiente personal:

Patrón local / baqueano	Mauro D'Andrea, Patrón de Pesca, Matr 144691.
Tripulante / maquinista	Técnico Leonardo Juanto
Personal Técnico Científico	Lic. Horacio Ezcurra, ESSA Técnico Pablo Ezcurra, ESSA Técnico Marcelo Gramaglia, ESSA

1013-1017	Medición perfil corrientes AWAC 01	WP 441-442	S=3.5 m	Posicionamiento dinámico
1037	En Estación CTDTu 01	WP 436	S=2.6 m	
1047	Muestra agua, botella Niskin en 02	WP 443		
1048	En Estación CTDTu 02	WP 443	S=2.7 m	
1055-1059	Medición perfil corrientes AWAC 02	WP 444-445	S=2.9 m	Posicionamiento dinámico
1118	En Estación CTDTu 03	WP 446	S=2.5 m	
1123-1127	Medición perfil corrientes AWAC 03	WP 447-448	S=3.8 m	Posicionamiento dinámico
1143	Muestra agua, botella Niskin en 04	WP 449		
1145	En Estación CTDTu 04	WP 443	S=3.8 m	
1152-1156	Medición perfil corrientes AWAC 04	WP 451-452	S=3.8 m	Posicionamiento dinámico
1207	En Estación CTDTu 05	WP 453	S=2.6 m	
1210-1214	Medición perfil corrientes AWAC 05	WP 454-455	S=2.6 m	Posicionamiento dinámico
1224	Muestra agua, botella Niskin en 06	WP 456		
1226	En Estación CTDTu 06	WP 456	S=5.8 m	
1227-1231	Medición perfil corrientes AWAC 06	WP 457-458	S=5.4 m	Al garete
1241	En Estación CTDTu 07	WP 459	S=10.0 m	



1244-1248	Medición perfil corrientes AWAC 07	WP 460-461	S=9.7 m	Al garete
1300	Muestra agua, botella Niskin en 08	WP 462		
1303	En Estación CTDTu 08	WP 462	S=6.6 m	
1305-1309	Medición perfil corrientes AWAC 08	WP 463-464	S=6.9 m	Al garete

1333 a 1337 Se fondea por segunda vez, un equipo ADCP AWAC de 1000 kHz, junto con un turbidímetro OBS 3A, N° Serie 345, en el Punto Estuario, en las siguientes coordenadas:

LATITUD WGS 84	LONGITUD WGS 84	Sondaje lancha
49° 58.530' (s)	068° 32.169' (w)	3.00 m

1346	En Estación CTDTu 09	WP 467	S=8.6 m	
1350-1354	Medición perfil corrientes AWAC 09	WP 468-469	S=8.6 m	Al garete
1405-1409	Medición perfil corrientes AWAC 10	WP 470-471	S=10.0 m	Al garete
1410	En Estación CTDTu 10	WP 472	S=9.6 m	
1416	Muestra agua, botella Niskin en 10	WP 472		

1416-1530 Durante la estoa de la corriente. Esperando que se afirme la corriente de crecida.
 1530 Viento 5k/100°. Comienza a crecer francamente.

1531	En Estación CTDTu 10a	WP 473	S=11.0 m	
1535	Muestra agua, botella Niskin en 10a	WP 473		
1537-1541	Medición perfil corrientes AWAC 10a	WP 474-475	S=11.8 m	Al garete. Varias toninas cerca transductor AWAC.
1556	En Estación CTDTu 09a	WP 476	S=10.5 m	
1559-1603	Medición perfil corrientes AWAC 09a	WP 477-477a	S=10.5 m	Al garete.
1617	Muestra agua, botella Niskin en 8a	WP 478		
1619	En Estación CTDTu 8a	WP 478	S=9.0 m	
1621-1625	Medición perfil corrientes AWAC 08a	WP 479-480	S=8.0 m	Al garete.
1635-1639	Medición perfil corrientes AWAC 07a	WP 481-482	S=12.1 m	Al garete.
1643	En Estación CTDTu 07a	WP 483	S=10.7 m	
1651	En Estación CTDTu 06a	WP 484	S=7.6 m	
1652	Muestra agua, botella Niskin en 06a	WP 484		
1654-1658	Medición perfil corrientes AWAC 06a	WP 485-486	S=7.9 m	Al garete.
1708-1712	Medición perfil corrientes AWAC 05a	WP 487-488	S=5.7 m	Al garete.
1714	En Estación CTDTu 05a	WP 489	S=5.9 m	
1724	En Estación CTDTu 04a	WP 490	S=5.5 m	
1725	Muestra agua, botella Niskin en 04a	WP 490		
1727-1731	Medición perfil corrientes AWAC 04a	WP 491-492	S=5.5 m	Al garete. Baja muy suave
1743-1747	Medición perfil corrientes AWAC 03a	WP 493-494	S=3.6 m	Al garete. Baja fuerte
1750	En Estación CTDTu 03a	WP 495	S=3.8 m	
1805	En Estación CTDTu 02a	WP 496	S=3.0 m	
1807	Muestra agua, botella Niskin en 02a	WP 496		
1812-1816	Medición perfil corrientes AWAC 02a	WP 497-498	S=2.9 m	Posicionamiento dinámico
1828-1832	Medición perfil corrientes AWAC 01a	WP 499-500	S=3.5 m	Posicionamiento dinámico
1835	En Estación CTDTu 01a	WP 501	S=3.8 m	

1840-1910 Finalizado el trabajo del día, vamos a la playa en Calle José Menéndez, Piedrabuena.

1910-1925 Maniobra de sacada de la lancha del agua.
1925-2000 Viajando a Puerto Santa Cruz por tierra.

Sábado 24 de diciembre de 2016

Hoy se trabajó en logística, en embalar el equipo que ya no usaremos, en preparar la lancha "Viento Sur" para la recuperación de la Estación Estuario 2 mañana, y en entregar equipos al Transporte Cruz del Sur.

1200 En Piedrabuena, HE y AMMJ. Se devuelve la llave de acceso al Ex Frigorífico Armour, donde medimos mareas.

1130 Se entrega equipo en el Transporte Cruz del Sur.

1400-1730 Por la tarde se instala a bordo el malacate con motor de 5 HP para recuperar equipos fondeados, y se alista el equipo batimétrico. Se trabaja con datos.

Domingo 25 de diciembre de 2016

1000 Zarpada con la lancha "Viento Sur", desde la playa y rampa de Puerto Santa Cruz, Calle Juan Williams y Avda. Piedrabuena, con el siguiente personal:

Patrón local / baqueano	Mauro D'Andrea, Patrón de Pesca, Matr 144691.
Tripulante / maquinista	Técnico Leonardo Juanto
Personal Técnico Científico	Lic. Horacio Ezcurra, ESSA Técnico Pablo Ezcurra, ESSA Técnico Marcelo Gramaglia, ESSA Ana María Moller Jensen, Fotos documentales

1040-1054 Línea Batimétrica 01, hacia margen izquierda.

1054-1110 Se registra en el traslado, navegando aguas arriba.

1110-1123 Línea Batimétrica 02, hacia margen derecha.

1123 Viento: 17k/160°

1123-1148 Se registra en el traslado, navegando aguas arriba.

1148-1155 Línea Batimétrica 03, hacia margen izquierda.

1155-1213 Se registra en el traslado, navegando aguas arriba.

1213-1220 Línea Batimétrica 04, hacia el Río Chico.

1330-1345 Rastreo, enganche y recuperación de equipos en Estación Estuario ADCP AWAC 1000 kHz, y OBS 3A N° serie 345, en posición prevista.

1345 Equipos a bordo. ADCP AWAC 1000 kHz, y OBS-3A N° 345. Los equipos están en perfecto estado, y una verificación rápida permite constatar que los datos fueron registrados correctamente.

1415 HE desembarca en la playa y rampa de Puerto Santa Cruz, Calle Juan Williams y Avda. Piedrabuena, a fin de llevar nuestro vehículo a Piedrabuena para trasladar equipo y personal de regreso a Puerto Santa Cruz.

1730 Desembarcan PE, MG, y AMMJ en la playa de Piedrabuena, calle José Menéndez.

1730-1810 Viajando al Aeropuerto de Pto. Santa Cruz.

1815-2000 Desarmando y embalando la estación meteorológica Davis, y su torre de aluminio.

2030 En Hostería Pinky, Santa Cruz.

Lunes 26 de diciembre de 2016

Por la mañana, se embala y acondiciona el equipo, y se prepara la documentación agregada a la entrega de muestras.

1300-1415 Almuerzo de despedida en Piedrabuena, HE, AMMJ, MG y PE.

1425 MG y PE zarpan hacia Río Gallegos para devolver auto alquilado y tomar avión de regreso a Buenos Aires.
 1445-1540 Entrega de muestras en el Obrador Piedrabuena de la UTE represas. Recibe el Sr. Luis Manuel Rodríguez, Celular 011 15 3813 8931. Se confecciona y se entrega la planilla de "Cadena de Custodia". Se coordina el acceso al obrador de la Presa JC, a fin de tomar una muestra de agua en el eje.

1730 MG y PE devuelven auto alquilado en Río Gallegos.

1830-2100 HE y AMMJ trabajan en la construcción de un dispositivo, o "drone", para tomar la muestra de agua en la presa JC, dado que no tendremos un bote disponible.

1930-2230 Pe y MG regresan a Buenos Aires en el vuelo regular de Aerolíneas Argentinas, desde Río Gallegos.

Martes 27 de diciembre de 2016

En el día de hoy se condujo el muestreo de agua en el nacimiento del Río Santa Cruz, y en el mismo río, en el eje de la Presa JC.

0825-1050 Viajando por tierra al obrador de la Presa JC, ubicado en Ika Margen Derecha del Río Santa Cruz.
 1050-1125 Nos acompaña un vehículo de la guardia del obrador, hasta la ubicación del eje de la futura presa JC.

1125-1150 Preparando la maniobra del "drone" para muestreo de aguas, la botella Niskin, y pruebas del conjunto.

1150-1215 Operación del "drone". Se soltó la botella Niskin, la cual se hundió hasta aproximadamente 1,5 m de profundidad, y se cerró automáticamente. Se recupera y envasa la muestra.

Posición de la muestra:

Latitud WGS84	Longitud WGS 84
50° 11.181' (S)	070° 07.245' (W)

1220 Altura hidrométrica del río, en la regla ubicada en la margen derecha: 2,23 m.

1310 Salida a Ruta 9. Se viaja hacia el Puente de la Ruta 40 sobre el Río Santa Cruz.

1550 Arribo al Puente de Ruta 40.

1615 Se toma muestra de agua en la parte de mayor velocidad de la sección, con botella Niskin de cierre comandado, a una profundidad de 1,5 m bajo la superficie, en la siguiente posición:

Latitud WGS84	Longitud WGS 84
50° 16.065' (S)	071° 53.143' (W)

1800 En El Calafate, Hotel Kanenke. Noche, descanso.

Miércoles 28 de diciembre de 2016

0920-1300 Viajando de El Calafate a Río Gallegos, por tierra.

1300-1430 Almuerzo en Río Gallegos.

1445-1540 Visita al Jefe de la Zona Naval Río Gallegos, Capitán De Navío Martín Laborda Molteni. Se conversó sobre temas relacionados con el uso de barcos en futuras operaciones en la zona.

1550-1900 Regresando a Puerto Santa Cruz.

1900-2030 Se carga todo el equipo electrónico e instrumentos delicados y se lo estiba en la caja de la camioneta Ford Ranger GVD181, para el regreso a Buenos Aires. Luego se zarpa hacia Piedrabuena.



2100 En Hostería El Álamo, Piedrabuena.

Jueves 29 de diciembre de 2016

0910 Entrega de dos muestras adicionales, tomadas ayer, de agua en el Río Santa Cruz. Una en su nacimiento, tomada en el Puente del cruce de la Ruta 40, y otra tomada Represas. Se entrega la documentación y la Planilla de "Cadena de Custodia", al Sr. Luis Manuel Rodríguez, en el obrador Piedrabuena de la UTE Represas..

1000-1800 Viajando por tierra, de regreso a Buenos Aires, HE y AMMJ, en Camioneta Ford Ranger GVD181, de Piedrabuena a Comodoro Rivadavia. Alojamiento Hotel Austral.

Viernes 30 de diciembre de 2016

0830-2115 Viajando por tierra, de regreso a Buenos Aires, HE y AMMJ, en Camioneta Ford Ranger GVD181, de Comodoro Rivadavia a Médanos. Alojamiento Hotel Don Alfredo.

Sábado 31 de diciembre de 2016

0828-1930 Viajando por tierra, de regreso a Buenos Aires, HE y AMMJ, en Camioneta Ford Ranger GVD181, de Médanos a la Ciudad de Buenos Aires. Fin de las operaciones de campo.

NOTAS Y ABREVIATURAS:

AWAC (Acoustic Wave And Current Profiler): Equipo acústico basado en el principio ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), que mide el perfil de corrientes en un sitio, del fondo a la superficie, usando el efecto doppler.

El AWAC de Nortek es tanto un perfilador de corrientes como un medidor de oleaje direccional. Puede medir las velocidades y direcciones de las corrientes en capas de 1 m desde el fondo hasta la superficie. Puede medir también olas de todo tipo, incluyendo ondas largas, temporales, olas de viento e incluso estelas de barcos que pasen por encima del instrumento.

El AWAC fue diseñado como un equipo para mediciones costeras. Es pequeño, robusto y adecuado para fondeos a largo plazo en ambientes hostiles. El equipo está fabricado en plástico y titanio para evitar corrosiones. Usamos tres equipos diferentes, con frecuencias acústicas de 1 MHz, 600 kHz y 400 kHz, lo que permite medir en tres rangos de profundidad.

Normalmente se fondea en una estructura estable junto al fondo, o implante, o "lander", alejado de las complicadas condiciones superficiales en cuanto a clima, paso de barcos o actos vandálicos. Puede ser usado en modo on-line o en autocontenido. Fue usado en este proyecto exclusivamente en modo autocontenido, con alimentación en base a baterías, y almacenamiento de datos en memoria interna. Este equipo no requiere calibración.

CTDTu: Mediciones verticales de Salinidad, Temperatura y Turbidez en función de la profundidad, con equipo Campbell Scientific OBS 3A, que mide Conductividad (salinidad), Temperatura, Profundidad (como presión hidrostática), y Turbidez Nefelométrica, (en unidades NTU). Este equipo puede permanecer en un punto, medir datos a intervalos regulares (por ejemplo cada 10 minutos), y almacenarlos en memoria interna. También puede perfilar datos en tiempo real, conectado con un cable a una computadora portátil, donde se almacenan los datos. Estos equipos fueron contrastados antes de comenzar las operaciones, y se definió una ecuación de calibración.

ESSA: Ezcurra y Schmidt S.A.

Horas: Corresponden a la hora oficial de Argentina vigente, huso +3.

Olas: Se expresan como altura significativa (H_3) en decímetros. A menos que se aclare, se refiere a Olas de Viento (“sea”), y no a Mar del Fondo (“swell”), y las direcciones coinciden aproximadamente con las del viento.

H_3 : Altura significativa de las olas. Es el promedio de la amplitud entre seno y cresta, del tercio de mayor amplitud de todas las olas presentes en ese momento en el sitio.

Sea: Olas de viento, generadas en la zona de observación.

Swell: Olas o mar de fondo, que llegan propagadas desde una zona de generación lejana.

Viento: Se expresa como velocidad en nudos [k], y dirección verdadera en grados [0°-360°]).

Direcciones: Se expresan en grados [0°-360°]). Son direcciones geográficas, verdaderas.

Distancias: Se expresan en millas náuticas (1 milla=1852 m, de acuerdo a la definición internacional universalmente aceptada hoy día, de la Organización Hidrográfica Internacional). También en metros.

Presa JC: Futura represa, en estado de proyecto, Jorge Cepernic, anteriormente llamada “La Barrancosa”.

Presa NK: Futura represa, en estado de proyecto, Néstor Kirchner, anteriormente llamada “Condor Cliff”.

UTE Represas: China Gezhouba Group Company Limited - Electroingeniería S.A. –Hidrocuvo S.A., Unión Transitoria De Empresas, Gobernador Gregores N° 936 de la Ciudad de El Calafate.

Personal de ESSA afectado a la presente campaña:

Abrev.	NOMBRE (orden alfabético)	CARGO	DNI	FECHA NACIM.
HE:	Lic. Ezcurra, Horacio	Oceanógrafo, jefe de operaciones.	7.663.039	14 ene 1949
PE:	Téc. Ezcurra, Pablo	Operador y técnico electro-mecánico.	16.938.235	14 abr 1964
MG:	Téc. Gramaglia, Marcelo	Operador y electrónico	23.073.671	18 nov 1972
AMMJ:	Moller Jensen, Ana María	Fotógrafa documental, ayte logística	13.498.307	11 oct 1959

Personal de UTE Represas involucrado en el proyecto, en el campo

EM: Ing^a en Recursos Naturales Edith Mayhuá.

AB: Lic. Andrea Barauna.

GVB: Topógrafo Gonzalo Valdés Bonich.

LMR: Sr. Luis Manuel Rodríguez, a cargo de recibir las muestras de agua y suelos.

Tripulación de la lancha “Viento Sur”

En el listado siguiente se incluye la Tripulación de la lancha, excluyendo el personal técnico científico que embarcó.

Patrón local / baqueano	Mauro D’Andrea, Patrón de Pesca, Matr 144691.
Tripulante / maquinista	Técnico Leonardo Juanto.

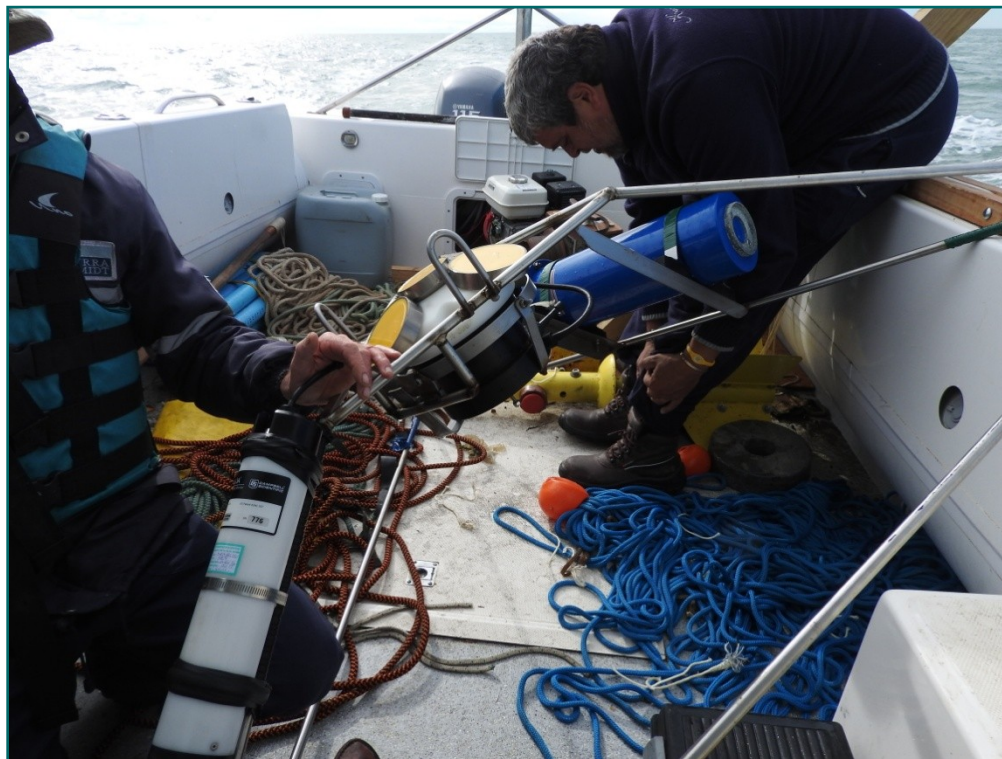
ANEXO 02, Fotografías documentales

Las fotografías documentales presentadas en este Anexo, complementan las imágenes mostradas en el texto principal del Informe de Campo. Se incluyen a fin de ilustrar el trabajo hecho, y el muy particular medio ambiente del Estuario del Río Santa Cruz.

El muelle comercial de Punta Quilla, en el Estuario Exterior



Preparando la estación fija "Mar", antes de su fondeo fuera del Estuario





Arriba - La extensa planicie intermareal al sur de Punta Reparo, Puerto Santa Cruz.

Izquierda - Tomando una muestra de agua con botella Niskin, luego de terminar el aforo de caudal en el Río Chico.

La Toma de Agua de Puerto Santa Cruz, ubicada sobre el Río Santa Cruz, a 10,8 km m aguas arriba de la Punta Beagle, confluencia de los ríos Santa Cruz y Chico, donde se encuentra el antiguo frigorífico abandonado Armour.



El muelle de madera abandonado en Punta Beagle, confluencia de los ríos Santa Cruz y Chico, donde se encuentra el antiguo frigorífico abandonado Armour.



La playa de cantos rodados frente a Puerto Santa Cruz, con una antigua barcaza que era usada para cargar los productos del viejo Frigorífico Armour.



Frente a Puerto Santa Cruz, dos masas de agua con diferente turbidez, cuya interfase es bien visible.



Recuperando la estación meteorológica Davis, y su torre de aluminio, en el aeropuerto de Puerto Santa Cruz.



Izquierda - La escala para medir mareas instalada por la Inspección de Obra en el antiguo muelle del Frigorífico Armour, hoy día abandonado.

Abaio - Llegando al antiguo Frigorífico Armour. abandonado.





Izquierda - El muelle del antiguo muelle del Frigorífico Armour, abandonado. Foto tomada desde la playa en marea baja.

Abajo - El antiguo Frigorífico Armour, abandonado. Foto tomada navegando, desde el estuario.



Izquierda - contrastando la sonda mediante el "ensayo de la barra", con un disco de acero arriado bajo el transductor a una profundidad conocida
Derecha - El malacate de 2000 kg de tiro estático, con motor de 5 HP.



Derecha - Un grupo de toninas overas, o delfines de Commerson (*Cephalorhynchus commersonii*) nadando cerca de la lancha. Las toninas overas nos acompañaron durante todo el trabajo en el estuario.

Secuencia de la recuperación de la estación oceanográfica fija "Estuario 2".

Foto 1 - Luego de producirse el enganche del grampín en la línea de recuperación



Foto 2 - Levantando la línea de recuperación con el malacate de motor. Se observa una boyita de flotabilidad, que mantiene la línea separada del fondo.



Foto 3 - El implante con los equipos sale del agua, levantado por el malacate. Rescate exitoso...!

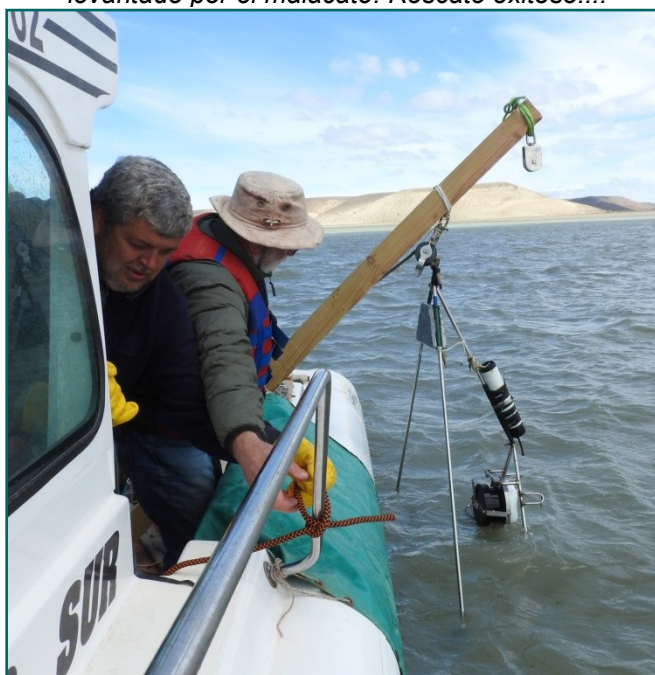


Foto 4 - Los valiosos equipos, con sus datos y su implante sobre cubierta. Restos de cachiyuyos visibles en la base.

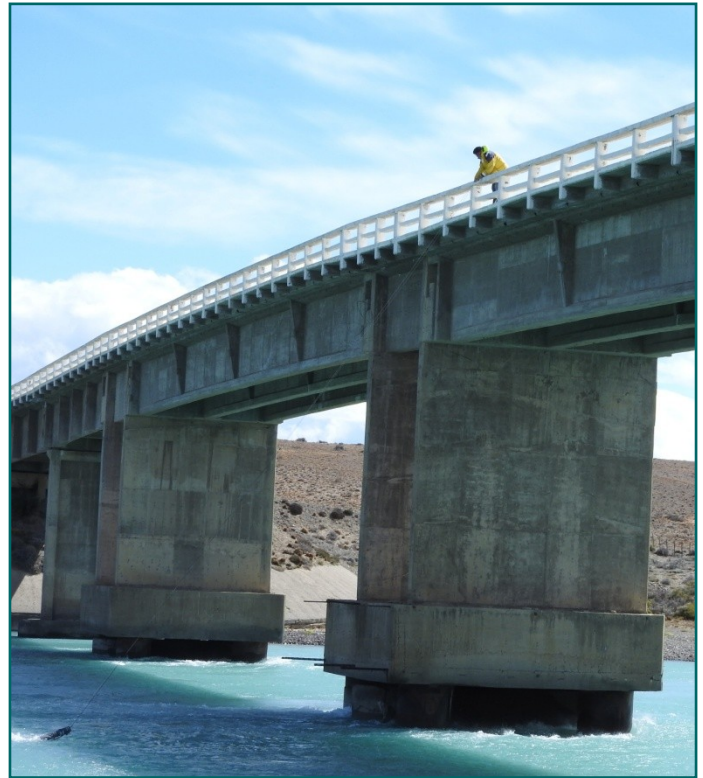


Sacando la lancha "Viento Sur" del agua en la playa detrás de la Terminal de Ómnibus de Comandante Piedrabuena



Izquierda: *Armando la botella Niskin sobre un "drone" improvisado, a fin de tomar una muestra de agua en el eje de la Presa JC, sin poder usar un bote.*

Derecha: *Tomando una muestra de agua cerca de la naciente del Río Santa Cruz, en el puente sobre la Ruta 40.*



El obrador en el sitio de la Presa JC, sobre el Río Santa Cruz.



ANEXO 03

Ejemplos gráficos de datos medidos

En el presente anexo, se brindan en forma preliminar, varios ejemplos de datos medidos en la presente campaña en el estuario. Los datos se presentan en forma gráfica, como series de tiempo o como perfiles verticales. Todos los datos presentados están respaldados por archivos informáticos de datos en forma digital.

Estaciones "Mar" y "Estuario"

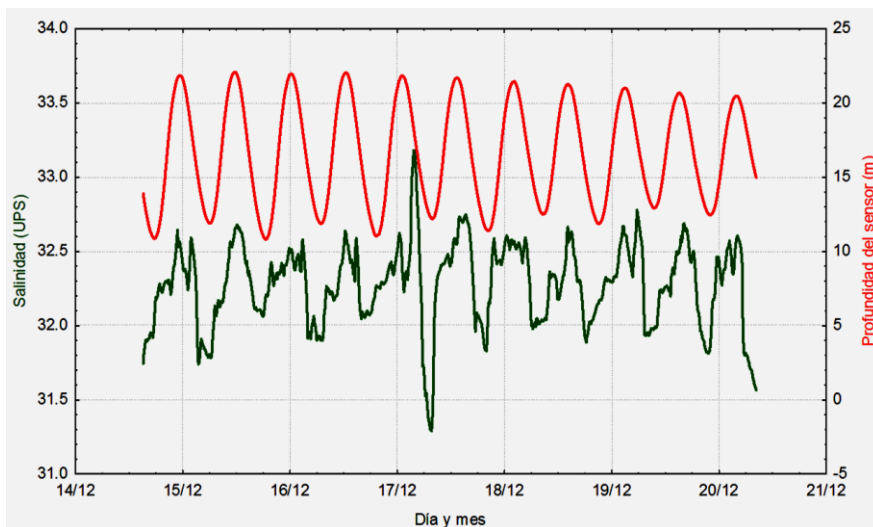
Se presentan los datos, tal como fueron medidos por los respectivos instrumentos, en forma de gráficos para su fácil visualización, con algunos comentarios.

Las salinidades, que fueron derivadas a partir de medidas de Conductividad, se dan en unidades "UPS", por su sigla, Unidades Prácticas de Salinidad, en castellano.

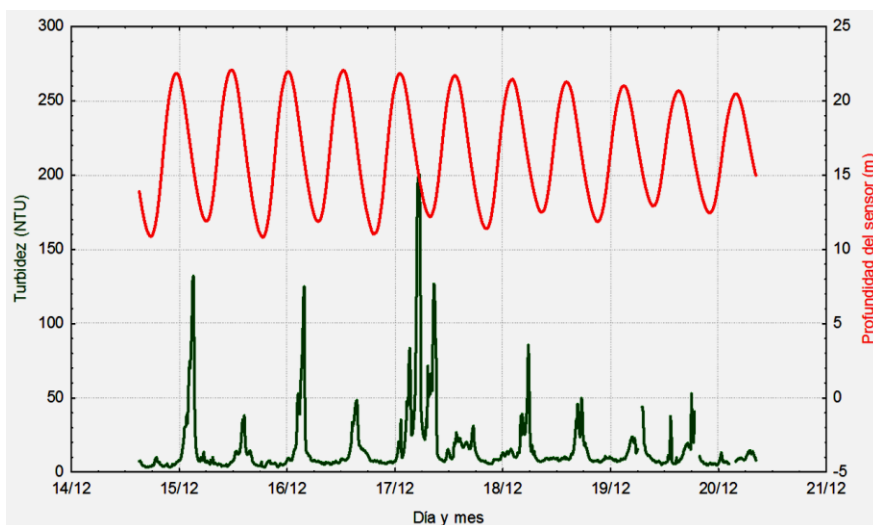
Las unidades UPS corresponden a la relación entre la conductividad de una muestra de agua de mar y la de una solución estándar de KCl (Cloruro de Potasio), formada por 32,4356 gramos de sal disuelta en 1 kg de solución a 15 °C.

Una magnitud de salinidad de 35 UPS es equivalente, en la práctica, a 35 gramos de sal por litro de solución.

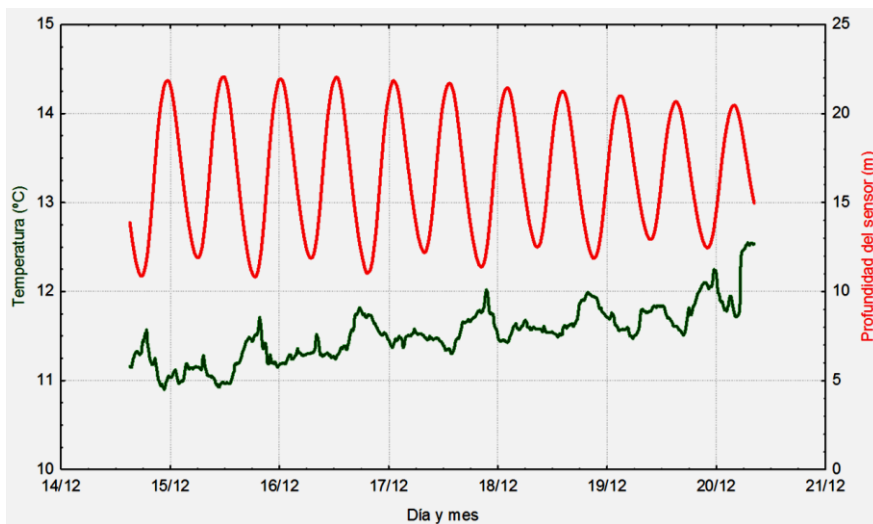
Estación Mar. Serie de tiempo de profundidad del sensor, turbidez, salinidad y temperatura



En la Estación "Mar", aún estando fuera del Estuario, se observa una variación de la salinidad, de poca amplitud (sólo unas pocas unidades UPS), en sincronismo con las pleamares y bajamares.

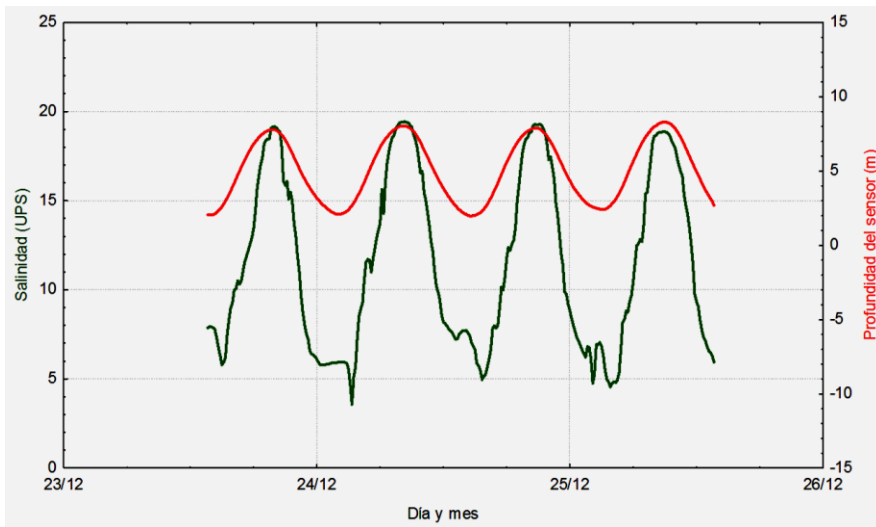


En la Estación "Mar", pudo observarse que la variación de turbidez también está relacionada con la marea, en forma de picos de turbidez más alta, durante las máximas corrientes de bajante

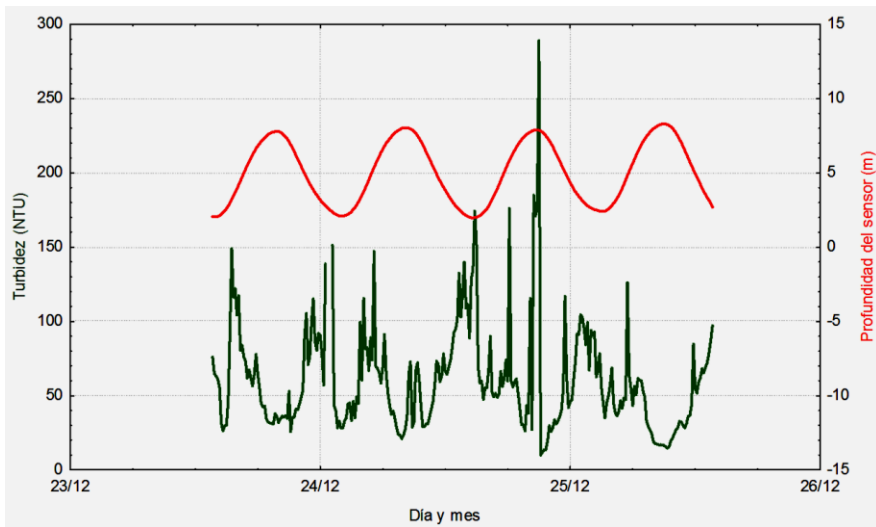


En la Estación "Mar", la temperatura tiene una tendencia general a aumentar a medida que pasan los días, algo esperable en esta época del año, al final de la primavera.

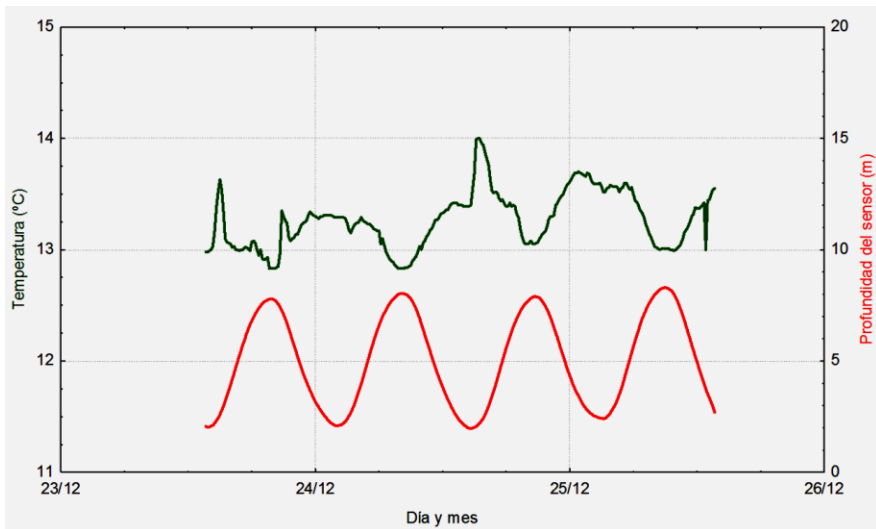
Estación Estuario. Serie de tiempo de profundidad sensor, turbidez, salinidad y temperatura



En la Estación "Estuario", se observa una variación de la salinidad muy significativa de más de 10 UPS, perfectamente sincronizada con las pleamares y bajamares.

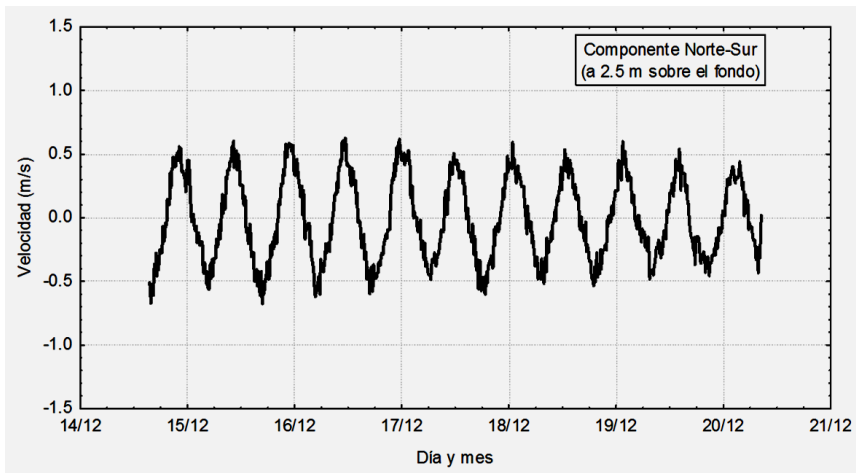
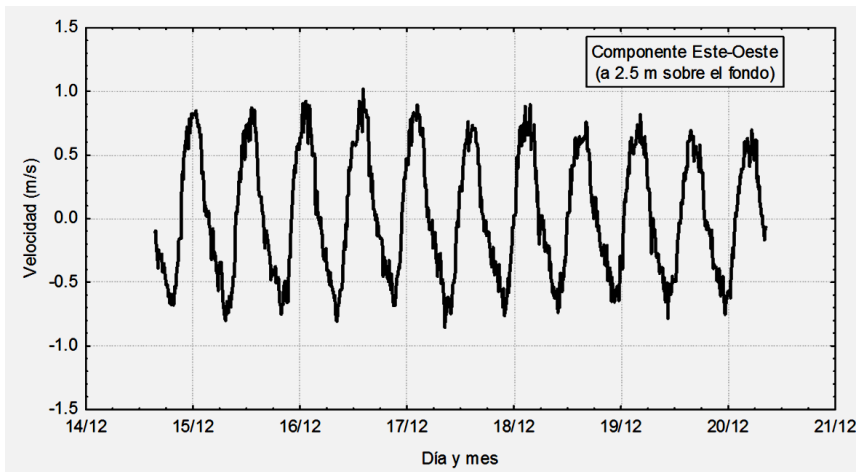


En la Estación "Estuario", la turbidez tiene una muy marcada variabilidad que no depende enteramente de las mareas.

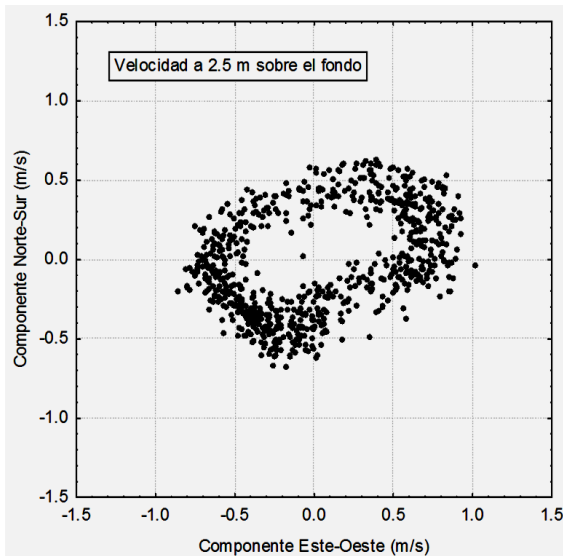


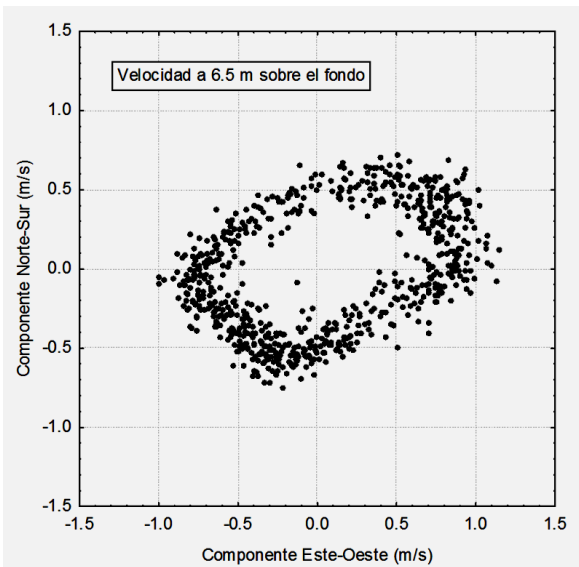
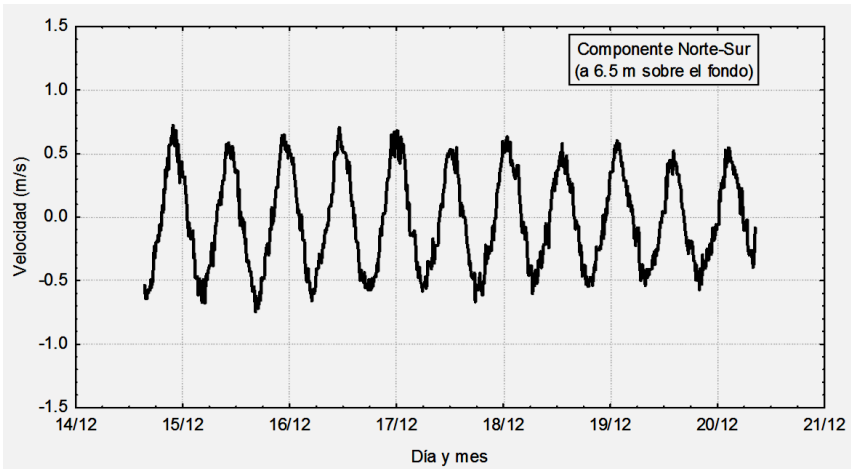
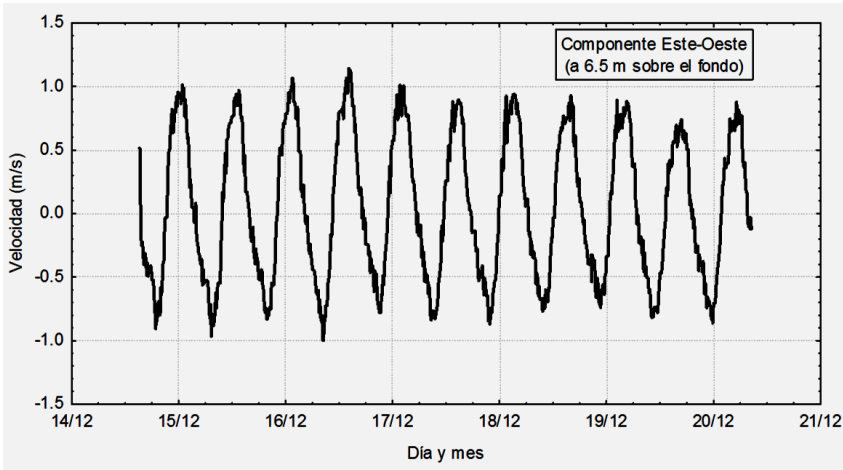
En la Estación "Estuario", la temperatura tiende a presentar un mínimo durante la pleamar y un máximo durante la bajamar, no muy regular. Lo cual indica que el agua del Río Santa Cruz es más caliente que el agua de mar.

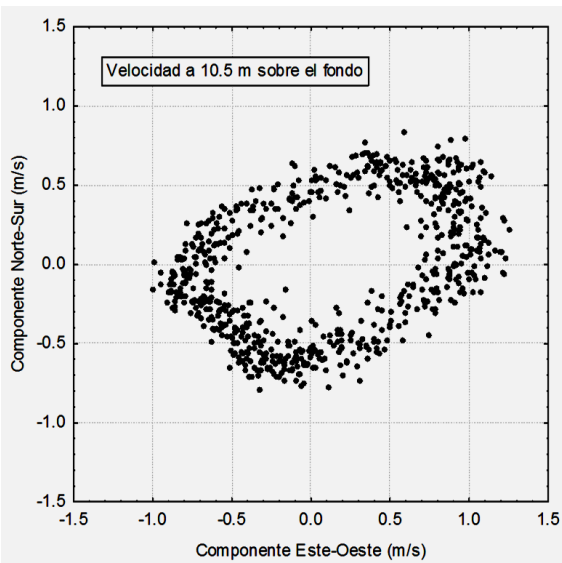
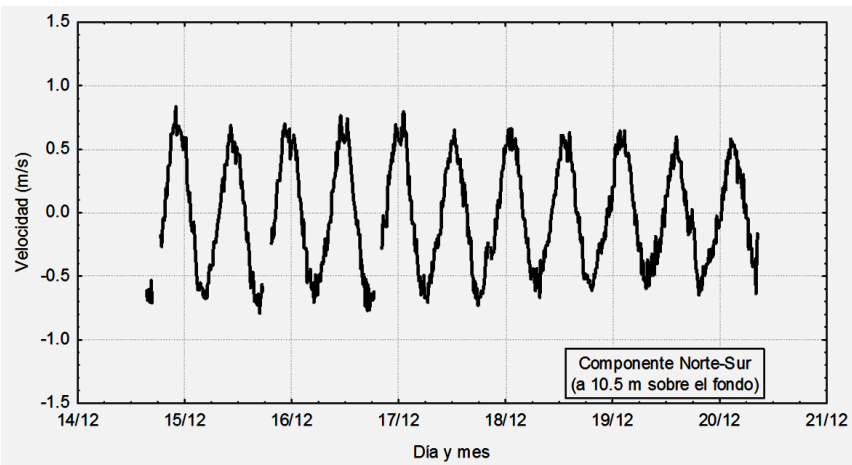
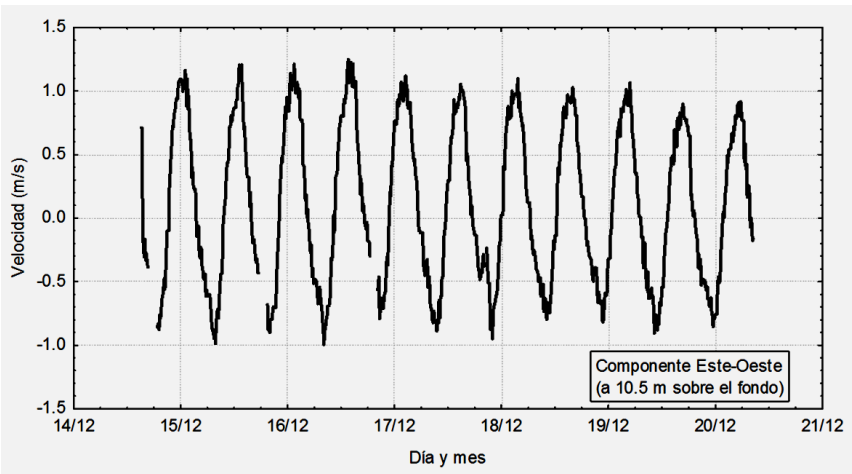
Velocidades de corrientes en la Estación Mar, a diferentes niveles



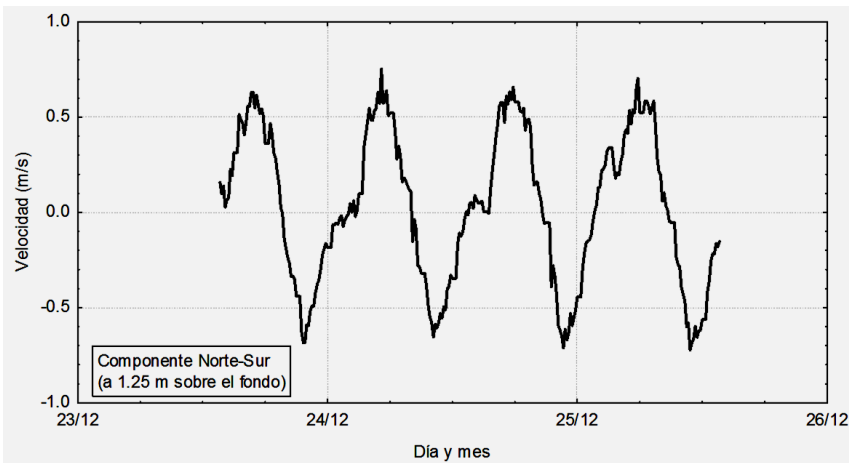
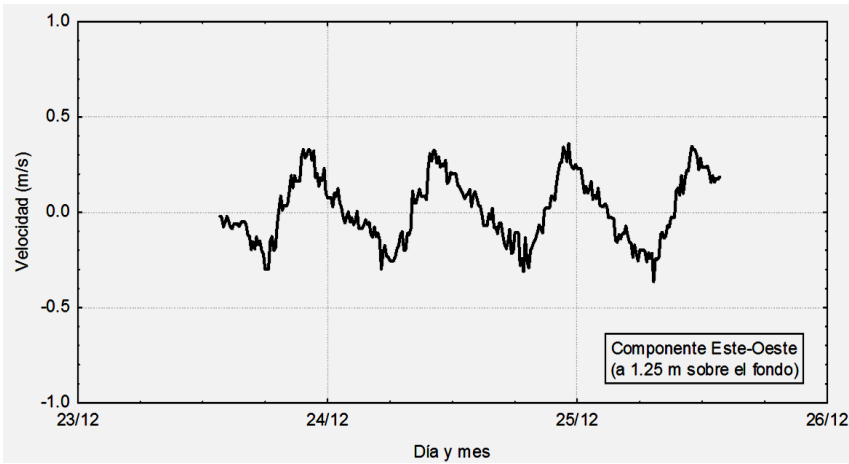
En la Estación "Mar", Las corrientes son muy regulares, claramente dominadas por las mareas. El vector corriente de marea es rotativo y su extremo describe una elipse, algo típico de las corrientes de marea en las zonas costeras de la Patagonia



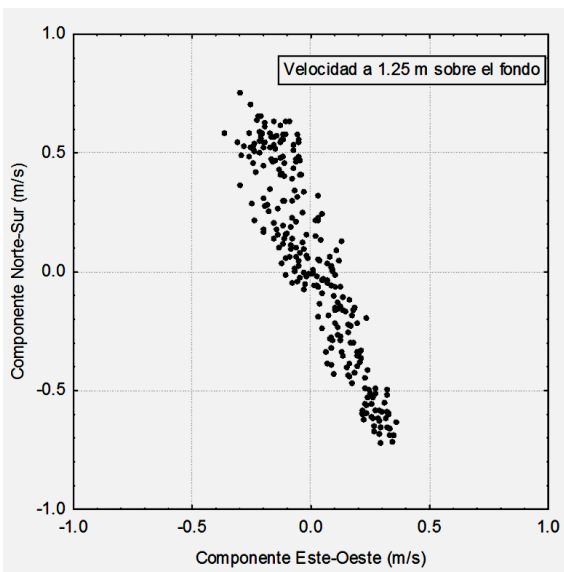


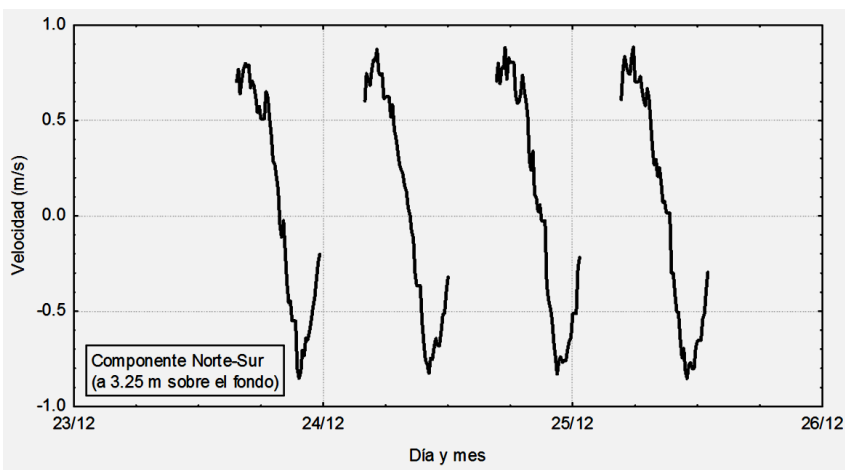
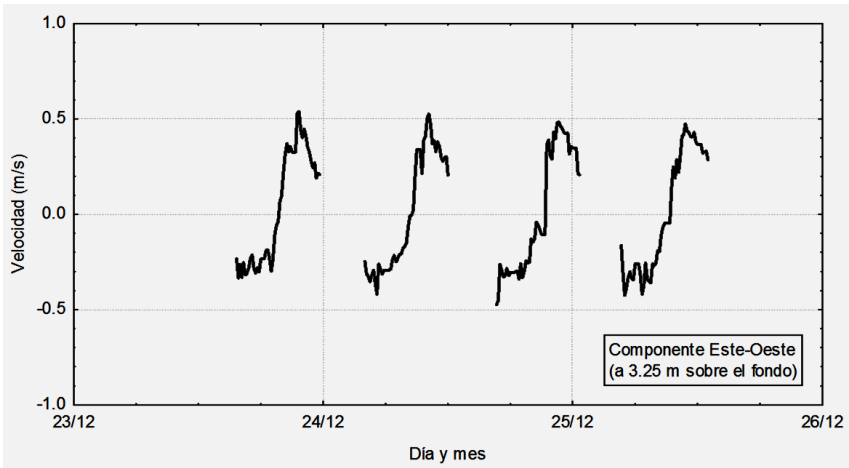


Velocidades de corrientes en la estación "Estuario"

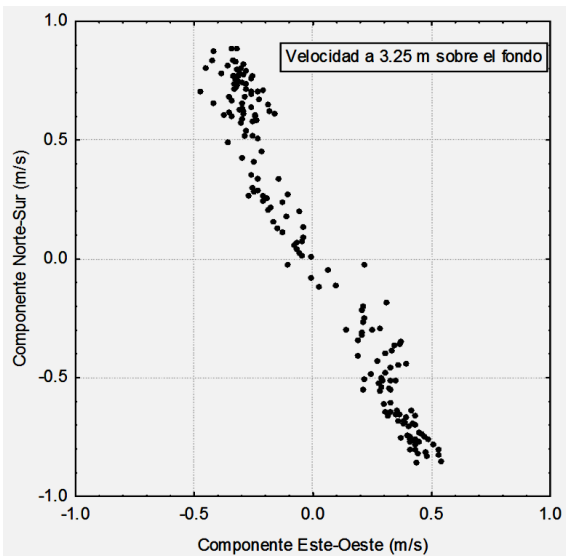


En la Estación "Estuario", las corrientes también son regulares, claramente dominadas por las mareas. El vector corriente de marea tiende a alinearse según una dirección de creciente y la dirección opuesta en bajante.

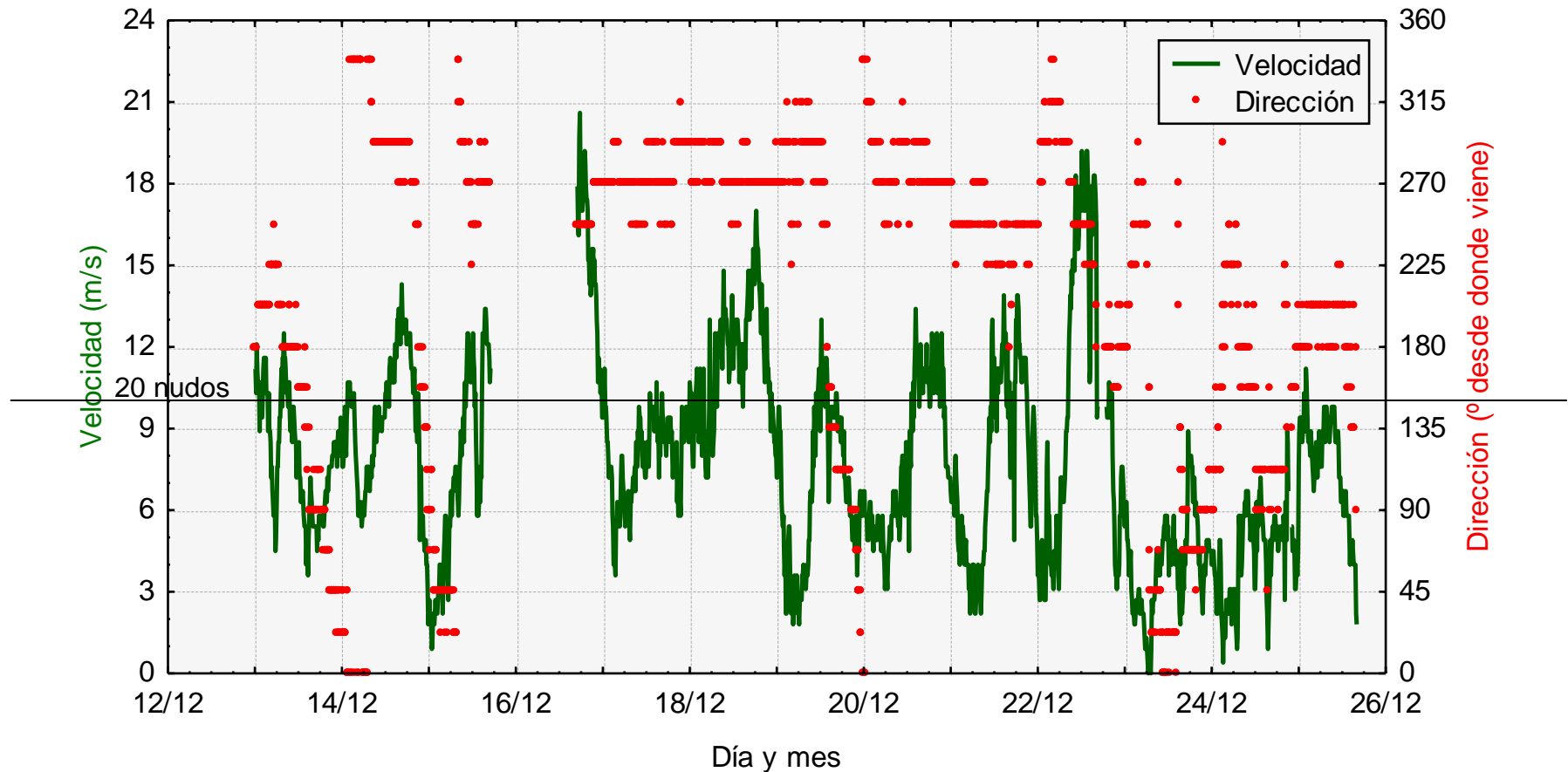




En la Estación "Estuario", en los niveles más próximos a la superficie, durante las bajamares, el nivel representado (3,25 m sobre el fondo), representado queda sin agua.



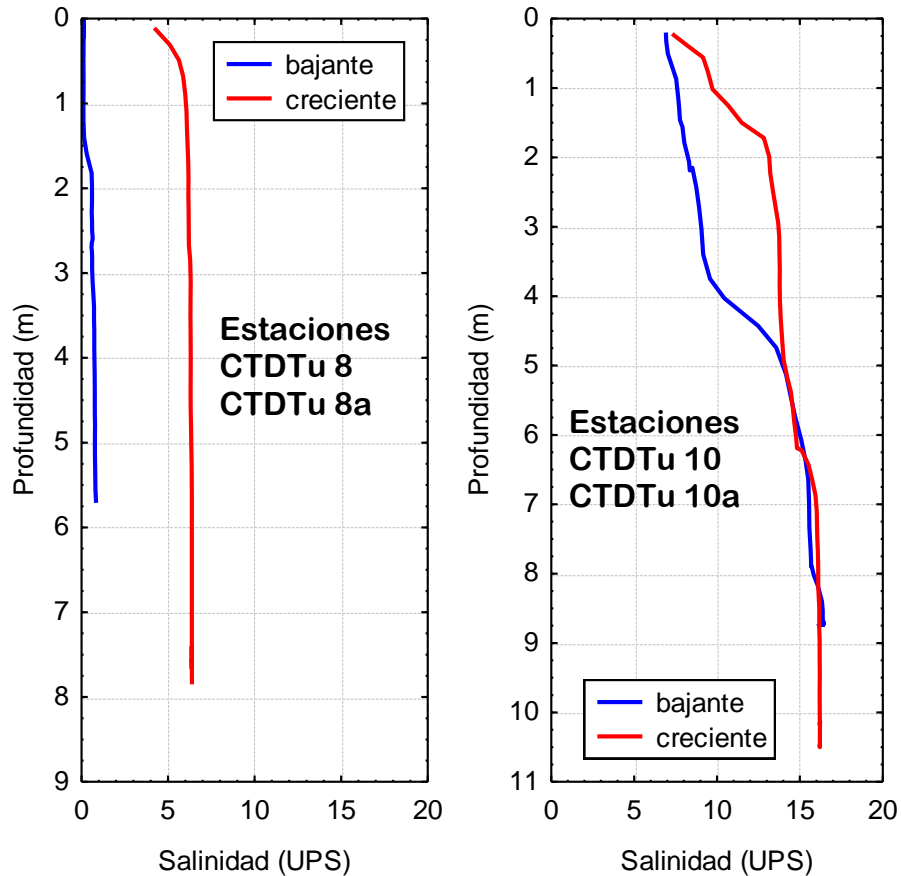
Velocidad y dirección del viento, medido en el aeropuerto de Puerto Santa Cruz



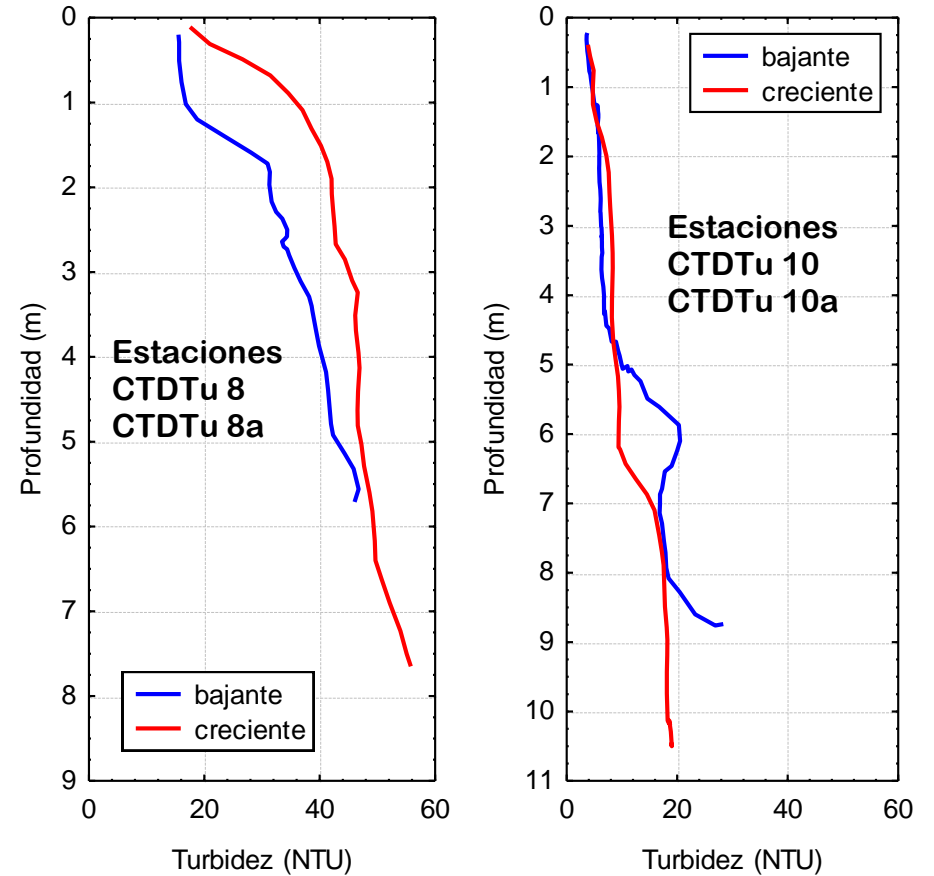
NOTA:
 El intervalo sin datos, entre el 15 dic a 1700 horas y el 16 dic a 1630 horas, se debió a un episodio de vibraciones anómalas que afectaron el conector de la alimentación de baterías. Los datos serán completados con información de modelos globales de NOAA.
 Es interesante observar que la dirección predominante para vientos de más de 20 nudos (10 m/s), fue del sector centrado en el oeste, entre el ONO y el OSO (en grados: 247.5° al 292.5°)

Perfiles de Salinidad y Turbidez, en función de la profundidad, en estaciones CDTTu

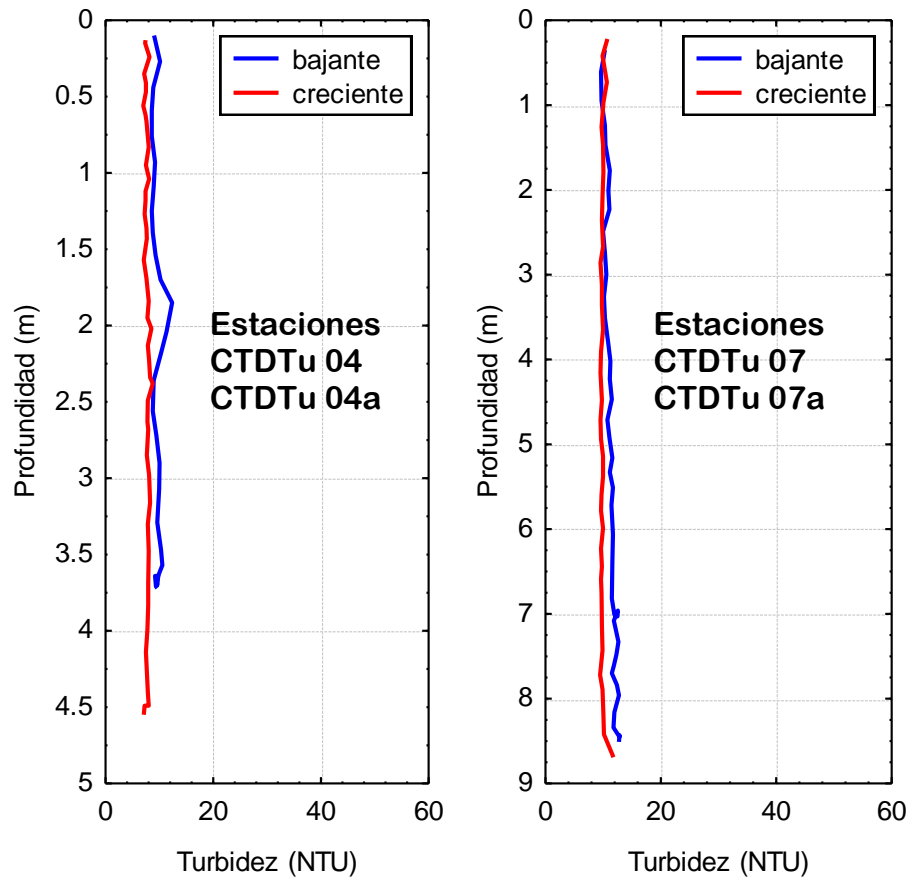
Ejemplo de perfiles de salinidad en los puntos 8 (izquierda) y 10 (derecha)



Ejemplo de perfiles de turbidez en los puntos 8 (izquierda) y 10 (derecha)

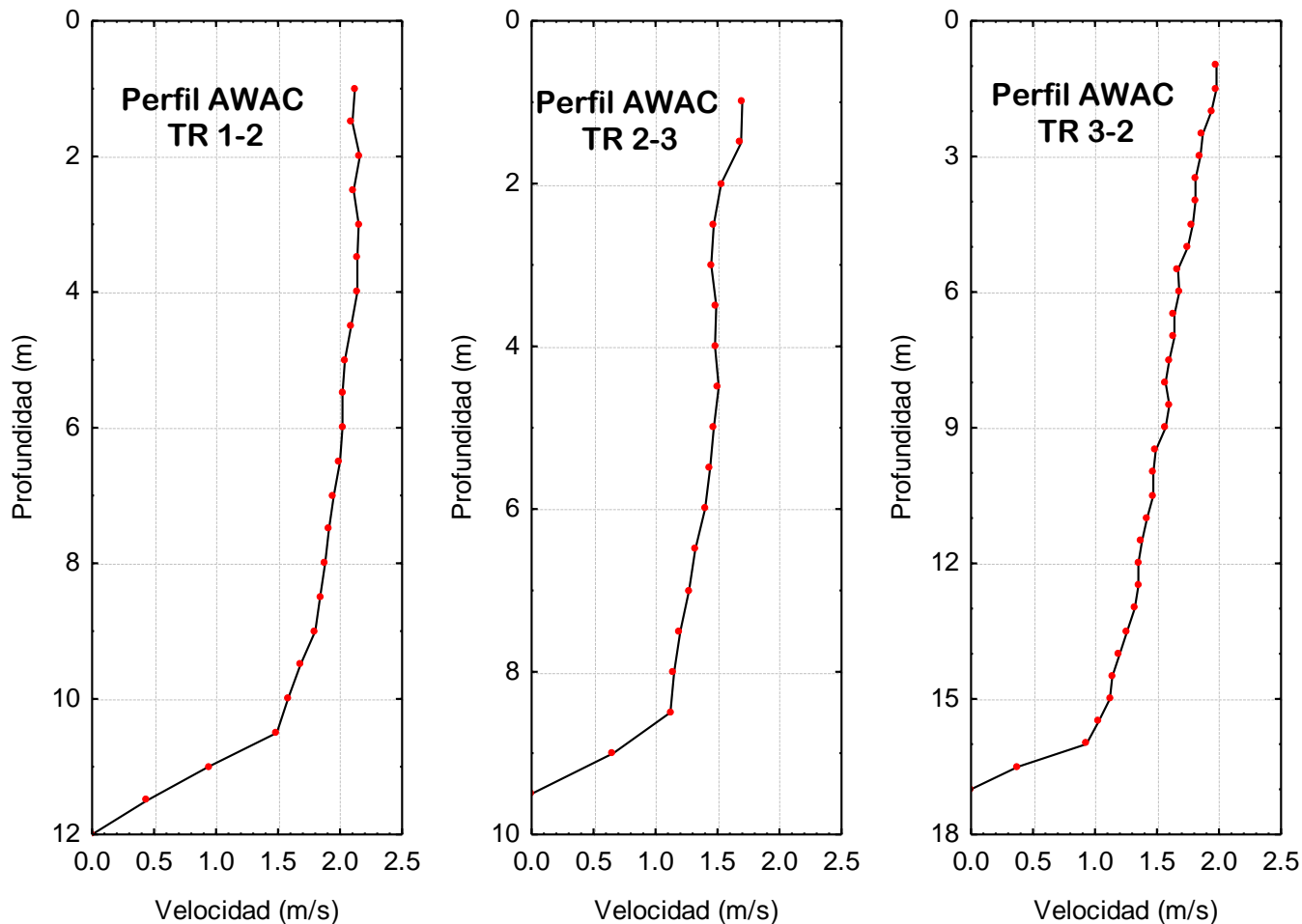


Ejemplo de perfiles de turbidez en los puntos 4 (izquierda) y 7 (derecha)



Perfiles verticales de corrientes obtenidos con ADCP AWAC en transectas al estuario

Perfiles de velocidad TR1-2, TR2-3 y TR3-2



ANEXO 04, Muestras entregadas

En el presente Anexo se transcriben las planillas con datos auxiliares, y se agrega una copia del formulario de "Cadena de Custodia", tal como fueron entregados junto con las muestras al Sr. Luis Manuel Rodríguez, Celular 011 15 3813 8931, en el Obrador de la UTE Represas, en Comandante Piedrabuena.

Las muestras se entregaron el día lunes 26 de diciembre de 2016, de 1445 a 1540, exdfepto las dos muestras del Río Santa Cruz, en el eje de la presa JC y en su nacimiento, las cuales fueron entregadas el jueves 29 de diciembre de 2016, a las 0910 horas.

Se agrega en este Anexo una fotografía de la totalidad de las muestras entregadas, obtenida en el Obrador Piedrabuena.

MUESTRAS DE FONDO OBTENIDAS EN LOS PUNTOS S01 AL S10

MUESTRA	WP	FECHA de obtención	HORA de obtención	POSICIÓN Ref WGS 84	DESCRIPCIÓN VISUAL	EQUIPO	USO, CONSERVACIÓN
S 01	395	17-dic-16	14:39:43	S49 58.488 W68 46.124	Arena fina color castaño oscuro y cantos rodados	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 01g	395	17-dic-16	14:39:43	S49 58.488 W68 46.124	Arena fina color castaño oscuro y cantos rodados	Draga V. Veen	Para granulometría.
S 02	393	17-dic-16	14:00:54	S49 59.076 W68 41.637	Arena mediana color castaño y cantos rodados	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 02g	393	17-dic-16	14:00:54	S49 59.076 W68 41.637	Arena mediana color castaño y cantos rodados	Draga V. Veen	Para granulometría.
S 03	392	17-dic-16	13:42:57	S49 58.752 W68 38.038	Arena fina color castaño	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 03g	392	17-dic-16	13:42:57	S49 58.752 W68 38.038	Arena fina color castaño	Draga V. Veen	Para granulometría.
S 04	383	15-dic-16	14:05:03	S49 57.470 W68 35.195	Arena fina color castaño	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 04g	383	15-dic-16	14:05:03	S49 57.470 W68 35.195	Arena fina color castaño	Draga V. Veen	Para granulometría.
S 05	391	17-dic-16	13:03:34	S49 57.712 W68 32.291	Arena mediana color castaño y cantos rodados	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 05g	391	17-dic-16	13:03:34	S49 57.712 W68 32.291	Arena mediana color castaño y cantos rodados	Draga V. Veen	Para granulometría.
S 06	381	15-dic-16	12:53:26	S50 00.142 W68 30.101	Arena mediana color castaño y cantos rodados	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 06g	381	15-dic-16	12:53:26	S50 00.142 W68 30.101	Arena mediana color castaño y cantos rodados	Draga V. Veen	Para granulometría.
S 07	408	17-dic-16	19:14:11	S50 02.716 W68 27.479	Cantos rodados grandes, mal clasificados, con incrustaciones de crustáceos balanus.	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 08	405	17-dic-16	18:49:11	S50 05.158 W68 25.323	Cantos rodados grandes, mal clasificados	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 09	430	20-dic-16	6:58:42	S50 07.516 W68 22.372	Cantos rodados grandes, mal clasificados	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 10	431	20-dic-16	7:24:03	S50 10.298 W68 13.708	Arena fina color castaño con 1 valva de molusco 20 mm, y 1 esponja 30 mm.	Draga V. Veen	Uso biológico. Con Formol, ver Notas
S 10g	431	20-dic-16	7:24:03	S50 10.298 W68 13.708	Arena fina color castaño con 1 valva de molusco 20 mm, y 1 esponja 30 mm.	Draga V. Veen	Para granulometría.

NOTAS Y ABREVIATURAS:

Horas: Corresponden a la hora oficial de Argentina vigente, huso +3.

WP: Waypoints, o puntos de fijación de la posición, obtenidos y grabados con equipo GPS. Se expresan en coordenadas geográficas, referidas al datum geodésico WGS 84

Formol: Conservación de muestras biológicas, 70 ml de formol al 40%, diluidos en medio litro de agua destilada.

g: Las muestras con cantos rodados grandes, sin arena, no tuvieron volumen significativo para hacerles análisis granulométrico.

MUESTRAS DE AGUA

MUESTRA	WP	FECHA de obtención	HORA de obtención	POSICIÓN Ref WGS 84	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	USO, CONSERVACIÓN
CTDTu 02, agua	443	23-dic-16	10:48:11	S49 59.056 W68 54.244	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 04, agua	449	23-dic-16	11:45:34	S49 58.383 W68 47.589	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 06, agua	456	23-dic-16	12:25:55	S49 59.077 W68 41.905	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 08, agua	462	23-dic-16	13:02:34	S49 57.432 W68 34.302	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 10, agua	472	23-dic-16	14:11:37	S50 02.342 W68 28.090	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 10a, agua	473	23-dic-16	15:32:06	S50 02.328 W68 28.100	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 08a, agua	478	23-dic-16	16:19:38	S49 57.439 W68 34.297	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 06a, agua	484	23-dic-16	16:51:29	S49 59.145 W68 41.547	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 04a, agua	490	23-dic-16	17:24:04	S49 58.388 W68 47.511	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
CTDTu 02a, agua	496	23-dic-16	18:04:59	S49 58.977 W68 54.217	Muestra de agua a media profundidad	Botella Niskin	Sin preservante
Estación MAR, agua	---	20-dic-16	7:40:00	S 50 10.559 W68 12.709	Muestra de agua junto a Turbidím OBS 3A, a 0,50 m del fondo	Botella Niskin	Sin preservante
Estación ESTUARIO, agua	465	25-dic-16	13:29:00	S49 58.532 W68 32.168	Muestra de agua junto a Turbidím. OBS 3A, a 0,50 m del fondo	Botella Niskin	Sin preservante
Aforo R. CHICO, agua	---	15-dic-16	20:50:00	S49 46.633 W 68 38.424	Muestra de agua en vertical de mayor corriente, a media profund.	Botella Niskin	Sin preservante
Aforo R. S. CRUZ, agua	415	19-dic-16	17:30:00	S50 02.815 W69 01.490	Muestra de agua en vertical de mayor corriente, a media profund.	Botella Niskin	Sin preservante
Eje Presa JC, R.S. CRUZ, agua	351	27-dic-16	12:00:00	S50 11.202 W70 07.292	Muestra de agua en vertical de mayor corriente, a media profund.	Botella Niskin	Sin preservante
Nacimiento R. S. CRUZ, agua	353	27-dic-16	16:15:00	S50 16.065 W71 53.143	Muestra de agua en vertical de mayor corriente, a media profund.	Botella Niskin	Sin preservante

NOTAS Y ABREVIATURAS:

Horas: Corresponden a la hora oficial de Argentina vigente, huso +3.

WP: Waypoints, o puntos de fijación de la posición, obtenidos y grabados con equipo GPS. Se expresan en coordenadas geográficas, referidas al datum geodésico WGS 84

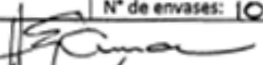
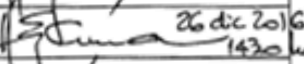
CTDTu: Puntos a lo largo del estuario, en los que se determinaron perfiles verticales de un instante, de corrientes con equipos ADCP AWAC, y perfiles verticales de Conductividad, Temperatura, Profundidad y Turbidez, con equipo sonda perfiladora OBS 3A.

Estación MAR y ESTUARIO: Puntos en donde se instalaron equipos durante varios días para medir en forma automática perfiles verticales de corrientes con equipos ADCP AWAC, y perfiles verticales de Conductividad, Temperatura, Profundidad y Turbidez, con equipo sonda perfiladora OBS 3A.

La totalidad de las muestras, luego de ser entregadas en el Obrador de la UTE Represas en Comandante Piedrabuena



Aprovechamiento Hidroeléctrico Río Santa Cruz
HOJA DE CADENA DE CUSTODIA

Muestras	Físico Químicas	Fecha de empaque:	
FONDO	Biológicas	Fecha de despacho:	
N° de cajas:		N° de muestras: 10	N° de envases: 10
Muestras tomadas por:	Horacio EZCURRA		Firma: 
Muestras entregadas por:	Horacio EZCURRA		Firma:  26 dic 2016 1430 hrs
Ruta de Transporte:			
DATOS DEL LABORATORIO			
Nombre del Laboratorio: Patricia Peratta, Terminal Mendoza.			
Dirección:			
Teléfono:		Persona responsable:	
Forma de entrega:		Personal	Transportista
Nomenclatura de muestra	Fecha	Hora de toma de muestra	Tipo de análisis
S 01	17 dic 2016	14:40	Biológico
02	17 dic 2016	14:01	}
03	17 dic 2016	13:43	
04	15 dic 2016	14:05	
05	17 dic 2016	13:04	
06	15 dic 2016	12:53	
07	17 dic 2016	19:14	
08	17 dic 2016	18:49	
09	20 dic 2016	06:59	
10	20 dic 2016	07:24	
Observaciones: por favor enviar mail escaneado a			
Empleado de laboratorio que recepciona el presente documento:			
Nombre:		Fecha:	Hora:
Condiciones de recepción:			
		Firma:	

26 dic 2016

 Luis Manuel Rodriguez

Aprovechamiento Hidroeléctrico Río Santa Cruz				
HOJA DE CADENA DE CUSTODIA				
Muestras	Físico Químicas			Fecha de empaque:
FONDO	Granulometría			Fecha de despacho:
N° de cajas:		N° de muestras: 07		N° de envases: 07
Muestras tomadas por:	Horacio EZCURRA -		Firma:	<i>[Firma]</i>
Muestras entregadas por:	Horacio EZCURRA -		Firma:	<i>[Firma]</i> 26 dic 2016 (14:30 horas) -
Ruta de Transporte:				
DATOS DEL LABORATORIO				
Nombre del Laboratorio: C & D, Dora Gentilini / G. Roselli, La Plata, BA.				
Dirección:				
Teléfono:		Persona responsable:		
Forma de entrega:		Personal	Transportista	
Nomenclatura de muestra	Fecha	Hora de toma de muestra	Tipo de análisis	Observaciones
S 01 g	17 dic 2016	14:40	granulométrica	
S 02 g	17 dic	14:01		
S 03 g	17 dic	13:43		
S 04 g	15 dic	14:05		
S 05 g	17 dic	13:04		
S 06 g	15 dic	12:53		
S 10 g	20 dic	07:24		
NOTA: las muestras correspondientes a los sitios S07, S08 y S09 tienen cantos redados grandes y fueron envasadas en su totalidad para análisis biológicos				
Observaciones: por favor enviar mail escaneado a				
Empleado de laboratorio que receptiona el presente documento:				
Nombre:		Fecha:	Hora:	
Condiciones de recepción:				
		Firma:		


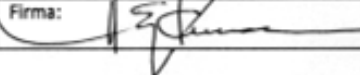
26 dic 2016
[Firma]
 Luis Manuel Rodriguez

Aprovechamiento Hidroeléctrico Río Santa Cruz				
HOJA DE CADENA DE CUSTODIA				
Muestras	Físico Químicas		Fecha de empaque:	
AGUA			Fecha de despacho:	
N° de cajas:		N° de muestras:	14	N° de envases: 14
Muestras tomadas por:	Horacio EZCURRA -		Firma:	<i>[Signature]</i>
Muestras entregadas por:	Horacio EZCURRA -		Firma:	<i>[Signature]</i> 26 dic 2016 - 14:30 horas
Ruta de Transporte:				
DATOS DEL LABORATORIO				
Nombre del Laboratorio:				
Dirección:				
Teléfono:		Persona responsable:		
Forma de entrega:		Personal		Transportista
Nomenclatura de muestra	Fecha	Hora de toma de muestra	Tipo de análisis	Observaciones
CTDTU 02, agua	23 dic 2016	10:48		Bidin 2 l
" 04, "	"	11:46		}
" 06, "	"	12:26		
" 08, "	"	13:03		
" 10, "	"	14:12		
" 10a, "	"	15:32		
" 08a, "	"	16:20		
" 06a, "	"	16:51		
" 04a, "	"	17:24		
" 02a, "	"	18:05		
Estac. MAR	20 dic 2016	07:40		
Estac. ESTUARIO	25 dic 2016	13:29		
Alero R. CHICO	15 dic 2016	20:50		
Alero R. SANTA CRUZ	19 dic 2016	17:30		
Observaciones: por favor enviar mail escaneado a				
Empleado de laboratorio que recepciona el presente documento:				
Nombre:		Fecha:	Hora:	
Condiciones de recepción:				
		Firma:		

Resultados HTU: Pendientes de procesamiento/calibración
 Laboratorio: a confirmar

26 dic 2016

[Signature]
 Luis Manuel Rodríguez

Aprovechamiento Hidroeléctrico Río Santa Cruz				
HOJA DE CADENA DE CUSTODIA				
Muestras	Físico Químicas			Fecha de empaque:
AGUA				Fecha de despacho:
N° de cajas:		N° de muestras: 2		N° de envases: 2
Muestras tomadas por:	Horacio EZCURRA		Firma: 	
Muestras entregadas por:	Horacio EZCURRA		Firma: 	
Ruta de Transporte:				
DATOS DEL LABORATORIO				
Nombre del Laboratorio:				
Dirección:				
Teléfono:		Persona responsable:		
Forma de entrega:		Personal		Transportista
Nomenclatura de muestra	Fecha	Hora de toma de muestra	Tipo de análisis	Observaciones
Naciente Río SANTA CRUZ	27 dic 2016	16:15		Bidón 2 l
Eje Pesa JC Río SANTA CRUZ	27 dic 2016	12:00		Bidón 2 l
Observaciones: por favor enviar mail escaneado a				
Empleado de laboratorio que recepciona el presente documento:				
Nombre:		Fecha:	Hora:	
Condiciones de recepción:				
		Firma:		





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

ACTUALIZACIÓN

CAPÍTULO 3 – LINEA DE BASE AMBIENTAL Y ESTUDIOS ESPECIALES

**PUNTO 2 - MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE
DE SEDIMENTOS EN EL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ**


ANEXO III – INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ



INSPECCIÓN
Aprovechamiento Hidroeléctrico
del Río Santa Cruz
Presas N. Kirchner-J. Cepernic

**INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL NIVEL DEL RÍO SANTA
CRUZ EN EL TRAMO DE LA EX-RN3 Y PUNTA QUILLA**

22 DE OCTUBRE DE 2016
INSPECCIÓN DE OBRA REPRESA JORGE CEPERNIC

 <p>INSPECCIÓN Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz Presas N. Kirchner-J. Cepernic</p>	<p>INFORME: “INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ”</p> <p>INSPECCION DE OBRA DE JC</p>	<p>REV. 01 18/OCT/2016</p>	<p>Pag. 1</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------	--------------------------

CONTENIDO

1	OBJETIVO.....	2
2	ZONA DE ESTUDIO.....	2
3	DETERMINACIÓN DE COTA IGN Y POSICIÓN.....	2
4	ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DE ESCALAS	7
4.1	Elaboración de escalas	7
4.2	Colocación de escalas.....	8
5	PLANIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DE LAS LECTURAS	13
5.1	Determinación del día y franja horaria de lecturas.....	13
5.2	Lecturas de escalas en lugares con oleaje.....	15
5.3	Predicciones de mareas en cota IGN.....	15
6	RESULTADOS	16
6.1	Niveles máximos y periodos.....	16
7	ANEXO – CAUDAL DEL RÍO Y DESCRIPCIÓN DEL LECHO.....	22
7.1	Estimación del caudal del río.....	22
7.2	Breve descripción del lecho del río	22

1 OBJETIVO

El objetivo del presente informe es determinar los niveles que alcanza el río, medidos en cota IGN, en cuatro lugares del área de influencia de la marea y generación de la curva de remanso, con el objeto de ajustar posteriores modelos matemáticos que permitan determinar la dinámica del río en la zona del estuario.

2 ZONA DE ESTUDIO

Los cuatro lugares relevados, que se pueden observar en la Figura 2.1, son:

- Puerto de Punta Quilla
- Confluencia de los ríos Chico y Santa Cruz (en el Ex frigorífico Armour)
- Planta Potabilizadora en Cmte. Luis Piedra Buena
- Puente viejo (Ex Ruta Nac. 3)

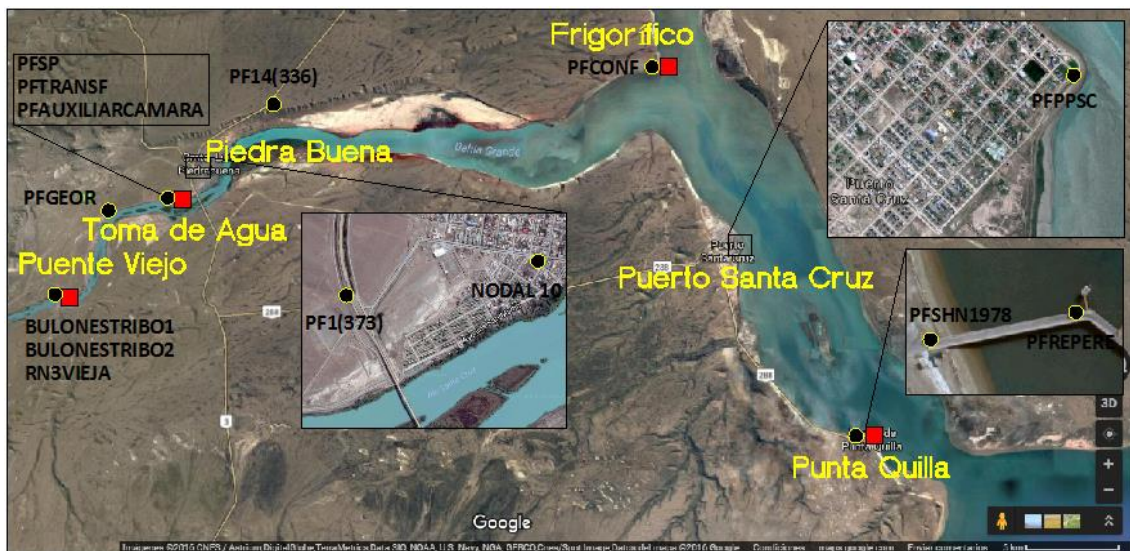


Figura 2.1: Ubicación de los lugares de lectura de escalas (puntos rojos) y puntos fijos topográficos (puntos negros).

3 DETERMINACIÓN DE COTA IGN Y POSICIÓN

Dado que en los lugares seleccionados no hay puntos fijos con cota y posición para obtener rápidamente la cota del cero de las escalas colocadas, se optó por emplear el Punto Fijo *NODAL 10* del IGN, ubicado en la ciudad de Cmte. Luis Piedra Buena, como punto fijo de origen para todas las mediciones, y desde allí comenzar a colocar puntos auxiliares hasta llegar a un lugar cercano donde se colocaron las escalas limnimétricas, ver Figura 2.1.

Este proceso se realizó colocando una estación diferencial GPS base en el punto conocido, y mediante una estación GPS móvil (ambos Trimble modelo R8) se obtienen los datos del punto hacia donde se desea avanzar, ya sea un punto auxiliar o un punto de fin de línea.

Los datos de posición del **NODAL 10**, se tomaron del **INFORME FINAL – SISTEMA GEODESICO Y GEOFÍSICO DE APOYO REV. 1**, presentado por la UTE y realizado por el Subcontratista Del Bianco y Asociados.

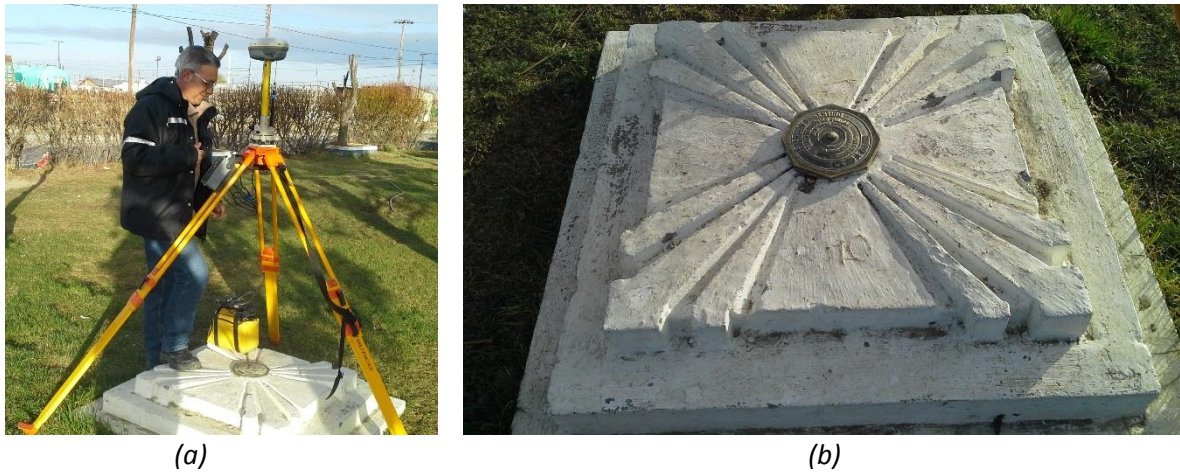


Figura 3.1: (a) Estación diferencial GPS base en el (b) NODAL 10.


Según ese informe (Anexo 18 – Tabla 56), el Nodal 10 tiene como coordenadas geográficas (WGS84): Latitud 49° 59' 21,20" S y Longitud: 68° 54' 49,23" W ; y su cota IGN es 10,03 (Tabla 17).

Esas coordenadas geográficas se transformaron a coordenadas planas Gauss Krugger Faja 2 (Meridiano central 69°, elipsoide WGS 84, factor de escala=1) obteniendo: N=4.462.313,916 y E=2.506.191,117.

Este sistema de proyección es el usado para todos los puntos aquí mencionados.



Figura 3.2: Determinación de la cota del punto auxiliar PF1(373).

	INFORME: "INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ" INSPECCION DE OBRA DE JC	REV. 01 18/OCT/2016	Pag. 4
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------

Se colocó el GPS base en el **NODAL 10** (Figura 3.1), y se determinaron los siguientes puntos fijos en dirección a la Planta Potabilizadora de Cmte Luis Piedra Buena (y también al Puente Viejo):

A-1) Auxiliar **PF1(373)** mojón del IGN sobre RN3, entre el acceso a Piedra Buena y el puente actual.



Figura 3.3: Determinación de cotas ING en (a) Planta Potabilizadora y (b) destacamento del GEOR.

A-2) Punto fijo **PFSP**, cercano a la Planta Potabilizadora de Piedra Buena. Estaca de madera con clavo. (Se usó luego para determinar el cero de la escala mediante nivelación geométrica)

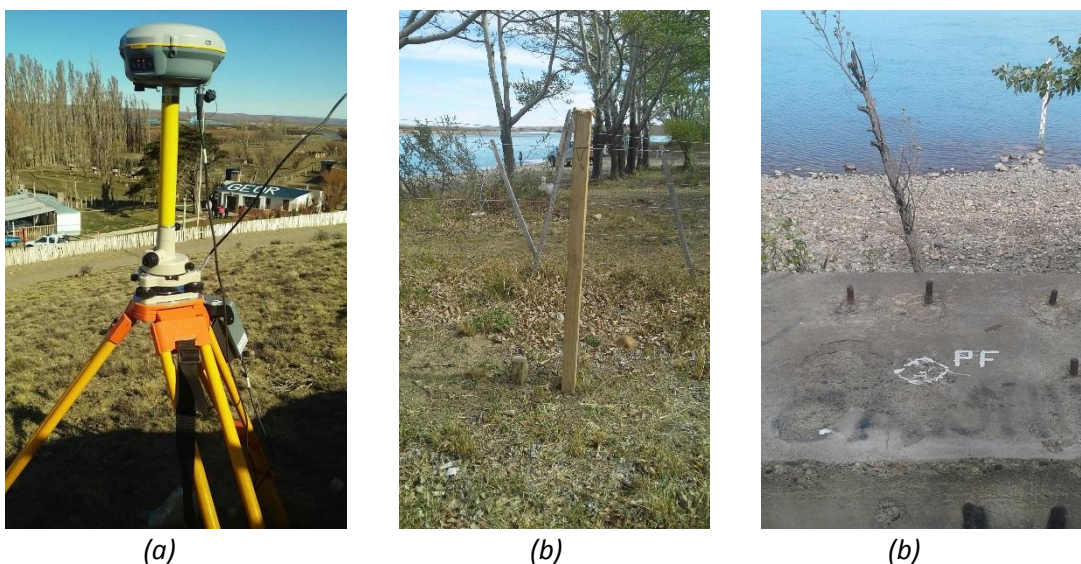



Figura 3.4: (a)GPS diferencial base cerca del destacamento del Grupo Especial de Operaciones Rurales (GEOR) de la policía de Santa Cruz, (b) punto fijo RN3VIEJA y (c) punto fijo BULONESTRIBO2.

 <p>INSPECCIÓN Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz Presas N. Kirchner-J. Cepernic</p>	<p>INFORME: "INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ"</p> <p>INSPECCION DE OBRA DE JC</p>	<p>REV. 01 18/OCT/2016</p>	<p>Pag. 5</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------	--------------------------

A-3) Punto Auxiliar **PFTRANSF**, cercano a un transformador de la Planta Potabilizadora, estaca con clavo.

A-4) Punto Auxiliar **PFAUXILIARCAMARA**, cercano a una cámara de hormigón de la Planta, pintura sobre tapa de hormigón.

A-5) Punto Auxiliar **GEOR**, intermedio entre la Planta Potabilizadora y el Puente Viejo. Estaca con clavo.

Luego se colocó la estación GPS base en éste último punto **PFGEOR** (Figura 3.4), desde donde se alcanzó el puente viejo (Ex Ruta Nac. 3) y donde se colocaron los siguientes puntos:

B-1) Punto fijo **BULONESTRIBO1**, en un bulón que sobresale de la pila del puente en margen izquierda.

B-2) Punto fijo **BULONESTRIBO2**, en un bulón al ras de la pila del puente en margen izquierda, con pintura blanca. (Se usó luego para determinar el cero de la escala mediante nivelación geométrica)

B-3) Punto Fijo **RN3VIEJA** cercano al puente, junto a un alambrado. Estaca de madera con clavo.

El tercer lugar donde se colocó el GPS base es en el punto fijo **PF1(373)** cuyos datos se habían obtenido en A-1, y desde donde se colocó el siguiente punto:

C-1) Punto Fijo **PF14(336)**, mojón del IGN sobre ruta Nac. 3, próxima al ingreso a la estancia "La Esperanza" donde se encuentra el ex-frigorífico Armour, próximo a la confluencia de los ríos Chico y Santa Cruz.

El cuarto lugar donde se colocó el GPS base es en el punto fijo **PF14(336)**, y desde donde se determinaron los datos del siguiente punto:

D-1) Punto Fijo **PFCONF** ubicado en la confluencia de los ríos Chico y Santa Cruz.

El quinto lugar donde se colocó el GPS base es en el punto fijo **PFCONF**, y desde donde se determinaron los datos de los siguientes puntos:

E-1) Punto Fijo **PFMLLE**, clavo en muelle de madera del ex – frigorífico Armour, coincidente en cota con los 9,5 metros sobre el cero de la escala local.

E-2) Punto fijo **PFPSC** ubicado en una plazoleta de la Ciudad de Puerto Santa Cruz, estaca de madera con clavo.

E-3) Punto fijo en un pilar del muelle del Puerto Punta Quilla **PFSHN1978**, marca sobre pilar de hormigón.

E-4) Punto fijo repere de mareas **PFREPERE**, ménsula de bronce empotrada en la casilla que aloja al mareógrafo del Servicio de Hidrografía Naval.

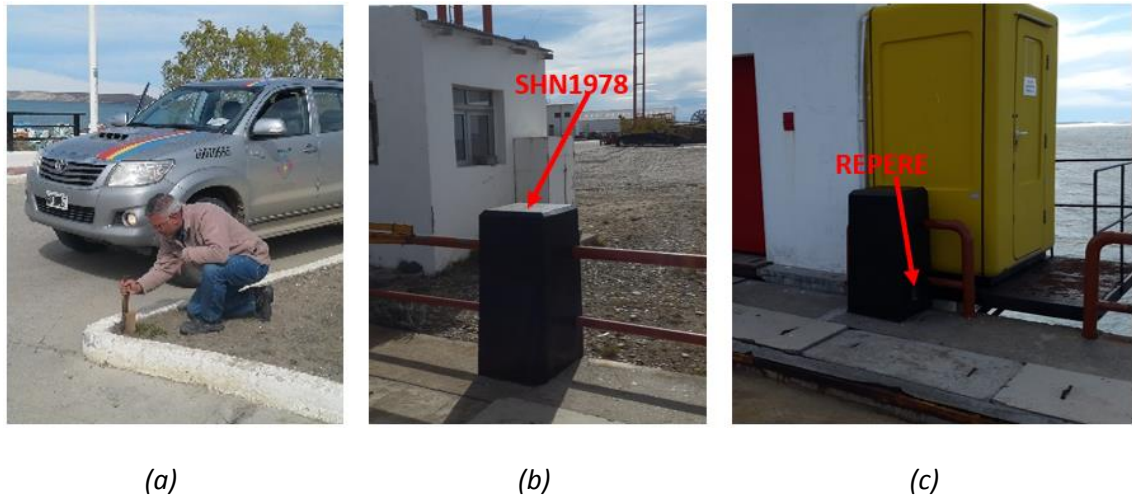


Figura 3.5: (a) Punto fijo en Puerto Santa Cruz (PFPPSC), (b) PFSHN1978 y (c) PFREPERE.

Así, desde los puntos más cercanos a las escalas se pudo obtener, mediante nivelación geométrica, la cota IGN de los ceros de las distintas escalas.

LISTADO PUNTOS FIJOS RED DE APOYO PIEDRABUENA					
NOMBRE	COORD PLANAS		COTA**	COORD GEOGRAFICAS	
	NORTE*	ESTE*		LAT SUR	LONG OESTE
NODAL10	4462313,916	2506191,117	10,030	49°59'21.2"	68°54'49.2"
PF1(373)	4462124,158	2504859,475	16,609	49° 59' 27.39"	68° 55' 56.04"
PFSP	4461208,055	2504155,309	12,722	49° 59' 57.05"	68° 56' 31.36"
PFTRANSF	4461210,484	2504179,449	12,776	49° 59' 56.98"	68° 56' 30.14"
AuxCámara	4461222,853	2504157,188	13,053	49° 59' 56.58"	68° 56' 31.26"
PFGEOR	4460511,612	2500378,396	19,401	50° 0' 19.65"	68° 59' 40.99"
BULONESTRIBO1	4455975,582	2498221,816	10,963	50° 2' 46.45"	69° 1' 29.37"
BULONESTRIBO2	4455975,288	2498226,117	10,916	50° 2' 46.46"	69° 1' 29.16"
PFRN3VIEJA	4455984,381	2498276,088	10,801	50° 2' 46.16"	69° 1' 26.64"
PF14(336)	4466097,709	2508965,794	121,197	49° 57' 18.61"	68° 52' 30.22"
PFCONF	4468134,624	2530619,885	46,056	49° 56' 10.10"	68° 34' 24.54"
PFPPSC	4458782,813	2535030,936	9,067	50° 1' 11.89"	68° 30' 40.29"
PFREPERE	4447976,363	2542311,065	8,582	50° 6' 59.93"	68° 24' 30.30"
PFSHN1978	4447940,636	2542135,589	9,353	50° 7' 1.13"	68° 24' 39.12"

*: coordenadas planimétricas según marco de referencia POSGAR 2007 y
 Proyección plana conforme Transversa de Gauss Krugger (faja 2)

** : Sistema de Referencia: Cotas Oficiales IGN (alturas sobre el nivel medio del mar)

Figura 3.5: Tabla de los distintos puntos topográficos con sus respectivas cotas.

4 ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DE ESCALAS

4.1 Elaboración de escalas

Como elemento de medición se decidió emplear escalas centimetradas, las mismas fueron elaboradas por el personal de la inspección.

Las escalas fueron construidas con madera cepillada, a la que se añadió una base de pintura sintética blanca. Sobre la pintura blanca se pintó la escala graduada al centímetro con pintura sintética, en colores rojo y negro alternados cada metro.


Cabe destacar que también se aprovecharon varias escalas metálicas graduadas cada 5 centímetros, parcialmente repintadas por personal de la inspección.



Figura 4.1: Escalas terminadas.



Figura 4.2: Escalas metálicas recuperadas, círculo rojo.

 <p>INSPECCIÓN Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz Presas N. Kirchner-J. Cepernic</p>	<p>INFORME: “INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ”</p> <p>INSPECCION DE OBRA DE JC</p>	<p>REV. 01 18/OCT/2016</p>	<p>Pag. 8</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------	--------------------------

4.2 Colocación de escalas

La colocación de las escalas fue una de las tareas más estudiada, ya que las mismas debían cubrir todo el rango de niveles que se iban a presentar en cada estación de lectura el día de las mediciones.

La dificultad principal se presentaba porque, salvo el caso de Punta Quilla, donde se contaba con las predicciones del Servicio de Hidrografía Naval, no se tenía datos del rango de variación de los niveles en las estaciones de medición. Otro inconveniente tenía que ver con el hecho de que las escalas se iban a colocar en días previos a los días de variación máxima en los niveles, por lo tanto, indefectiblemente había que colocar escalas en el agua, con la dificultad adicional que eso conlleva.

Para superar todas las desventajas antes mencionadas y colocar las escalas de modo que sean funcionales a los objetivos previstos, se optó por empezar a colocarlas varios días antes de la fecha de medición.

La tarea seguiría con monitoreo diario de los niveles en los lugares de medición, adicionando escalas en aquellos lugares donde quedaban tapadas por el agua o fuera de ella.

No obstante todo el recaudo que se tuvo a la hora de colocar las escalas, se previó colocar adicionales en el momento de la medición si las circunstancias así lo requirieran.

A continuación se presentan tablas con los datos de las escalas colocadas en las cuatro estaciones de lecturas, como así también imágenes de las mismas.

Punta Quilla

Escala N°	Material	Longitud (m)	Cota mín IGN (m)	Cota máx IGN (m)
1	Madera – H° A° ⁽¹⁾	3.00	3.46	6.46
2	Madera	3.50	0.66	4.16
3	Madera	3.50	-1.54	1.96
4	Madera	3.50	-3.73	-0.23
5	Madera	3.50	-5.03	-1.53
6	Metálica	1.50	-6.53	-3.03
Rango de medición			-6.53 m hasta +6.46 m	

Tabla 4.1: Detalles de las escalas colocadas en Punta Quilla.

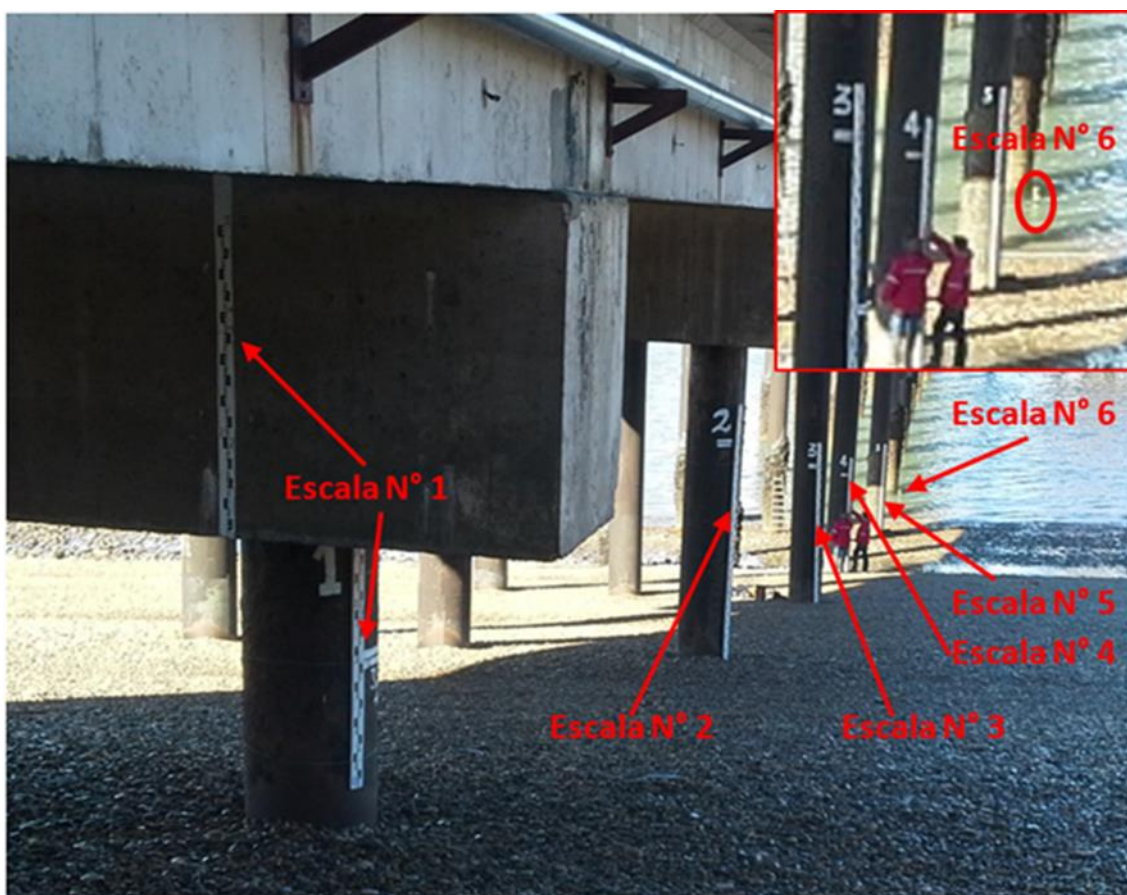


Figura 4.6: Disposición de escalas en Punta Quilla.

¹ Parte de la escala se pintó en uno de los cabezales del puente, ver Figura 4.6.

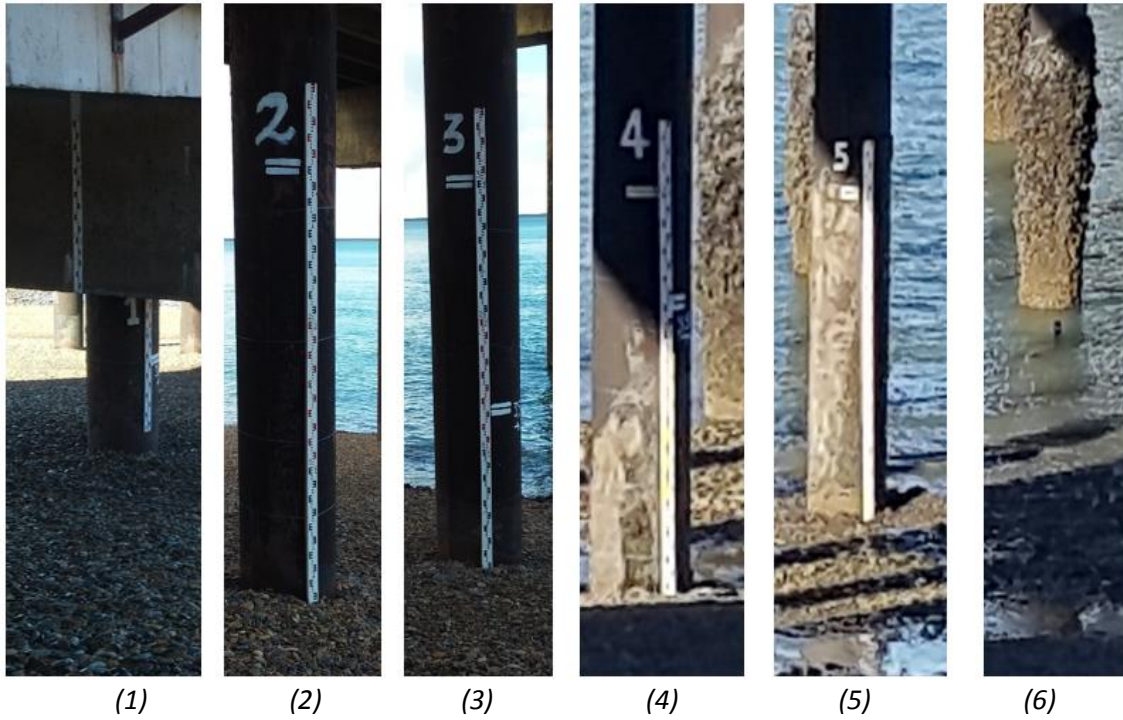


Figura 4.7: Escalas colocadas en Punta Quilla.

Frigorífico

Escala N°	Material	Longitud (m)	Cota mín IGN (m)	Cota máx IGN (m)
1	Madera	3.50	3.58	7.08
2	Madera	1.00	2.58	3.58
3	Metálica	1.50	1.08	2.58
4	Madera	2.50	-1.58	1.08
5	Madera	1.50	-3.08	-1.58
6	Madera	1.00	-4.08	-3.08
Rango de medición			-4.08 m hasta +7.08 m	

Tabla 4.2: Detalles de las escalas colocadas en el Frigorífico.



Figura 4.8: Disposición de las escalas en el Frigorífico.

Toma de Agua

Escala N°	Material	Longitud (m)	Cota mín IGN (m)	Cota máx IGN (m)
1	Madera	1.00	6.70	7.70
2	Madera	1.00	5.70	6.70
3	Metálica	1.50	4.20	5.70
4	Metálica	1.50	2.70	4.20
Rango de medición			+2.70 m hasta +7.70 m	

Tabla 4.3: Detalles de las escalas colocadas en la Toma de Agua.

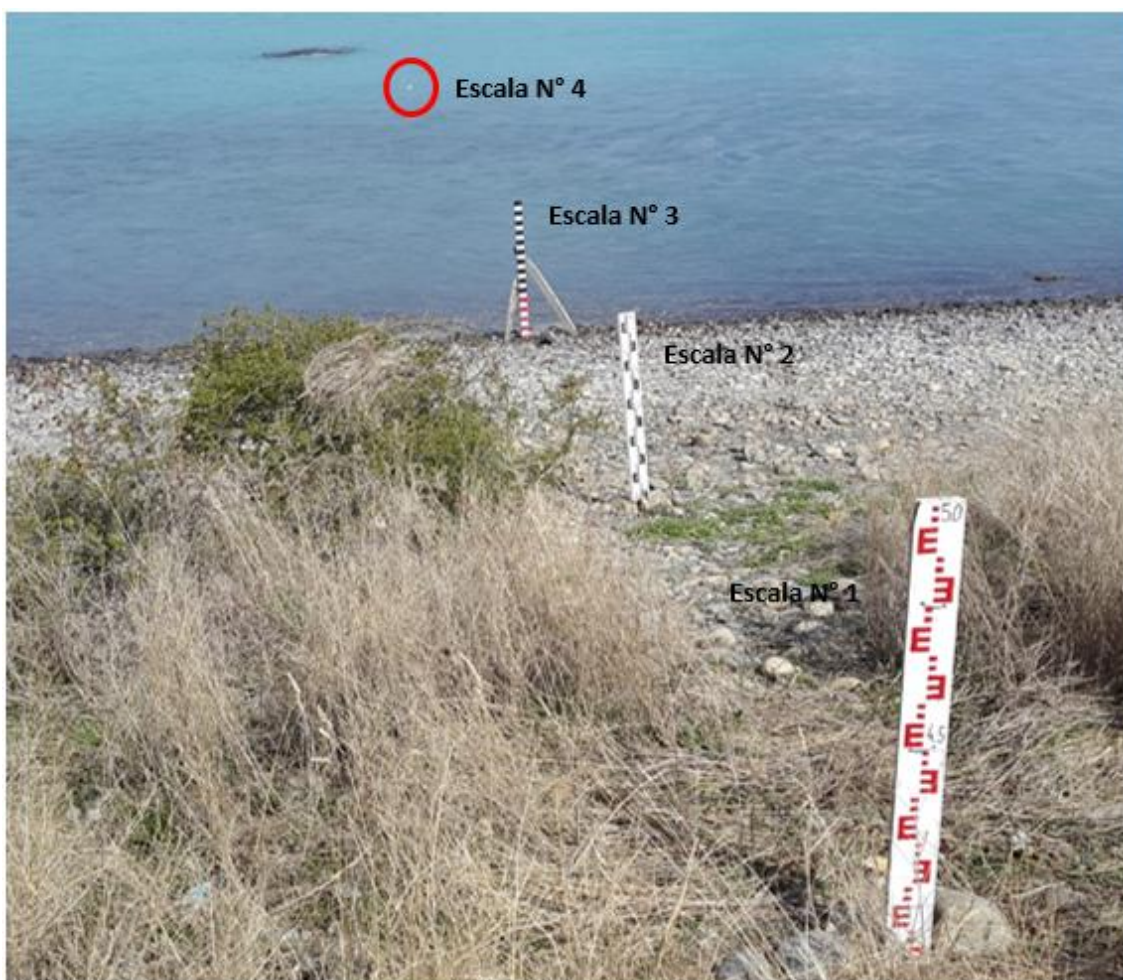



Figura 4.9: Disposición de escalas en la Toma de Agua.

	INFORME: “INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ” INSPECCION DE OBRA DE JC	REV. 01 18/OCT/2016	Pag. 13
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------

Puente Viejo

Escala N°	Material	Longitud (m)	Cota mín IGN (m)	Cota máx IGN (m)
1	Madera	2.00	7.18	9.18
Rango de medición			+7.18 m hasta +9.18 m	

Tabla 4.4: Detalles de las escala colocada en el Puente Viejo.



Figura 4.10: Escala colocada en el Puente Viejo.

5 PLANIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DE LAS LECTURAS

Para alcanzar los objetivos previstos, y en vista de las grandes distancias que hay entre los distintos puntos de medición, fue necesaria una cuidadosa planificación de las tareas y diagramar procedimientos de modo que fueran lo más expeditivos posibles.

5.1 Determinación del día y franja horaria de lecturas


La lectura de las escalas se planificó con el criterio medir un periodo completo de la onda de marea en cada lugar, y con la premisa de que la mayor parte de las tareas se llevaran a la luz del día. En base a lo anterior y apoyados en las predicciones de mareas del Sistema de Hidrografía Naval (SHN), que predecían las mareas de máxima amplitud para los días lunes 17 y martes 18 de octubre (ver recuadro rojo en la Figura 5.1), se estableció el siguiente cronograma de trabajo:

Predicciones de las Pleamares y Bajamares

Octubre / 2016			Noviembre / 2016			Diciembre / 2016		
DIA	HORA	ALT	DIA	HORA	ALT	DIA	HORA	ALT
	h min	m		h min	m		h min	m
01	0550	1,33	16	0500	0,79	01	0630	2,31
S	1131	10,86	D	1054	12,2	MA	1200	10,51
	1809	1,65		1725	0,52	M	1203	12,45
	2344	10,87		2318	12,3	J	1201	10,44
						V	1204	11,91
							1234	11,91
							1919	0,37
02	0626	1,47	17	0547	0,46	02	0021	10,45
D	1203	10,82	L	1139	12,5	M	0658	2,63
	1843	1,71		1812	0,17	J	0705	0,88
						V	0659	3,02
						S	0745	1,38
							1235	10,48
							1323	11,55
							1917	2,12
							2009	0,63
03	0017	10,81	18	0004	12,5	03	0104	10,21
L	0700	1,79	MA	0634	0,4	J	0725	2,95
	1232	10,68		1224	12,6	V	0757	1,25
	1914	1,9		1859	0,11	S	0729	3,11
						D	0836	1,73
							1312	10,44
							1412	11,04
							1950	2,2
							2101	1,05

Figura 5.1: Tabla de predicciones de mareas del SHN.

- Realizar las lecturas el día lunes 17 de octubre, así, en caso de que no se completaran las tareas o hubieran inconvenientes, se tenía la posibilidad de repetir las el día siguiente (martes 18/10). La elección de los días de máxima amplitud de mareas obedecen a condiciones extremas, dado que en esta época el río trae los caudales mínimos. Es decir, se tiene la combinación extrema de río con caudal mínimo y mareas con amplitudes máximas.
- Leer las escalas alrededor de una hora antes del horario del nivel mínimo de marea en Punta Quilla, 5:47 a.m. según las predicciones del SHN, a fin de asegurar de que el primer valle o mínimo caiga dentro de la franja horaria de lecturas. Las lecturas seguirían hasta superar el segundo valle (18:12 según la predicción), esto sería evidente cuando se empezaran a leer niveles crecientes. Así se tendrían dos mínimos sucesivos dentro de la franja de lecturas, es decir, se aseguraba la lectura durante un periodo completo. En principio, y teniendo en cuenta cierto retardo en la propagación de la influencia de la marea hacia aguas arriba, se pensó aplicar este mismo criterio al resto de los lugares para establecer el cronograma de lecturas. Sin embargo, cuando las lecturas empezaron a mostrar una dinámica no esperada y la manifestación de los valles ya no eran tan evidente, se decidió seguir tomando niveles hasta que dos frentes de onda sucesivos pasaran por cada lugar de medición restante (Frigorífico, Toma de Agua y Puente viejo), y así garantizar lecturas durante un periodo completo.
- Realizar las lecturas de escalas cada 15 minutos en forma simultánea en todos los lugares, a las :00, :15, :30 y :45 horas, y en circunstancias que lo ameriten reducir los intervalos de tiempo entre cada lectura. Esto último se aconsejó para cuando la variación del nivel respecto al tiempo sea muy rápido.

	INFORME: "INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ" INSPECCION DE OBRA DE JC	REV. 01 18/OCT/2016	Pag. 15
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------

5.2 Lecturas de escalas en lugares con oleaje

En aquellos lugares con oleaje, en particular Punta Quilla y el Frigorífico, la determinación del nivel del agua se calculó promediando varias lecturas sucesivas en una o más escalas. Con este procedimiento se buscó disminuir la influencia de las oscilaciones sobre el valor leído.

5.3 Predicciones de mareas en cota IGN

El Servicio de Hidrografía Naval mide el nivel de marea respecto a un plano de reducción (cero local), sobre el cual el PFREPERE se encuentra a una cota de 14.62 m. A fin acotar todas las alturas con cotas IGN se transforman las cotas de mareas del SHN a cotas IGN.

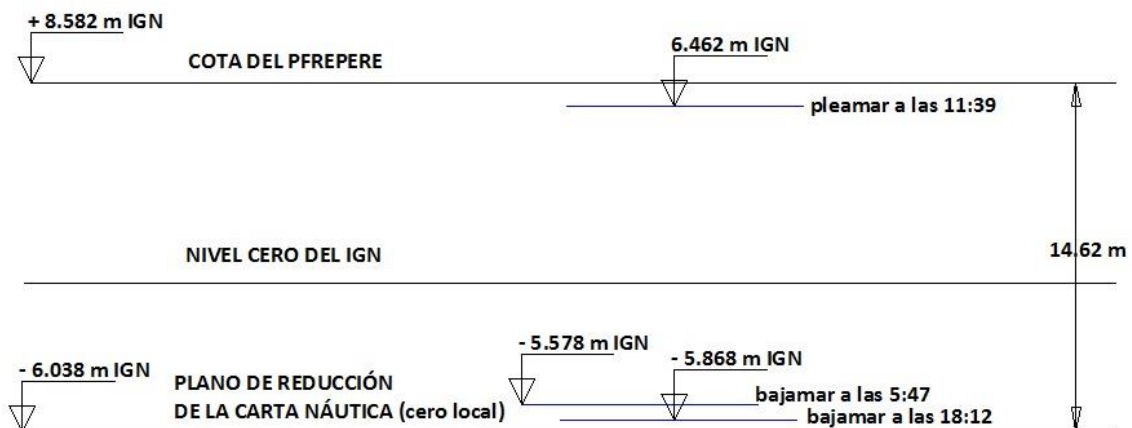


Figura 5.2: Nivel de mareas, según las predicciones del SHN, en cota IGN.

En la Figura 5.2 se puede observar las bajamares y pleamares según la predicción del SHN transformadas a cotas IGN. La transformación es posible a partir de los siguientes datos:

- Según SHN, la cota del PFREPERE está 14.62 m por encima del plano de reducción (cero local).
- En los trabajos topográficos llevados a cabo por personal de la inspección (ver Punto 3 de este informe) se determinó la cota IGN del PFREPERE en 8.582 m.

Por lo tanto, la cota IGN del plano de reducción (CotaPR) viene dada por:

$$\text{CotaPR} = 8.582 - 14.62 = -6.038 \text{ m}$$

Obtenido el valor CotaPR, las cotas de las bajamares y pleamares se pueden calcular como

$$\text{Bajamar5:47} = -6.038 \text{ m} + 0.46 \text{ m} = -5.578 \text{ m}$$

$$\text{Pleamar11:39} = -6.038 \text{ m} + 12.5 \text{ m} = +6.462 \text{ m}$$

$$\text{Bajamar18:12} = -6.038 \text{ m} + 0.17 \text{ m} = -5.868 \text{ m}$$

6 RESULTADOS

6.1 Niveles máximos y periodos

A continuación se presentan tabulados los niveles mínimos y máximos obtenidos en las estaciones de medición, así como también los horarios en que se alcanzaron dichos valores.

También los valores antes mencionados se pueden apreciar de forma aproximada en la Figura 6.1, que corresponde a las curvas obtenidas al volcar los datos relevados en un sistema de ejes Hora – Cota IGN

- Puerto de Punta Quilla

Condición de marea	Cota IGN	Hora
Bajamar	-5.53	5:47
Pleamar	+5.79	11:39
Bajamar	-5.73	18:12
Periodo		12 h 25 min

Tabla 6.1: Cota IGN y horarios y periodo de las bajamares y pleamares medidos en Punta Quilla.

- Frigorífico, Toma de Agua y Puente Viejo

Lugar	Cota máxima IGN (m)	Hora
Frigorífico	6.52	12:15
Toma de Agua	7.24	12:55
Puente Viejo	7.87	13:30


Tabla 6.2: Cota IGN y horarios de las bajamares y pleamares medidos en el Frigorífico, Toma de Agua y Puente Viejo.

También es interesante determinar el periodo de la onda, o pasaje de la onda, en cada estación de medición.

Para el caso de Punta Quilla el periodo se corresponde con el intervalo de tiempo que hay entre las bajamares sucesivas.

En el resto de los lugares, sin embargo, dado que ya no se manifiesta un mínimo o valle puntual, es imposible obtener el periodo en base a este procedimiento, siendo necesario recurrir a otra metodología, que se explica a continuación.

Se entiende que el frente de onda llega a la estación de lectura cuando se evidencia una variación brusca del nivel del agua. En base a este criterio y observando la Figura 6.1, o a partir de los datos de la planilla de campo, se obtienen los siguientes periodos para cada estación de lectura.

 <p>INSPECCIÓN Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz Presas N. Kirchner-J. Cepernic</p>	<p>INFORME: "INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ"</p> <p>INSPECCION DE OBRA DE JC</p>	<p>REV. 01 18/OCT/2016</p>	<p>Pag. 17</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------

Lugar	Primer pasaje	Segundo pasaje	Periodo
Frigorífico	08:30	21:05	12 h 35 min
Toma de Agua	11:15	23:45	12 h 35 min
Puente Viejo	12:45	01:00	12 h 15 min

Tabla 6.3: Periodos del pasaje del frente de onda en cada lugar de medición.

Por lo tanto, se puede ver que el periodo tiene una duración aproximada de 12 h y 30 min.

A continuación, en la Tabla 6.4, se presentan los retardos de los niveles máximos en las estaciones de lecturas respecto a Punta Quilla.

Lugar	Hora de la pleamar	Retardo
Punta Quilla	11:39	---
Frigorífico	12:15	36 min
Toma de Agua	12:55	1 h 16 min
Puente Viejo	13:30	1 h 51 min

Tabla 6.4: Retardos para alcanzar el nivel máximo respecto a Punta Quilla.

Por último, en la Figura 6.1 se presentan los datos graficados en un sistema de ejes Hora – Cota IGN, así como también tabulados en la Tabla 6.5.

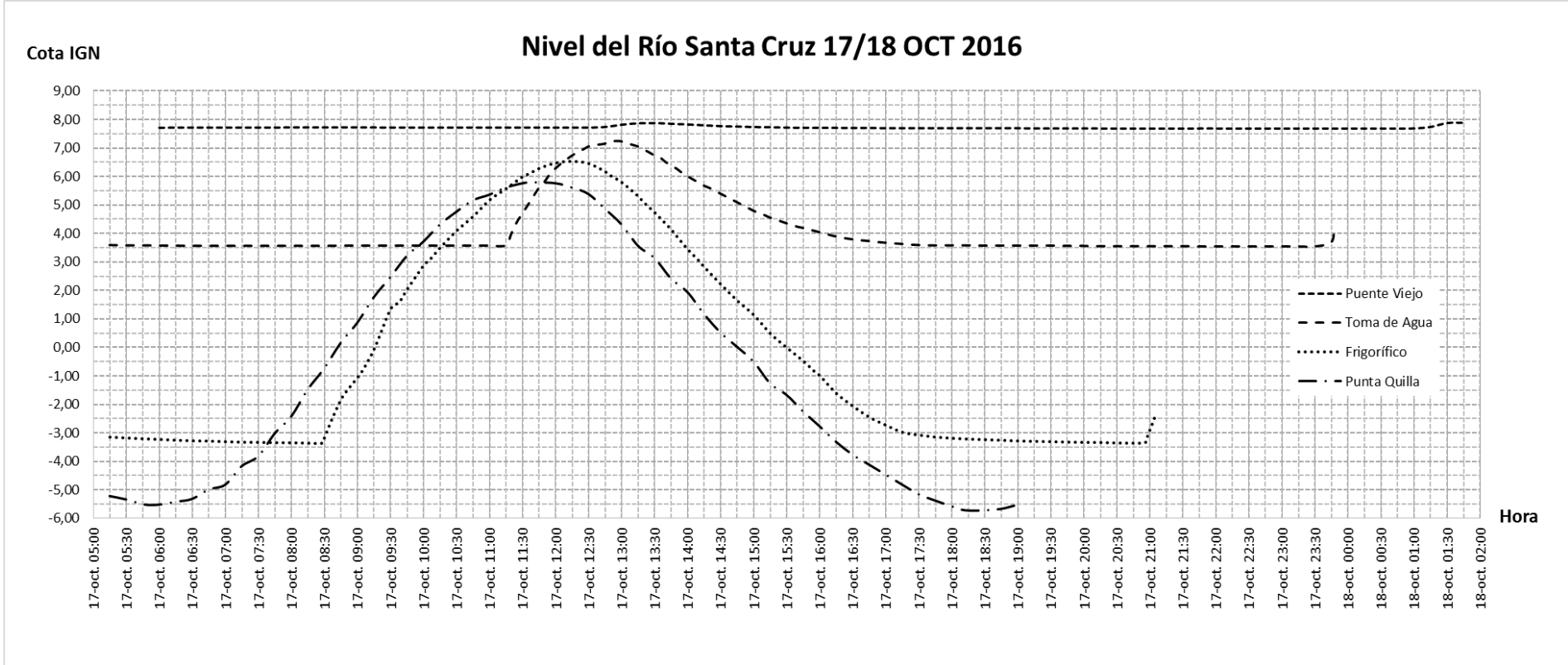


Figura 6.1: Gráfico de los niveles de agua en las distintas estaciones de lecturas.

Planilla de niveles en las cuatro estaciones de lectura							
Punta Quilla		Frigorífico		Toma de Agua		Puente Viejo	
Hora	Cota IGN	Hora	Cota IGN	Hora	Cota IGN	Hora	Cote IGN
17-oct. 05:15	-5,230	17-oct. 05:15	-3,159	17-oct. 05:15	3,60	17-oct. 06:00	7,705
17-oct. 05:30	-5,350	17-oct. 05:30	-3,189	17-oct. 05:30	3,59	17-oct. 06:15	7,709
17-oct. 05:47	-5,530	17-oct. 05:45	-3,219	17-oct. 05:45	3,59	17-oct. 06:30	7,710
17-oct. 06:00	-5,530	17-oct. 06:00	-3,239	17-oct. 06:00	3,58	17-oct. 06:45	7,710
17-oct. 06:15	-5,430	17-oct. 06:15	-3,269	17-oct. 06:15	3,58	17-oct. 07:00	7,710
17-oct. 06:30	-5,330	17-oct. 06:23	-3,279	17-oct. 06:30	3,57	17-oct. 07:15	7,710
17-oct. 06:45	-5,000	17-oct. 06:30	-3,289	17-oct. 06:45	3,57	17-oct. 07:30	7,710
17-oct. 07:00	-4,830	17-oct. 06:45	-3,299	17-oct. 07:00	3,57	17-oct. 07:45	7,711
17-oct. 07:15	-4,180	17-oct. 07:00	-3,319	17-oct. 07:15	3,57	17-oct. 08:00	7,714
17-oct. 07:30	-3,830	17-oct. 07:15	-3,339	17-oct. 07:30	3,57	17-oct. 08:15	7,715
17-oct. 07:45	-3,030	17-oct. 07:30	-3,344	17-oct. 07:45	3,57	17-oct. 08:30	7,715
17-oct. 08:00	-2,430	17-oct. 07:45	-3,354	17-oct. 08:00	3,57	17-oct. 08:45	7,716
17-oct. 08:15	-1,480	17-oct. 08:00	-3,359	17-oct. 08:15	3,57	17-oct. 09:00	7,717
17-oct. 08:30	-0,740	17-oct. 08:15	-3,369	17-oct. 08:30	3,57	17-oct. 09:15	7,714
17-oct. 08:45	0,160	17-oct. 08:28	-3,369	17-oct. 08:45	3,58	17-oct. 09:30	7,712
17-oct. 09:00	0,860	17-oct. 08:30	-3,169	17-oct. 09:00	3,58	17-oct. 09:45	7,712
17-oct. 09:15	1,760	17-oct. 08:38	-2,419	17-oct. 09:15	3,58	17-oct. 10:00	7,710
17-oct. 09:30	2,460	17-oct. 08:45	-1,839	17-oct. 09:30	3,58	17-oct. 10:15	7,710
17-oct. 09:45	3,210	17-oct. 08:50	-1,549	17-oct. 09:45	3,58	17-oct. 10:30	7,710
17-oct. 10:00	3,710	17-oct. 09:00	-1,069	17-oct. 10:00	3,58	17-oct. 10:45	7,713
17-oct. 10:15	4,310	17-oct. 09:03	-0,919	17-oct. 10:15	3,58	17-oct. 11:00	7,710
17-oct. 10:30	4,760	17-oct. 09:15	-0,079	17-oct. 10:30	3,58	17-oct. 11:15	7,710
17-oct. 10:45	5,160	17-oct. 09:30	1,331	17-oct. 10:45	3,58	17-oct. 11:30	7,711
17-oct. 11:00	5,360	17-oct. 09:38	1,581	17-oct. 11:00	3,58	17-oct. 11:45	7,711
17-oct. 11:15	5,610	17-oct. 09:45	2,021	17-oct. 11:15	3,59	17-oct. 12:00	7,708
17-oct. 11:30	5,760	17-oct. 10:00	2,861	17-oct. 11:20	4,00	17-oct. 12:15	7,708
17-oct. 11:39	5,790	17-oct. 10:06	3,081	17-oct. 11:25	4,40	17-oct. 12:30	7,710
17-oct. 12:00	5,760	17-oct. 10:15	3,481	17-oct. 11:30	4,70	17-oct. 12:45	7,730
17-oct. 12:15	5,610	17-oct. 10:30	4,081	17-oct. 11:35	5,00	17-oct. 13:00	7,810
17-oct. 12:30	5,380	17-oct. 10:45	4,581	17-oct. 11:40	5,30	17-oct. 13:15	7,862
17-oct. 12:45	4,860	17-oct. 11:00	5,161	17-oct. 11:45	5,60	17-oct. 13:30	7,870
17-oct. 13:00	4,310	17-oct. 11:15	5,561	17-oct. 11:50	5,81	17-oct. 13:45	7,845
17-oct. 13:15	3,560	17-oct. 11:30	5,981	17-oct. 11:55	6,08	17-oct. 14:00	7,820
17-oct. 13:30	3,130	17-oct. 11:36	6,081	17-oct. 12:00	6,28	17-oct. 14:15	7,790
17-oct. 13:45	2,410	17-oct. 11:45	6,271	17-oct. 12:05	6,45	17-oct. 14:30	7,760
17-oct. 14:00	1,930	17-oct. 12:00	6,461	17-oct. 12:10	6,60	17-oct. 14:45	7,745
17-oct. 14:15	1,160	17-oct. 12:15	6,521	17-oct. 12:15	6,73	17-oct. 15:00	7,730
17-oct. 14:30	0,510	17-oct. 12:30	6,441	17-oct. 12:20	6,85	17-oct. 15:15	7,720
17-oct. 14:45	0,010	17-oct. 12:45	6,161	17-oct. 12:25	6,94	17-oct. 15:30	7,710
17-oct. 15:00	-0,510	17-oct. 12:47	6,081	17-oct. 12:30	7,05	17-oct. 15:45	7,705
17-oct. 15:15	-1,270	17-oct. 13:00	5,781	17-oct. 12:35	7,10	17-oct. 16:00	7,700
17-oct. 15:30	-1,680	17-oct. 13:15	5,291	17-oct. 12:40	7,12	17-oct. 16:15	7,700
17-oct. 15:45	-2,260	17-oct. 13:20	5,081	17-oct. 12:45	7,15	17-oct. 16:30	7,698
17-oct. 16:00	-2,780	17-oct. 13:30	4,721	17-oct. 12:50	7,23	17-oct. 16:45	7,698
17-oct. 16:15	-3,330	17-oct. 13:45	4,131	17-oct. 12:55	7,24	17-oct. 17:00	7,690
17-oct. 16:30	-3,780	17-oct. 13:46	4,081	17-oct. 13:00	7,23	17-oct. 17:15	7,690
17-oct. 16:45	-4,130	17-oct. 14:00	3,431	17-oct. 13:10	7,11	17-oct. 17:30	7,690
17-oct. 17:00	-4,480	17-oct. 14:09	3,081	17-oct. 13:15	7,05	17-oct. 17:45	7,690
17-oct. 17:15	-4,830	17-oct. 14:15	2,811	17-oct. 13:20	6,95	17-oct. 18:00	7,690



17-oct. 17:30	-5,170	17-oct. 14:30	2,211	17-oct. 13:25	6,85	17-oct. 18:15	7,690
17-oct. 17:45	-5,390	17-oct. 14:45	1,631	17-oct. 13:30	6,74	17-oct. 18:30	7,690
17-oct. 18:00	-5,590	17-oct. 15:00	1,131	17-oct. 13:35	6,67	17-oct. 18:45	7,690
17-oct. 18:12	-5,730	17-oct. 15:15	0,481	17-oct. 13:40	6,51	17-oct. 19:00	7,690
17-oct. 18:30	-5,730	17-oct. 15:30	-0,019	17-oct. 13:45	6,38	17-oct. 19:15	7,680
17-oct. 18:45	-5,680	17-oct. 15:45	-0,489	17-oct. 13:50	6,28	17-oct. 19:30	7,680
17-oct. 19:00	-5,530	17-oct. 15:57	-0,919	17-oct. 13:55	6,13	17-oct. 19:45	7,680
		17-oct. 16:00	-0,999	17-oct. 14:00	6,01	17-oct. 20:00	7,680
		17-oct. 16:15	-1,619	17-oct. 14:05	5,90	17-oct. 20:15	7,680
		17-oct. 16:30	-2,069	17-oct. 14:10	5,79	17-oct. 20:30	7,675
		17-oct. 16:45	-2,459	17-oct. 14:15	5,68	17-oct. 20:45	7,675
		17-oct. 17:00	-2,739	17-oct. 14:20	5,60	17-oct. 21:00	7,675
		17-oct. 17:15	-2,989	17-oct. 14:25	5,50	17-oct. 21:15	7,675
		17-oct. 17:30	-3,089	17-oct. 14:30	5,40	17-oct. 21:30	7,675
		17-oct. 17:45	-3,159	17-oct. 14:35	5,30	17-oct. 21:45	7,677
		17-oct. 18:00	-3,199	17-oct. 14:40	5,20	17-oct. 22:00	7,677
		17-oct. 18:15	-3,229	17-oct. 14:45	5,10	17-oct. 22:15	7,675
		17-oct. 18:30	-3,249	17-oct. 14:50	5,00	17-oct. 22:30	7,675
		17-oct. 18:45	-3,269	17-oct. 14:55	4,90	17-oct. 22:45	7,676
		17-oct. 19:00	-3,294	17-oct. 15:00	4,80	17-oct. 23:00	7,676
		17-oct. 19:15	-3,309	17-oct. 15:05	4,72	17-oct. 23:15	7,676
		17-oct. 19:30	-3,319	17-oct. 15:10	4,65	17-oct. 23:30	7,676
		17-oct. 19:45	-3,334	17-oct. 15:15	4,56	17-oct. 23:45	7,676
		17-oct. 20:00	-3,344	17-oct. 15:20	4,50	18-oct. 00:00	7,676
		17-oct. 20:15	-3,349	17-oct. 15:25	4,43	18-oct. 00:15	7,676
		17-oct. 20:30	-3,364	17-oct. 15:30	4,36	18-oct. 00:30	7,677
		17-oct. 20:45	-3,369	17-oct. 15:35	4,30	18-oct. 00:45	7,676
		17-oct. 20:56	-3,349	17-oct. 15:40	4,24	18-oct. 01:00	7,679
		17-oct. 20:58	-3,119	17-oct. 15:45	4,20	18-oct. 01:15	7,730
		17-oct. 21:05	-2,419	17-oct. 15:50	4,15	18-oct. 01:30	7,870
				17-oct. 15:55	4,10	18-oct. 01:45	7,880
				17-oct. 16:00	4,05		
				17-oct. 16:15	3,90		
				17-oct. 16:30	3,80		
				17-oct. 16:45	3,74		
				17-oct. 17:00	3,68		
				17-oct. 17:15	3,64		
				17-oct. 17:30	3,60		
				17-oct. 17:45	3,59		
				17-oct. 18:00	3,59		
				17-oct. 18:15	3,59		
				17-oct. 18:30	3,58		
				17-oct. 18:45	3,58		
				17-oct. 19:00	3,58		
				17-oct. 19:15	3,58		
				17-oct. 19:30	3,58		
				17-oct. 19:45	3,57		
				17-oct. 20:00	3,57		
				17-oct. 20:15	3,56		
				17-oct. 20:30	3,56		
				17-oct. 20:45	3,56		
				17-oct. 21:00	3,56		
				17-oct. 21:15	3,56		

 <p>INSPECCIÓN Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz Presas N. Kirchner-J. Cepernic</p>	<p>INFORME: "INFLUENCIA DE LA MAREA SOBRE EL RÍO SANTA CRUZ" <i>INSPECCION DE OBRA</i></p>	<p>REV. 01 18/OCT/2016</p>	<p>Pag. 21</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------

		<p>17-oct. 21:30 3,56 17-oct. 21:45 3,55 17-oct. 22:00 3,55 17-oct. 22:15 3,55 17-oct. 22:30 3,55 17-oct. 22:45 3,55 17-oct. 23:00 3,55 17-oct. 23:15 3,55 17-oct. 23:30 3,55 17-oct. 23:45 3,70 17-oct. 23:48 4,20</p>	
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Tabla 6.5: Datos obtenidos en campo. En amarillo los valores mínimos y comienzo de variación brusca; en verde los niveles máximos alcanzados.

7 ANEXO – CAUDAL DEL RÍO Y DESCRIPCIÓN DEL LECHO.

7.1 Estimación del caudal del río

Un parámetro fundamental para llevar a cabo el estudio de la dinámica de la interacción río – mareas es el caudal del primero. Entonces, dado a que no se tiene una ley H-Q en la zona de estudio, se va estimar el valor del caudal en base a lo siguiente:

- Se tiene una ley H-Q del río en la estación de aforo Charles Fuhr. Se asume que el caudal que se mide en dicha estación es el mismo que, con cierto retardo, pasa por las estaciones de lecturas, mencionadas en la parte principal del informe.
- La longitud medida sobre el río entre la estación Charles Fuhr y Cmte Piedra Buena es de aproximadamente 300 km.
- Se considera una velocidad promedio en el río de 1,5 m/s, es decir, 5.4 km/h. Entonces, se puede decir que el río tarda 55.5 horas (2.3 días) en recorrer desde Charles Fuhr hasta Cmte Piedra Buena.

Las lecturas tomadas en Charles Fuhr (sección donde se tiene una ley H-Q) anteriores a la fecha de medición del nivel del río son las que se presentan en la Tabla 7.1, en donde se ha promediado los datos del 11, 14 y 17 de octubre para asegurarse de que los días de retardo caigan dentro de dichas fechas límites. El promedio de los valores arroja un caudal de 304.5 m³/s, que se adopta como el caudal que transportaba el río en el día de los relevamientos de niveles.

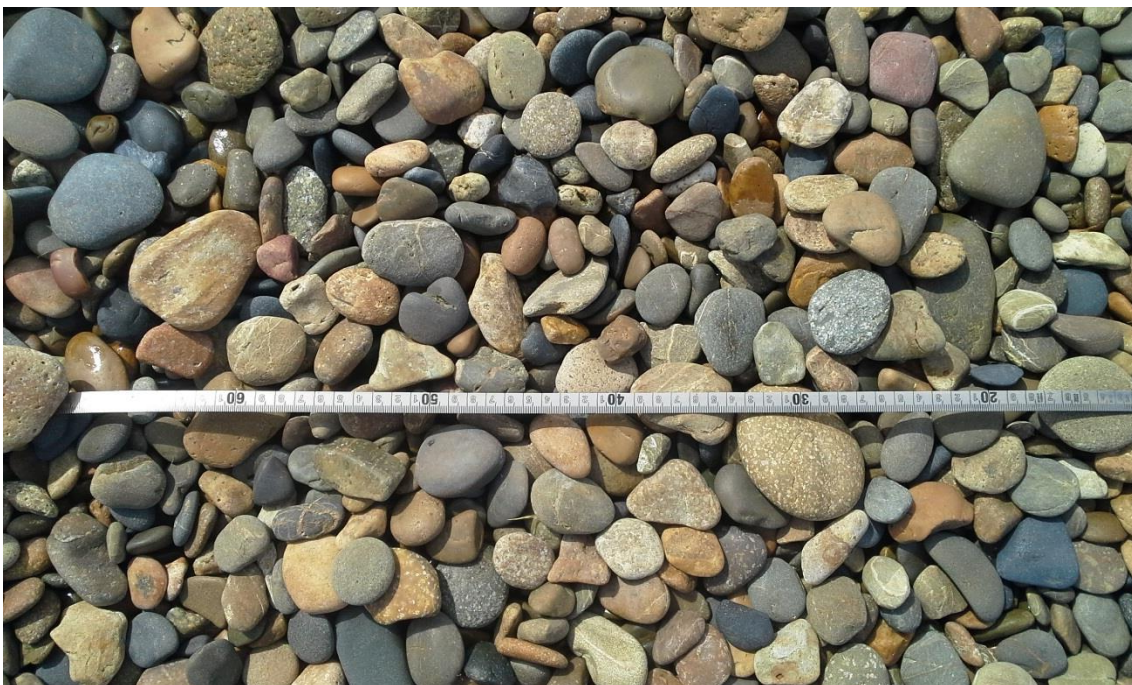
Lecturas de escala y Q en Charles Fuhr				
Fecha y hora	Lectura	Cota IGN [m]	Q [m ³ /s]	Operador
11-oct. 12:30	1,00	173,167	293,9	UTE
14-oct. 10:40	1,15	173,317	323,6	Inspección
17-oct. 09:30	1,01	173,177	295,8	Inspección
Promedios	1,05 m		304,5 m³/s	

Tabla 7.1. Lecturas realizadas en la estación de aforo Charles Fuhr.

7.2 Breve descripción del lecho del río

El principal parámetro de interés relacionado con el lecho del río es la rugosidad. Para aportar algunos datos a tal fin, a continuación se presentan fotografías de los materiales que componen el lecho del río en cada uno de los lugares de medición de niveles.

Punta Quilla



Frigorífico



Nota: Utilizar la escala como referencia.

Toma de Agua



Nota: Utilizar la escala como referencia.



Puente Viejo



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

ACTUALIZACIÓN

CAPÍTULO 3 – LÍNEA DE BASE AMBIENTAL Y ESTUDIOS ESPECIALES

PUNTO 2 - MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ

2	MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ	2
2.1	INTRODUCCIÓN	2
2.2	METODOLOGÍA	4
2.2.1	Informe de Campo	4
2.2.2	Informe de Avance del Estudio	11
2.3	RESULTADOS	13
2.3.1	Informe de Campo	13
2.3.2	Informe de Avance	20
2.4	CONCLUSIONES	48
2.4.1	Informe de Campo	48
2.4.2	Informe de Avance	48
2.5	CONCLUSIONES GENERALES	52
2.6	BIBLIOGRAFÍA	53

2 MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ

2.1 INTRODUCCIÓN

En el EIA del proyecto original (Serman & asociados s.a, 2015a para Represas Patagonia) se ha incluido un análisis de los “Riesgos que requieren estudios especiales”, definidos como alteraciones que pueden ocurrir, con alta probabilidad, pero cuyos efectos no pueden ser valorados debido a la falta de conocimiento disponible en el momento de elaboración del EIA, por lo cual se requiere de la construcción de modelos y de comprobaciones de campo.

En particular, se consideró que el último tramo del río tiene características estuariales debido a la influencia del régimen de mareas. Esto determina que de acuerdo a los antecedentes disponibles, desde el kilómetro cero hasta el 55-60, el escurrimiento de las aguas del río se ve afectado y parcialmente frenado periódicamente durante los períodos de creciente del ciclo de mareas. La extensión de la pluma marina de mayor salinidad varía estacionalmente por influencia astronómica, y también por la variación de caudal del río.

Los caudales significativamente menores que se darán durante el llenado, determinarán que la zona estuarial se extienda aguas arriba y aumente la influencia salina en el estuario, en una superficie que debe ser adecuadamente estudiada.

Se indicó en el EIA del proyecto original que este efecto también podría darse diariamente durante la fase de acumulación de agua en los embalses. Esta consideración ya no es válida al haberse cambiado la forma de operación de los embalses a un funcionamiento de base, el cual considera que todo el flujo fluvial ingresante al sistema es erogado sin reducciones. No se producirán por lo tanto los fuertes empuntamientos y reducciones diarias del caudal del río aguas debajo de JC. Por tal motivo, solamente queda a dilucidar el posible efecto de mayor avance de la pluma de agua salina hacia aguas arriba, durante el período de llenado,

Dado que no se dispuso de información que permitiera conocer objetivamente este riesgo, se requirió realizar un modelo que permita conocer la calidad de las aguas en el área de contacto estuarial y prever posibles cambios debido a la diferente distribución de caudales.

La UTE contrató a tal efecto a la empresa Ezcurra & Schmidt S.A. (ESSA), la cual es una consultora orientada a la solución de problemas ambientales, operaciones de campo e ingeniería de costas, y la oceanografía e hidrografía aplicadas, consolidada bajo una estructura empresaria formal en 1996. Sus fundadores son oceanógrafos. Ha realizado hasta el año 2015, 83 estudios con operaciones de campo, 72 asociados a medio ambiente y 46 a ingeniería. De estos estudios, 88 han implicado modelización matemática, disponiendo la empresa de software específico de última generación. ESSA posee un amplio equipamiento de medición y muestreo, y tiene amplia experiencia en mediciones de campo en áreas marítimas y fluviales.

Los profesionales a cargo del presente estudio son los siguientes:

Sergio Schmidt. Director del Proyecto en Gabinete. Presidente y socio fundador de Ezcurra & Schmidt S.A.

Es Oceanógrafo del Instituto Tecnológico Buenos Aires (ITBA) de Argentina y Doctor of Philosophy, Coastal and Oceanographic Engineering, University of Florida, USA.

Es especialista en ingeniería de costas y oceanografía costera. Es experto en modelación numérica de fenómenos físico-ingenieriles, tales como erosión de costas y su control, hidrodinámica costera, canales dragados, dispersión de contaminantes, derrames de petróleo, clima de olas, impacto de acciones costeras, entre otros. Ha liderado y trabajado en proyectos relacionados a dragados, instalaciones portuarias, mejoramiento de canales y cursos de agua, puertos deportivos, estabilidad de playas, evaluaciones ambientales asociados a manejos de costas, desarrollo de obras y estructuras costeras, dragados, puertos, e industria del petróleo offshore, entre otros.

Es profesor de grado y posgrado de la Universidad de Buenos Aires y tiene a su cargo el área de Oceanografía Costera. Es profesor de la Universidad del Salvador, en la Carrera de Ciencias Ambientales.

Horacio Ezcurra. Director de Proyecto en Campo. Jefe de Operaciones. Es socio fundador de Ezcurra & Schmidt S.A.

Es Oceanógrafo del Instituto Tecnológico Buenos Aires (ITBA), Piloto de Ultramar de Primera (marina mercante argentina), Oficial de Marina egresado de la Escuela Naval Militar y retirado como Teniente de Navío, especializado en Oceanografía. Especialista, con más de 35 años de experiencia en proyectos costeros de todo tipo, tanto ambientales como ingenieriles, especialmente en operaciones de levantamientos oceanográficos e hidrográficos aplicados, operaciones de levantamientos diversificados en ríos, costas en general y en el mar, y gestión ambiental. Experto en operaciones de todo tipo en el mar, costas y ríos, aplicadas a adquisición de datos para proyectos de investigación científica, ambiental e ingenieril. Diseño de instrumentos para proyectos, como vibrocócorers, muestreadores especiales, equipos para maniobras no convencionales. Ha conducido extensas operaciones multidisciplinarias para estudios ambientales e ingenieriles, liderando equipos de múltiples profesiones y especialidades.

Gabriel Danieli. Modelación Matemática

Gabriel Danieli es oceanógrafo de la Universidad de Buenos Aires y parte del staff de Ezcurra & Schmidt S.A. desde el año 2003. Allí se especializó en modelación matemática de sistemas naturales trabajando en proyectos asociados a la oceanografía, ingeniería y el medioambiente.

ESSA le ha permitido participar en más de 60 proyectos de diversas temáticas ampliando sus conocimientos y capacidades, diversificándose y usando la oceanografía para resolver problemas de la ingeniería y el medioambiente. En ambos casos principalmente en el mar, pero también en proyectos de calidad de aire y aguas subterráneas, siempre desde la aplicación de modelos numéricos. Entre los modelos y software específicos que ha utilizado y utiliza actualmente se encuentran: DHI MIKE 3 (HD), DHI MIKE 21 (HD), DHI MIKE 3/21 (PA), DHI MIKE 3/21 (SA), CMS Flow, CMS Wave, Delft SWAN, Delft CRESS, MixZon CORMIX, Waterloo Hydrogeologic Visual Modflow, Matlab Acoustic Toolbox, Bellhop Model, ISCST3, Air Quality Model, SCREEN, Air Quality Model. También ha participado de campañas en zonas que van desde las playas hasta unos 100 m de profundidad, realizando diferentes tipos de muestreos.

Marcelo Gramaglia. Técnico en electrónica. Operador de equipos en el mar. Asistente de Modelación. Experto en tareas de campo y navegación. Amplia experiencia en el planeamiento y ejecución de operaciones de campo tanto en el mar como en las costas, desde 1994. Ha participado en proyectos de investigación oceanográfica aplicada, hidrografía, levantamientos y operaciones de muestreos de diversos tipos en ambientes costeros, fluviales y oceánicos, y construcción naval liviana.

Pablo Ezcurra. Asistente de Operaciones

Tiene una amplia experiencia como técnico en trabajos de investigación de campo en ríos y ambientes costeros/ marítimos. Ha participado en extensas operaciones de relevamientos hidrográficos, mediciones hidráulicas y estudios de suelos con sismica de reflexión. Ha construido prácticamente todo el equipamiento de muestreos de Ezcurra y Schmidt S.A.

2.2 METODOLOGÍA

A la fecha de redacción de la presente evaluación, se dispone de información parcial sobre el desarrollo de estos estudios, presentada en los siguientes informes, los cuales se adjuntan como Anexos del presente documento:

- Informe de Campo. 10/01/2017 (Anexo I)
- Informe de Avance. Marzo de 2017 (Anexo II)

Se describe a continuación la metodología utilizada y presentada en estos informes:

2.2.1 Informe de Campo

En el Informe de Campo, se documentan las actividades desarrolladas durante una campaña de mediciones de campo, realizada en el Estuario del Río Santa Cruz, entre los días 11 y 29 de diciembre de 2016, y los resultados preliminares obtenidos.

El objetivo principal de la campaña fue obtener datos medidos, en varios lugares de los parámetros que caracterizan los procesos físicos y dinámicos de este estuario, con el objeto posterior de usar esos datos para calibrar modelos numéricos de simulación del funcionamiento del estuario. Estos modelos a su vez, son usados para contribuir a evaluar el potencial impacto ambiental del llenado y la operación de los dos nuevos proyectos de represas a ser construidas sobre el Río Santa Cruz.

Se destaca que el estuario del Río Santa Cruz es un ambiente muy especial, y particularmente dinámico en sus procesos oceanográficos físicos. 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.

El informe incluye los siguientes anexos:

- ANEXO 01, Bitácora de las operaciones: Una descripción cronológica, con días y horas de todas las operaciones realizadas en la campaña de mediciones
- ANEXO 02, Fotografías documentales: Una selección de fotos que ilustran el medio ambiente y las tareas hechas.
- ANEXO 03, Ejemplos gráficos de datos medidos: Se han incluido, como ejemplo, resultados de las mediciones a fin de ilustrar la particular dinámica de este estuario
- ANEXO 04, Muestras entregadas: El listado con los datos de las muestras entregadas en el Obrador de la UTE Represas, en Comandante Piedrabuena.

Las mediciones realizadas se presentan a continuación en forma resumida, brindándose información más detallada en el punto correspondiente a los resultados obtenidos.

- MEDICIONES EN ESTACIONES OCEANOGRÁFICAS FIJAS

Se instalaron dos estaciones oceanográficas completas, de registro automático, una en el mar, afuera del estuario (Estación "MAR") y otra dentro del mismo (Estación "ESTUARIO"). El objeto de instalar estas estaciones fue medir, durante 10 ciclos completos de mareas semidiurnas las siguientes variables oceanográficas:

1. Perfil vertical de velocidades, cada 10 minutos, con 2 equipos ADCP Nortek AWAC, de 600 kHz y 400 kHz de frecuencia acústica.
2. Salinidad, Temperatura, Mareas y Turbidez, cada 10 minutos, con 2 equipos turbidímetros nefelométricos digitales OBS-3A.

El sistema de fondeo incluye un implante especial, que se instala en el fondo, apoyado sobre su base, la cual tiene lastres de plomo de 120 kg de peso para mantenerlo en su sitio, con una línea de recuperación que lo vincula a otro elemento de plomo de 50 kg de peso (“muerto”) y a un ancla adicional tipo Bruce de 20 kg.

Las ubicaciones donde fueron instalados los equipos se presentan en la siguiente figura.

Figura 01 - Ubicación en el estuario de las estaciones oceanográficas fijas "Mar", "Estuario" y "Estuario 2".



Fondeo Estación fija de mediciones “MAR”

SITIO MAR FONDEO: 14 dic 2016 1507 horas	PUNTO	LATITUD WGS 84	LONGITUD WGS 84	S [m]	Hm [m]	SR [m]
	EQUIPOS	50° 10.559´ (s)	068° 12.709´(w)	15	3.3	11.7
	RECUPERACIÓN	50° 10.565´ (s)	068° 12.706´(w)			
	MUERTO	50° 10.572´ (s)	068° 12.702´(w)			

Notas:

S: Sondaje tomado al fondear los equipos, en metros.

Hm: Altura de marea estimada de tabla, en metros.

SR: Sondaje reducido al cero hidrográfico local, en metros.

Fondeo Estación fija de mediciones “ESTUARIO 2”. Segunda posición de re-instalación.

SITIO ESTUARIO 2 FONDEO: 22 dic 2016 1337 horas	PUNTO	LATITUD WGS 84	LONGITUD WGS 84	S [m]	Hm [m]	SR [m]
	EQUIPOS	49° 58.530' (s)	068° 32.169' (w)	3.0	3.92	-.92
	RECUPERACIÓN	49° 58.523' (s)	068° 32.174' (w)			
	MUERTO	49° 58.515' (s)	068° 32.180' (w)			

Notas:

S: Sondaje tomado al fondear los equipos, en metros.

Hm: Altura de marea estimada de tabla, en metros.

SR: Sondaje reducido al cero hidrográfico local, en metros.

Figura 2-1 Sitios de instalación de las estaciones fijas de mediciones

Al recuperar la Estación "Estuario", se observó que tanto la estructura del implante, como los equipos en sí, presentaban señales de daños por haber sido arrastrados sobre el fondo rocoso, y haberse invertido todo el conjunto, y haber arrastrado y golpeado contra las rocas de ese fondo duro, formado por cantos rodados grandes. El conector entre el equipo y el pack de baterías presentaba signos de estar dañado y haber perdido estanqueidad.

Es posible que el daño se haya producido durante la maniobra de fondeo, en el centro de un canal más profundo con corrientes intensas, o bien que el implante completo haya sido arrastrado unos metros por una masa derivante de algas gigantes "Cachiyuyos", *Macrocytis Pyrifera*.

Por tal motivo, se realizó un nuevo fondeo en otro punto cercano, pero con menos profundidad y corriente, durante cuatro ciclos de marea completos. Se utilizó el equipo ADCP AWAC de 1000 kHz, por su mayor resolución a esta profundidad, menor que la original.

- MEDICIONES DE CAUDAL Y MUESTRAS DE AGUA, en el Río Santa Cruz y el Río Chico

En función de los resultados presentados en el Informe "Influencia de la Marea sobre el Nivel del Río Santa Cruz en el Tramo de la Ex-Rn3 y Punta Quilla", elevado por el Grupo de Inspección de la Obra (que se adjunta como Anexo III), se definieron de común acuerdo con la Inspección las secciones utilizadas para realizar los aforos de caudal del río Chico, y del Río Santa Cruz. Los sitios seleccionados fueron los siguientes:

1. **Río Chico:** En el Puente de la actual Ruta 3, y en un horario coincidente con la bajante de la marea.
2. **Río Santa Cruz:** En el lugar que ocupaba el antiguo puente de la Ex Ruta 3, aproximadamente 10 km aguas arriba del actual acceso carretero a la Isla Pavón, en un horario coincidente con la bajante de la marea.

En cada sección Transversal elegida se midieron perfiles de velocidades con correntómetro OTT C31. En cada perfil vertical se midió la profundidad con escandallo de plomo y cinta métrica. En la parte de mayor velocidad del agua de cada sección se tomó una muestra de 2 litros de agua con botella Niskin, a media profundidad, para el análisis del contenido de sedimentos en suspensión, y su distribución granulométrica.

Los datos de los perfiles obtenidos fueron graficados en forma de curvas de velocidades de corriente en función de la profundidad. A partir de estas curvas, se obtuvieron velocidades de corriente a intervalos verticales regulares. Con estos datos, se aplicó el método numérico de Simpson $h/3$, para realizar la integración en profundidad. De esta manera se calculó para cada vertical el caudal unitario en esa vertical. Los valores de los caudales unitarios obtenidos en cada vertical fueron graficados a lo ancho de cada sección transversal de aforo de caudal en forma de curvas de caudal. A partir de estas curvas, se aplicó el método numérico de Simpson $h/3$, para realizar la integración a lo ancho de la sección de aforo de caudal, obteniéndose el caudal en m^3/s que pasaba por la sección de aforo durante las mediciones.

- MEDICIONES CONTINUAS DE VIENTO, durante todo el período de trabajos de campo y mediciones.

Se instaló, en el aeropuerto de Santa Cruz, una estación meteorológica automática, con anemómetro a 10 m de altura sobre el nivel del suelo, Davis Instruments 6250 Vantage Vue Wireless Weather Station, con data logger inalámbrico, programada para medir y registrar datos cada media hora. La estación midió dirección y velocidad del viento, presión, humedad relativa, y precipitaciones.

- MUESTRAS DEL FONDO en el estuario, con muestreadores draga Van Veen y Coring de caída libre

Se tomaron 10 muestras de suelos en el estuario y parte del Río Santa Cruz. Los detalles de las posiciones exactas la descripción visual de cada muestra, y el tipo de envase y preservante agregado, están incluidos en el ANEXO 04 del Informe de Campo que se adjunta. Los principales detalles de las muestras se presentan a continuación. Se usaron dos equipos diferentes:

1. Draga tipo Van Veen, de cucharas opuestas y cierre disparado al hacer contacto con el fondo. En varios puntos hubo que repetir los lances hasta obtener una cantidad adecuada de muestra.
2. Equipo Coring de caída libre, con tubo sacamuestra de acero de 63 mm de diámetro interior, con camisa de PVC de pared fina, con un peso de 30 kg, y una penetración máxima de 1, 20 m. Este equipo no funcionó en los fondos de arena compacta o canto rodado.

Se seleccionaron los 10 puntos en el estuario que se ilustran en la siguiente figura, los cuales a criterio de ESSA serían representativos de los sedimentos presentes.

Figura 18 - Ubicación, sobre la imagen del estuario de los 10 puntos en los que se obtuvieron muestras del fondo.

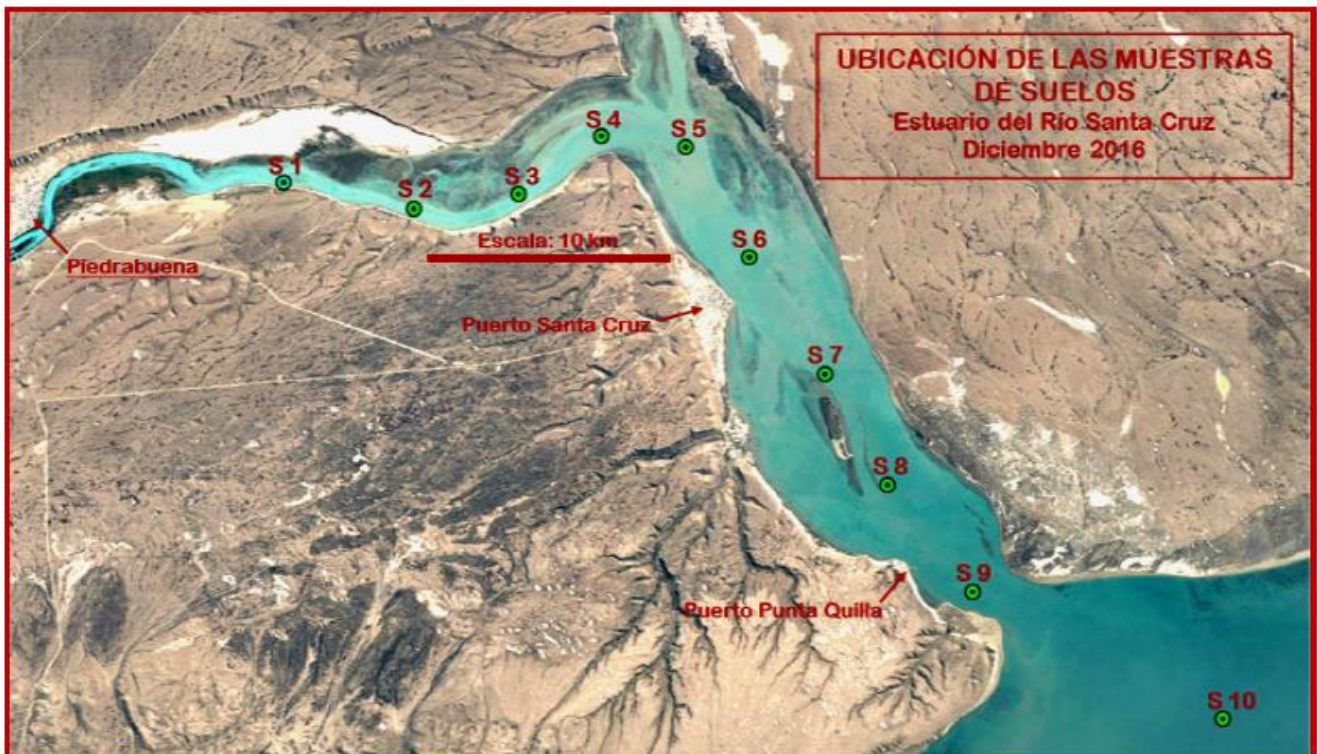


Figura 2-2 Ubicación de puntos donde se obtuvieron muestras de fondo

- LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO EXPEDITIVO

El objeto de levantamiento batimétrico expeditivo fue brindar datos acerca del relieve del fondo del estuario al modelo numérico hidrodinámico. Se levantaron en forma expeditiva aproximadamente 69.5 km de perfiles batimétricos mono haz, en transectas (líneas perpendiculares al eje del estuario), líneas longitudinales y algunas diagonales. Se levantaron líneas batimétricas en:

- En el estuario (a fin de verificar y ajustar la carta náutica del SHN),
- En el Río Chico, a fin de brindar datos del relieve del cauce para la modelación numérica.
- En el Río Santa Cruz, a fin de complementar un levantamiento batimétrico preexistente.

El levantamiento se condujo los días 21 y 25 de diciembre de 2016, usando la lancha "Viento Sur". El equipo usado fue el siguiente:

- Sonda ODOM Echotrack CV 100,
- Receptor GPS Trimble Ag 132, en modo no diferencial (error probable circular 5 m),
- Software de adquisición y control de derrotas HYPACK Batimetría expeditiva a los fines de brindar datos al modelo numérico.

El día 21 de diciembre se midieron mareas, refiriendo los datos mediante nivel óptico a la regla existente en el muelle en desuso del Ex Frigorífico Armour, ubicado en la confluencia de los Ríos Chico y Santa Cruz. Esta regla fue colocada por la Inspección de Obra. Se tomó la cota IGN del cero de la regla, definida en la publicación "Influencia de la Marea sobre el Nivel del Río Santa Cruz en el Tramo de la Ex-RN3 y Punta Quilla", elevado por el Grupo de Inspección de la Obra.

- MEDICIÓN EXPEDITIVA DEL CAUDAL EN EL ESTUARIO

El día 17 de diciembre de 2016 se midieron perfiles verticales de corrientes, en 13 puntos, ubicados sobre 3 transectas, como se muestra en la siguiente figura. Se usó el equipo ADCP AWAC de 1000 kHz de frecuencia acústica, por su superior resolución. Debido a las grandes dificultades para fondear la lancha en este estuario, debido a las fuertes corrientes, del orden de 6 a 7 nudos, y el mal tenero para las anclas en esos fondos con cantos rodados, se adoptó la técnica de "posicionamiento dinámico" para conducir las mediciones.

Figura 22 - Ubicaciones, sobre la imagen del estuario, de las transectas con estaciones de mediciones de corrientes con equipo AWAC ADCP de 1000 kHz.

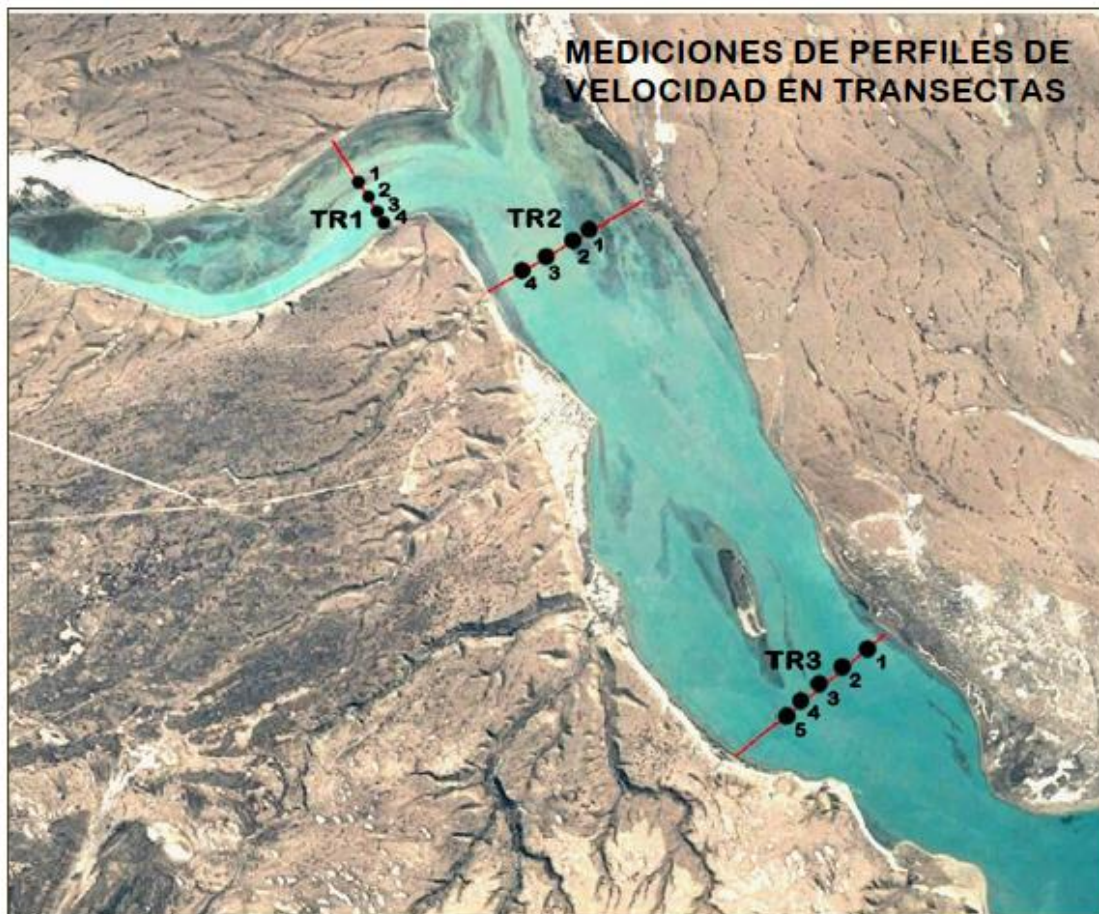


Figura 2-3. Ubicación de transectas con estaciones de medición de corrientes

- MEDICIONES DE 20 PERFILES VERTICALES DE CORRIENTES, TEMPERATURA, SALINIDAD Y TURBIDEZ

El día 23 de diciembre de 2016, se realizaron estas mediciones con el objetivo de poder observar la intrusión salina en el estuario. Se midieron perfiles verticales de corrientes, velocidad y dirección, usando un equipo ADCP Nortek AWAK de 400 kHz, y perfiles verticales de Conductividad (salinidad), Temperatura (°C), Turbidez (NTU), y Profundidad (como presión hidrostática) con un equipo CTDTu OBS 3A, 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. En total se levantaron perfiles verticales, sobre 10 puntos, dos veces en cada punto, una en crecida y otra en bajante. Se realizaron las mediciones, comenzando aguas arriba, en la Estación N° 01, y navegando aguas abajo, parando en cada una de las estaciones a realizar. La totalidad de estas mediciones fue hecha con marea en bajante. Al terminar la estación de más afuera del estuario, la Estación N° 10, se esperó para que se consolide la corriente de crecida, luego de lo cual se empezó a trabajar nuevamente en los perfiles, con la corriente creciendo francamente. Se empezó nuevamente en la Estación 10a, hasta terminar aguas arriba en la Estación 01a.

Figura 23 - Ubicaciones de Estaciones CTDTu y AWAC, 01 a 10. Por claridad, sólo se graficaron las estaciones con mediciones con marea bajante, navegando hacia Afuera del estuario.

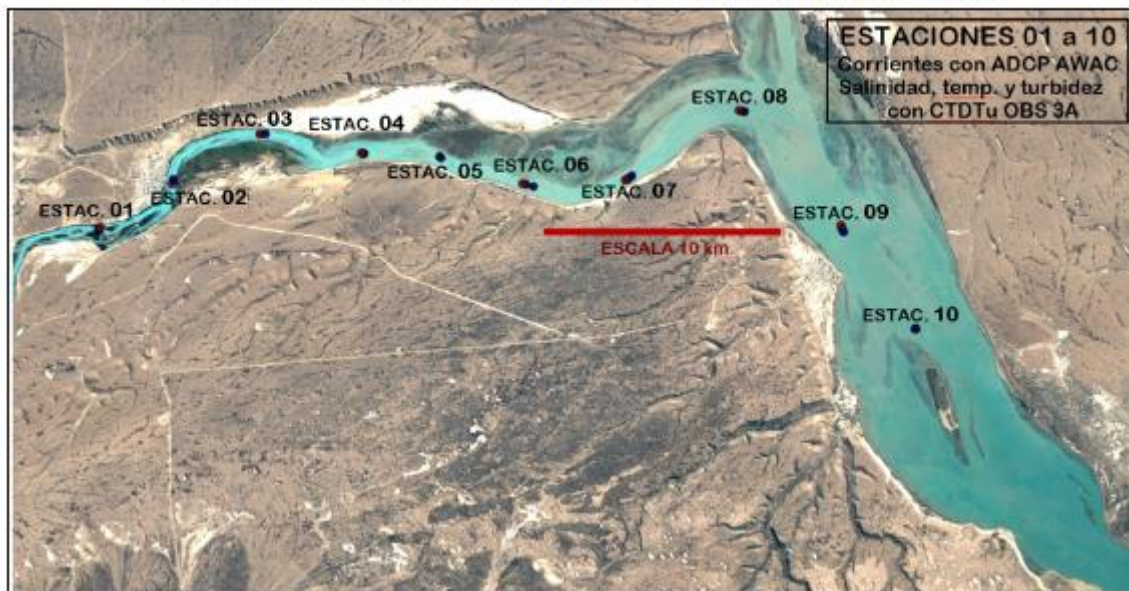


Figura 2-4. Ubicación de Estaciones de medición de perfiles verticales (en marea bajante)

- MUESTRAS DE AGUA EN EL ESTUARIO

Simultáneamente con la tarea de obtener perfiles CTDTu, se tomaron 10 muestras de agua de 2 litros cada una con botellas Niskin, en 5 puntos, a profundidad media, inmediatamente luego de medir los perfiles verticales de CTDTu. Las muestras de agua se tomaron en todos los puntos con número par, tanto en situación de bajante, como en situación de creciente. El objeto de estas muestras es determinar su contenido de Sólidos Totales en Suspensión, a fin de correlacionar este dato con el de turbidez nefelométrica medida en el mismo instante y sitio, en las estaciones CTDTu.

- MUESTRAS DE AGUA EN EL RÍO SANTA CRUZ

Se tomaron dos muestras de agua, una en el eje del proyecto de la presa "Jorge Cepernic", y otra en el nacimiento del Río Santa Cruz, ambas el día 27 de diciembre de 2016, cuyos datos son los siguientes:

Tabla 2-1. Datos de muestras de agua tomadas fuera del estuario, en el río Santa Cruz

MUESTRA	WP	FECHA de obtención	HORA de obtención	POSICIÓN Ref WGS 84	DESCRIPCIÓN	EQUIPO	USO, CONSERVACIÓN
Eje Presa JC, R.S. CRUZ, agua	351	27-dic-16	12:00:00	S50 11.202 W70 07.292	Muestra de agua en vertical de mayor corriente, a media profund.	Botella Niskin	Sin preservante
Nacimiento R. S. CRUZ, agua	353	27-dic-16	16:15:00	S50 16.065 W71 53.143	Muestra de agua en vertical de mayor corriente, a media profund.	Botella Niskin	Sin preservante

2.2.2 Informe de Avance del Estudio

El objeto de los estudios presentados en el informe, es realizar la modelación de niveles del mar, corrientes, temperatura, salinidad y turbidez en el Estuario del Río Santa Cruz para diferentes escenarios asociados a la estación del año (incluyendo variaciones estacionales de los caudales de los ríos que desembocan en el Estuario) y condiciones de antes, durante y después de la construcción de las represas.

El informe de avance disponible a la fecha abarca hasta la calibración de los modelos, en los aspectos hidrodinámico y de salinidad, restando aún efectuar la calibración de turbidez / sólidos suspendidos. Adicionalmente, se presenta una evaluación de la temperatura y salinidad para diferentes condiciones de caudales.

Para realizar la modelación de niveles del mar, corrientes, temperatura, salinidad y turbidez en el Estuario del Río Santa Cruz se han utilizado los siguientes modelos:

- Modelo hidrodinámico 3D, Sistema MIKE 3 (HD, Hydrodynamic), desarrollado por el DHI (Danish Hydraulic Institute). Este módulo es la base para el cálculo de niveles del mar y corrientes locales sobre la cual se difunden diferentes propiedades del agua de mar, como la temperatura, salinidad y concentraciones de sedimentos en suspensión.
- Las variaciones de temperatura y salinidad en el mar y el estuario se han modelado utilizando el módulo MIKE 3 (AD, Advección-Dispersión) incorporado como variaciones de estas variables en MIKE 3 (HD).
- Para el seguimiento de los sedimentos en suspensión asociados a la turbidez se ha utilizado el modelo MIKE 3 (MT, Mud Transport) que permite el transporte de sedimentos cohesivos y no cohesivos finos.

Los modelos requieren condiciones de contorno para su aplicación. Se han utilizado las siguientes fuentes de información:

- Base de datos globales WOD13 (World Ocean Database 2013 de la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA))

Esta base de datos contempla todas las estaciones argentinas de CEADO (Centro Argentino de Datos Oceanográficos, del Servicio de Hidrografía Naval). Estos datos fueron tomados para analizar la variación temporal de la temperatura y salinidad que se incorporaron al modelo por los bordes abiertos de la grilla utilizada en las simulaciones.

- Tablas de Marea (Servicio de Hidrografía Naval, SHN, 2016) para las alturas de la marea para Punta Quilla.
- Mediciones de ESSA (Vientos, temperatura y humedad) previamente descriptas
- Mediciones de ESSA en la Estación Mar y Estación Estuario 2 (nivel del mar, temperatura y turbidez)

A continuación de resumen los valores característicos obtenidos:

Tabla 2-2. Valores característicos de las variables medidas en las Estaciones fijas

Tabla 4.4.1 Valores característicos de las variables medidas en la Estación Mar. Profundidad del lugar: 17.1 m referido al Nivel Medio del Mar (NMM). Intervalo de muestreo: 10 min. UPS: unidades prácticas de salinidad equivalentes a gr/l

Variable	N	Máximo	Mínimo	Medio	Desvío
Temperatura (°C), OBS	825	12.1	10.2	11.0	0.3
Turbidez (NTU), OBS	810	281	2	15	30
Salinidad (UPS) con datos del OBS	825	33.2	31.2	32.3	0.3
Profundidad del lugar (m)	825	22.6	11.3	17.1	3.5
Velocidad corriente (m/s), AWAC (2.5 m del fondo)	823	1.02	0.07	0.57	0.16
Velocidad corriente (m/s), AWAC (6.5 m del fondo)	825	1.15	0.15	0.67	0.17
Velocidad corriente (m/s), AWAC (10.5 m del fondo)	792	1.27	0.23	0.75	0.20
Velocidad corriente (m/s), AWAC (14.5 m del fondo)	458	1.40	0.22	0.85	0.27
Velocidad corriente (m/s), AWAC (16.5 m del fondo)	336	1.57	0.18	0.96	0.31
Velocidad corriente (m/s), AWAC (18.5 m del fondo)	190	1.70	0.37	1.11	0.30

Tabla 4.4.2 Valores característicos de las variables medidas en la Estación Estuario 2. Profundidad del lugar: 5.6 m referido al Nivel Medio del Mar (NMM). Intervalo de muestreo: 10 min.

Variable	N	Máximo	Mínimo	Medio	Desvío
Temperatura (°C), OBS	289	14.0	12.8	13.3	0.3
Turbidez (NTU), OBS	289	476	4	47	44
Salinidad (UPS) con datos del OBS	290	19.4	3.6	11.5	5.0
Profundidad del lugar (m)	289	8.8	2.5	5.6	2.1
Velocidad corriente (m/s), AWAC (1.25 m del fondo)	289	0.81	0.01	0.38	0.22
Velocidad corriente (m/s), AWAC (2.25 m del fondo)	262	0.93	0.01	0.48	0.24
Velocidad corriente (m/s), AWAC (3.25 m del fondo)	198	1.01	0.01	0.61	0.25
Velocidad corriente (m/s), AWAC (4.25 m del fondo)	159	1.13	0.03	0.69	0.31
Velocidad corriente (m/s), AWAC (5.25 m del fondo)	124	1.28	0.04	0.68	0.33
Velocidad corriente (m/s), AWAC (6.25 m del fondo)	86	1.26	0.12	0.60	0.31

- Mediciones de ESSA (perfiles de turbidez en creciente y bajante)
- Batimetría integrada

La batimetría para la grilla de modelo se ha construido a partir de varias fuentes:

Servicio de Hidrografía Naval

Carta náutica H413 "De Puerto San Julián a Río Gallegos"

Carta náutica 2 "Puerto Santa Cruz"

Carta náutica H367 "Punta Quilla"

ESSA

Ezcurra y Schmidt S.A. realizó un relevamiento complementario con 40 km de perfiles 5 Perfiles en Río Chico 6 Perfiles en el Río Santa Cruz 6 Perfiles en la zona del estuario

Batimetría realizada por Represas Patagonia

Consta de 20 Perfiles en el Río Santa Cruz entre Piedrabuena y el estuario y 3 Perfiles en la zona del estuario

Calibración de Corrientes y niveles del mar

La calibración del MIKE 3 (HD) consistió en la comparación entre los valores medidos del nivel del mar y el campo de corrientes y los calculados por el modelo. La calibración es un proceso iterativo donde se modifican coeficientes hasta que se obtiene una correlación satisfactoria entre los valores medidos y los calculados por el modelo. Una vez dado por calibrado, el modelo puede calcular las variaciones del nivel del mar y las corrientes debidas a marea y vientos para otras épocas fuera del período de medición.

Calibración de Temperatura y salinidad

Simultáneamente a los ajustes realizados para la calibración del MIKE 3 (HD), se utilizó el módulo MIKE 3 (AD) que simula la difusión y dispersión de la temperatura y la salinidad. Para calibrar estas variables se realizaron corridas del MIKE 3 (HD+AD) en busca de un ajuste satisfactorio.

2.3 RESULTADOS

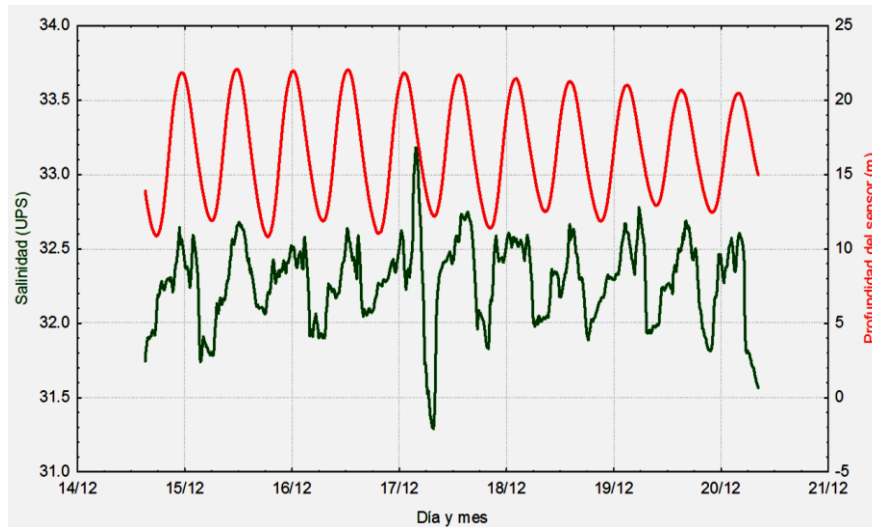
2.3.1 Informe de Campo

Los principales resultados de las mediciones realizadas se presentan a continuación.

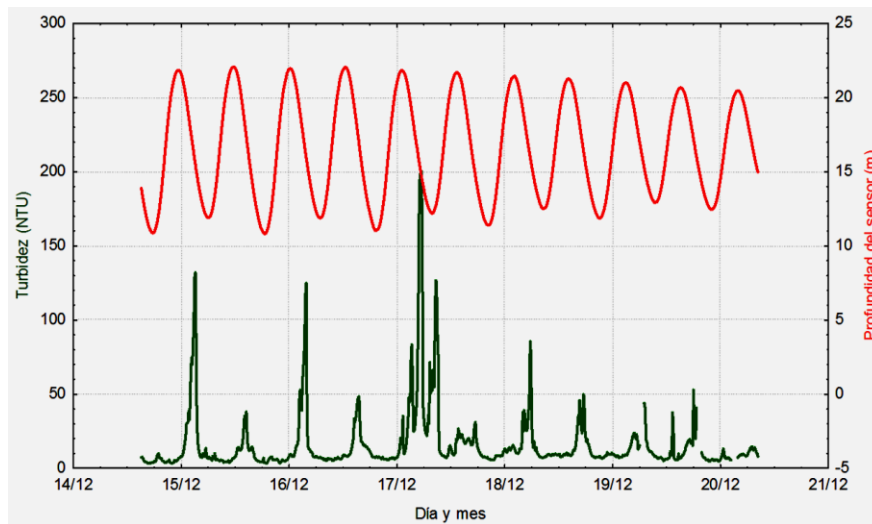
- MEDICIONES EN ESTACIONES OCEANOGRÁFICAS FIJAS

Los resultados de las dos estaciones oceanográficas se presentan en el "ANEXO 03 Ejemplos gráficos de datos medidos", del Informe de Campo.

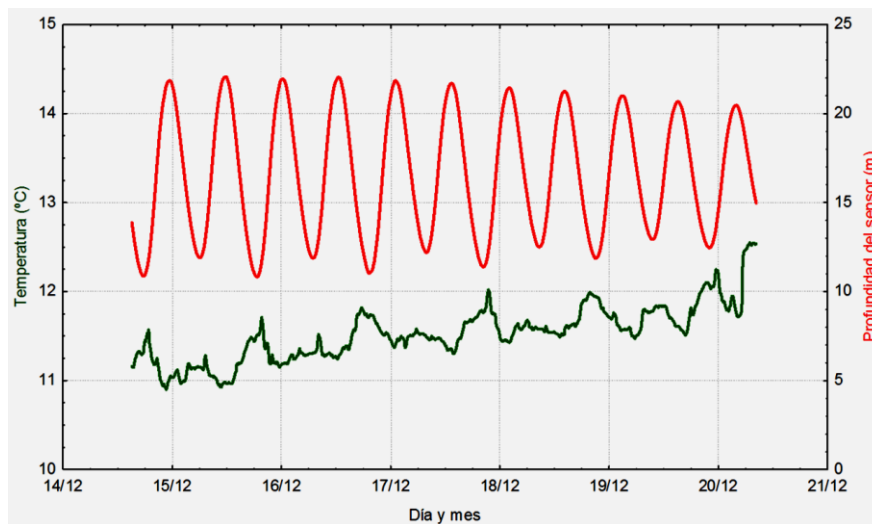
Los resultados permiten apreciar adecuadamente las condiciones de salinidad, turbidez y temperatura del agua. Se reproducen a continuación las figuras correspondientes a ambas estaciones. Las series de tiempo de valores de velocidad de la corriente a diferentes niveles y los perfiles verticales se pueden consultar en el referido documento.



En la Estación "Mar", aún estando fuera del Estuario, se observa una variación de la salinidad, de poca amplitud (sólo unas pocas unidades UPS), en sincronismo con las pleamares y bajamares.

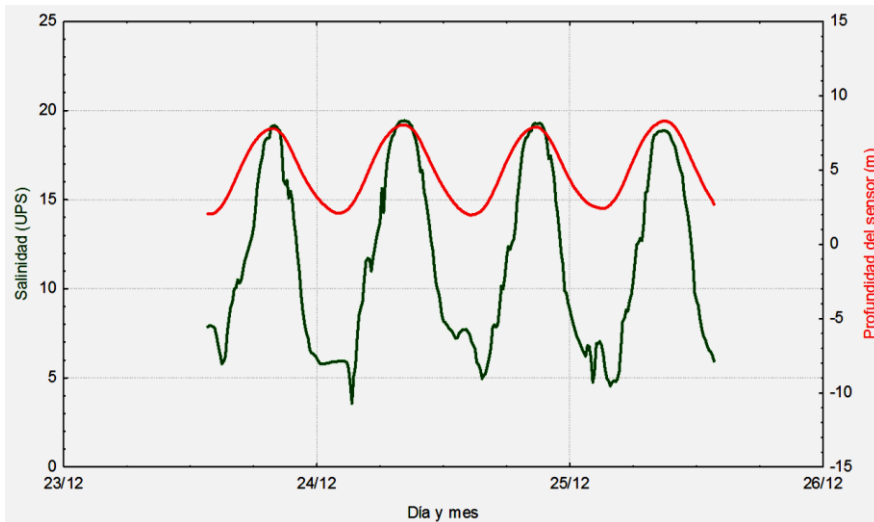


En la Estación "Mar", pudo observarse que la variación de turbidez también está relacionada con la marea, en forma de picos de turbidez más alta, durante las máximas corrientes de bajante

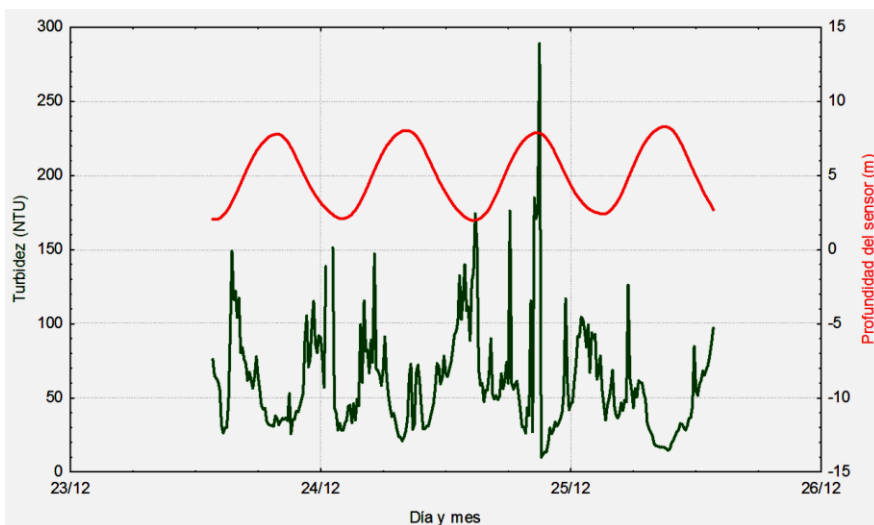


En la Estación "Mar", la temperatura tiene una tendencia general a aumentar a medida que pasan los días, algo esperable en esta época del año, al final de la primavera.

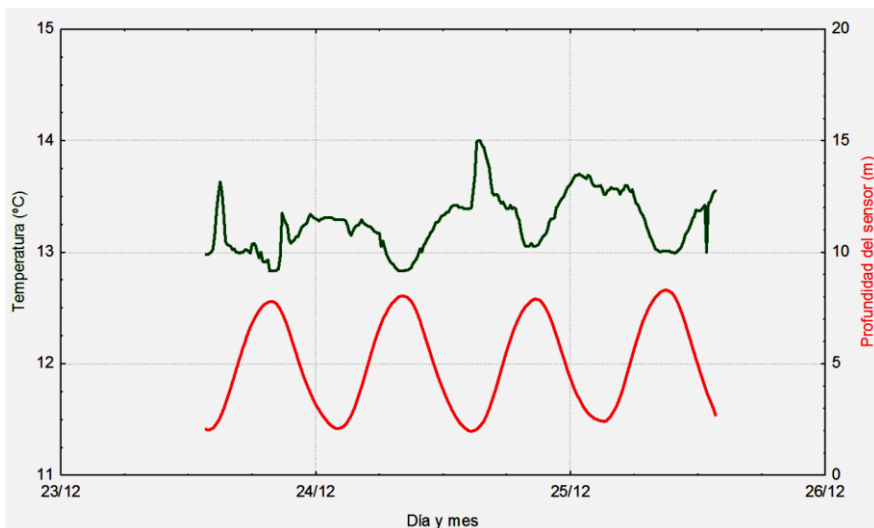
Figura 2-5. Estación Mar. Serie de tiempo de profundidad del sensor, turbidez, salinidad y temperatura



En la Estación "Estuario", se observa una variación de la salinidad muy significativa de más de 10 UPS, perfectamente sincronizada con las pleamares y bajamares.



En la Estación "Estuario", la turbidez tiene una muy marcada variabilidad que no depende enteramente de las mareas.



En la Estación "Estuario", la temperatura tiende a presentar un mínimo durante la pleamar y un máximo durante la bajamar, no muy regular. Lo cual indica que el agua del Río Santa Cruz es más caliente que el agua de mar.

Figura 2-6. Estación Estuario 2. Serie de tiempo de profundidad del sensor, turbidez, salinidad y temperatura

- MEDICIONES DE CAUDAL Y MUESTRAS DE AGUA, en el Río Santa Cruz y el Río Chico

Medición de caudal y toma de muestra de agua en el Río Chico

CAUDAL TOTAL Río Chico, 15 dic 2016, a horas 19:15-20:15 = 11,1 m³/s

Nivel del Río Chico en sitio de aforo, Puente Ruta 3:

Distancia vertical de la superficie agua a marca roja en baranda= 11,55 m

Cota IGN marca roja en baranda= 16,143 m (determinada por el Topógrafo Gonzalo Valdés)

Altura nivel del agua IGN= 4,593 m

Medición de caudal y toma de muestra de agua en el Río Santa Cruz

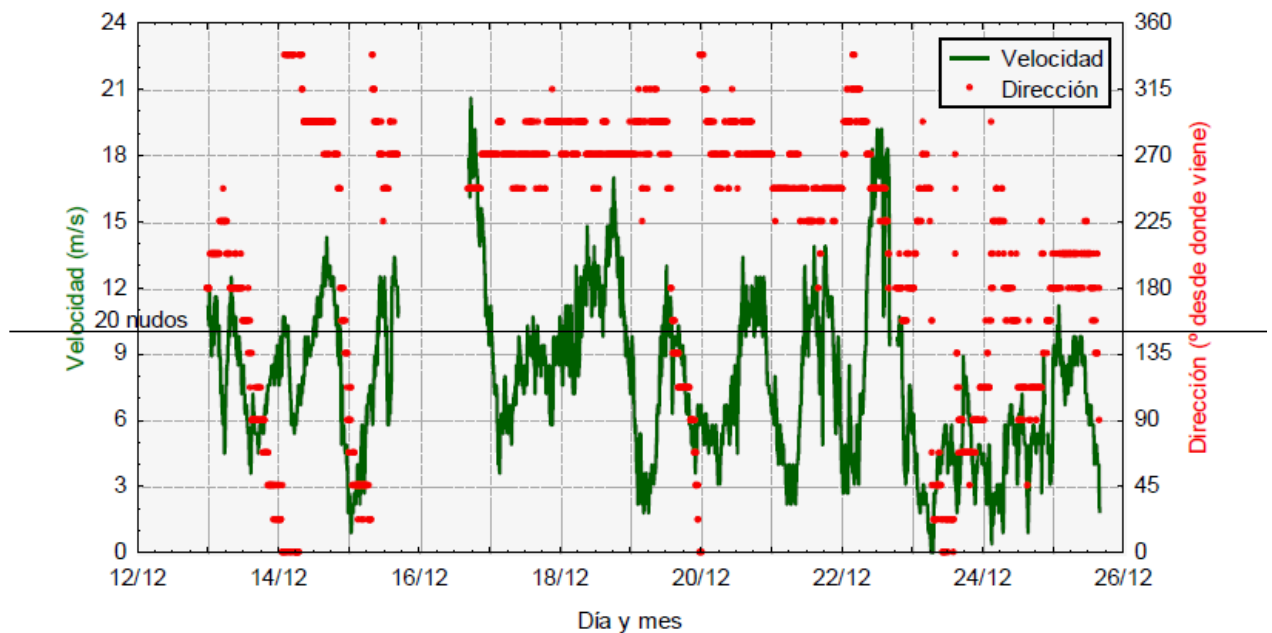
CAUDAL TOTAL Río Santa Cruz, 19 dic 2016, a horas 15:30-16:47 = 569,3 m³/s.

Nivel río en sitio de aforo, ex Ruta 3:

Lectura escala limnimétrica Inspección= 1,41 m. Altura nivel del agua IGN= 8,59 m

Las muestras de agua fueron enviadas a laboratorio y se encuentran en proceso

- MEDICIONES CONTINUAS DE VIENTO, durante todo el período de trabajos de campo y mediciones.



NOTA:

El intervalo sin datos, entre el 15 dic a 1700 horas y el 16 dic a 1630 horas, se debió a un episodio de vibraciones anómalas que afectaron el conector de la alimentación de baterías. Los datos serán completados con información de modelos globales de NOAA.

Es interesante observar que la dirección predominante para vientos de más de 20 nudos (10 m/s), fue del sector centrado en el oeste, entre el ONO y el OSO (en grados: 247.5° al 292.5°)

Figura 2-7. Velocidad y dirección del viento, medido en el aeropuerto de Puerto Santa Cruz

- MUESTRAS DEL FONDO en el estuario, con muestreadores draga Van Veen y Coring de caída libre

Las muestras de fondo fueron enviadas a laboratorio y se encuentran en proceso.

- LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO EXPEDITIVO

Los datos de la batimetría realizada se adicionaron a la batimetría realizada por la Represas Patagonia y a la batimetría de las cartas náuticas, resultando la batimetría integrada que se presenta en la siguiente figura.

Los datos batimétricos en formato X, Y y Z, fueron incorporados al modelo MIKE 3 (HD) que, a partir de una subrutina, generó la grilla de modelación sobre la cual se hicieron las simulaciones. Los datos batimétricos obtenidos por ESSA, y por Represas Patagonia coinciden con los datos de las cartas náuticas.

En algunos sitios puntuales donde se detectaron algunas diferencias entre los sondeos de las cartas respecto a los sondeos de los relevamientos de Represas Patagonia y ESSA, se utilizaron los valores de estos últimos relevamientos para la grilla de modelación.

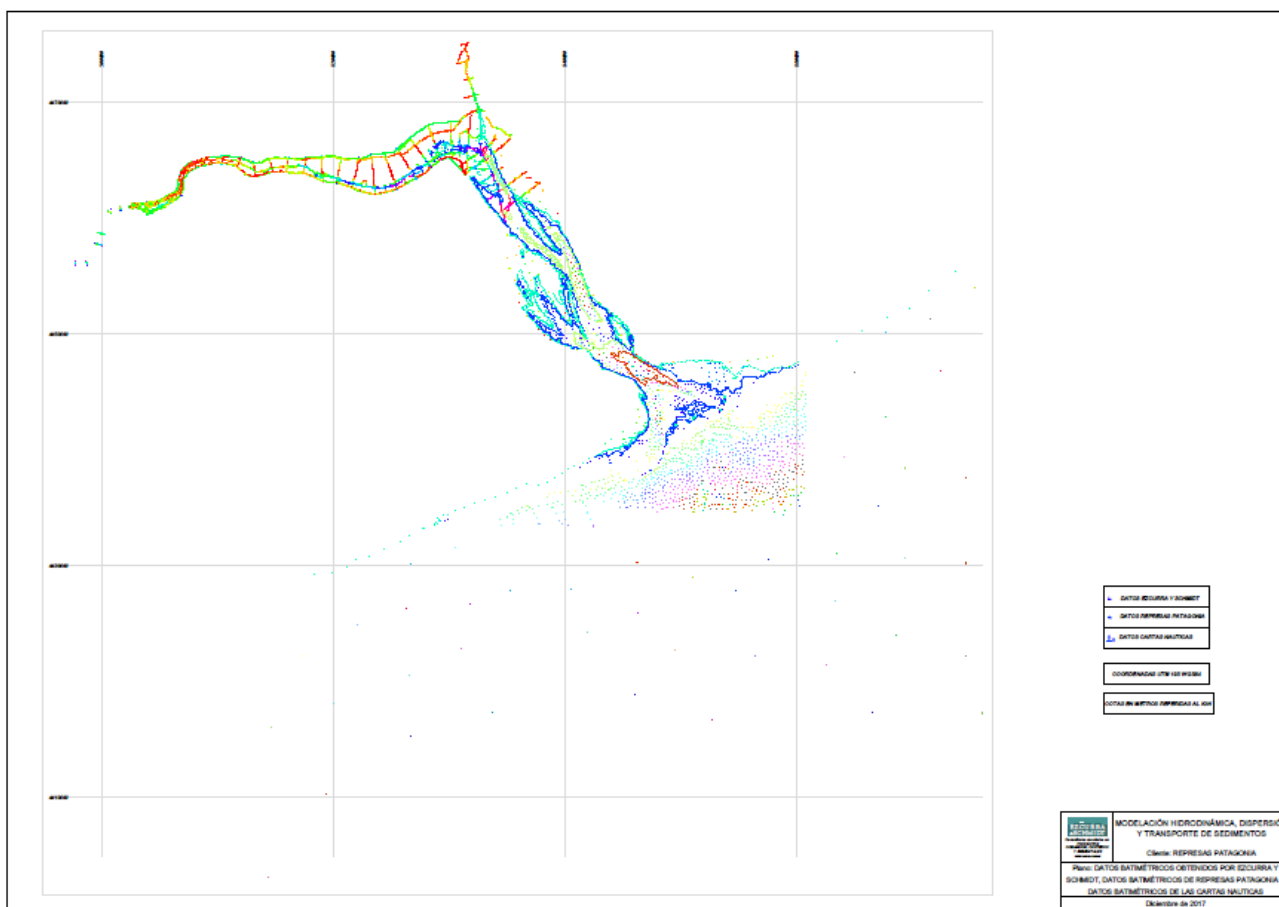


Figura 2-8. Batimetría integrada para la generación del Modelo Digital del Lecho

- MEDICIÓN EXPEDITIVA DEL CAUDAL EN EL ESTUARIO

La información de mayor interés obtenida en estas mediciones son los perfiles detallados de velocidad de la corriente, a ser empleados para la calibración del modelo hidrodinámico 3D, en forma complementaria a las estaciones fijas.

Un ejemplo de estos datos se presenta en la siguiente figura:

Perfiles de velocidad TR1-2, TR2-3 y TR3-2

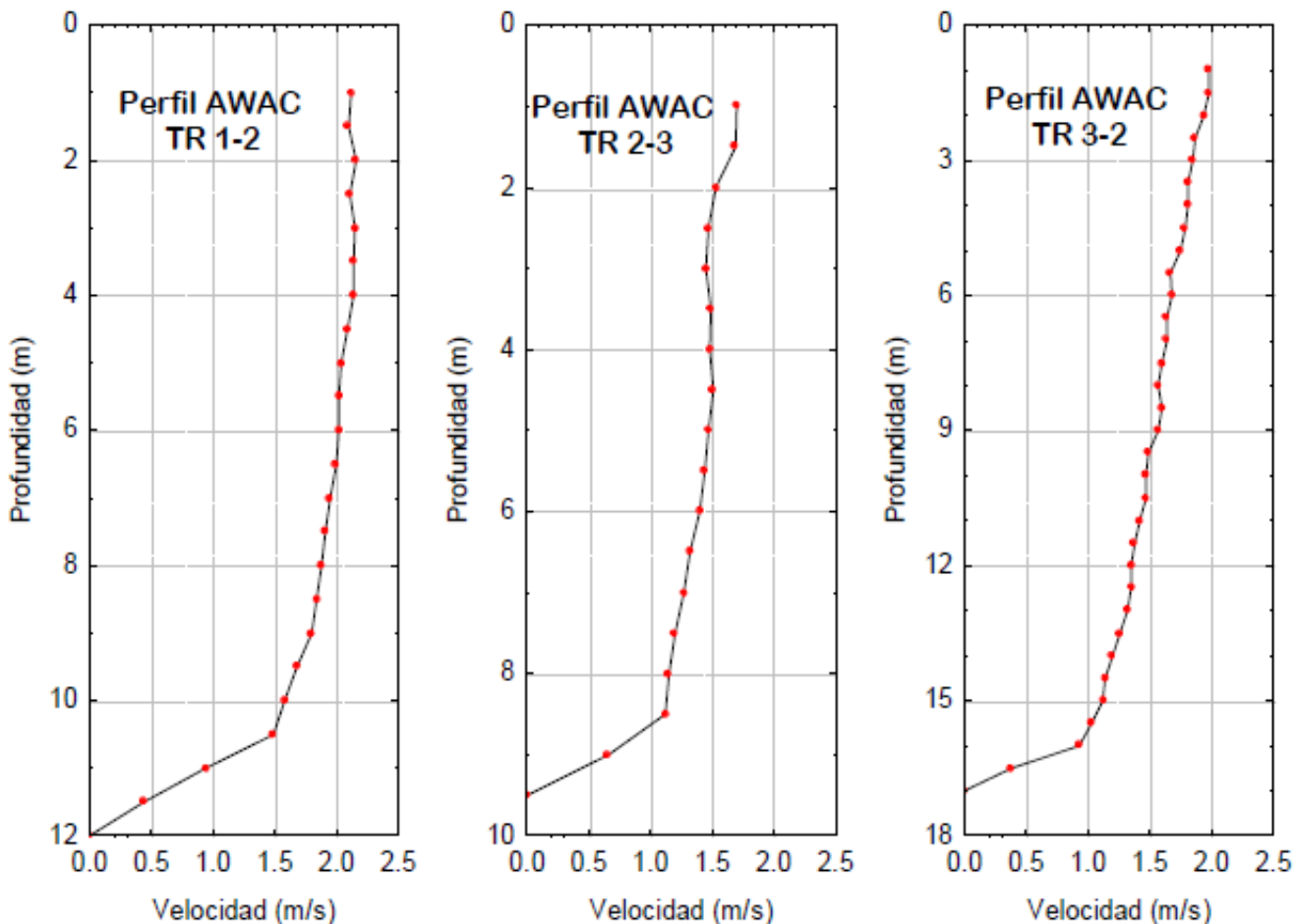


Figura 2-9. Ejemplo de perfiles verticales de velocidad medidos para los aforos en el estuario

- MEDICIONES DE 20 PERFILES VERTICALES DE CORRIENTES, TEMPERATURA, SALINIDAD Y TURBIDEZ

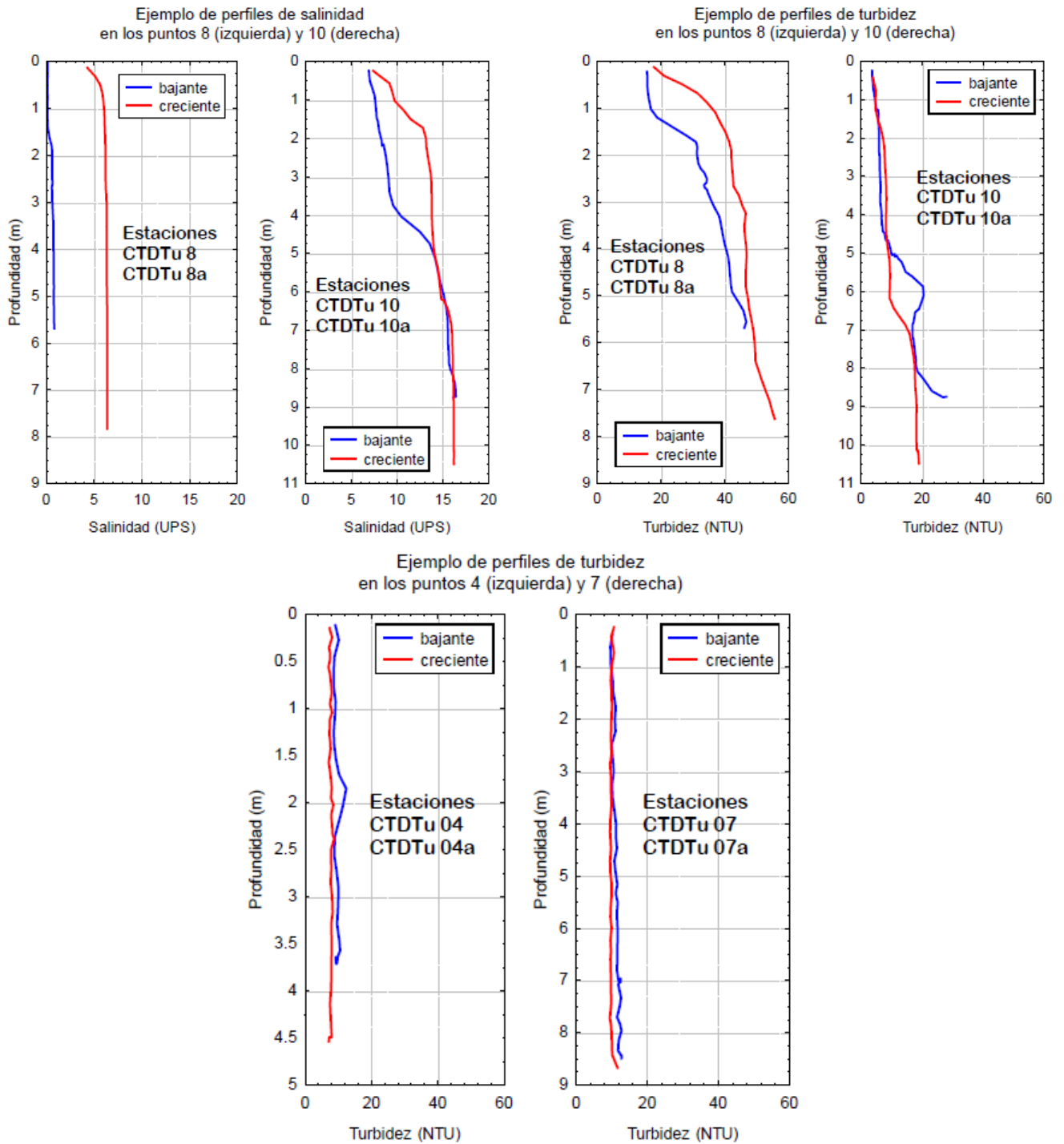


Figura 2-10. Ejemplo de perfiles verticales de salinidad y turbidez medidos

- MUESTRAS DE AGUA EN EL ESTUARIO

Las muestras de agua del estuario fueron enviadas a laboratorio y se encuentran en proceso.

- MUESTRAS DE AGUA EN EL RÍO SANTA CRUZ

Las muestras de agua del río Santa Cruz fueron enviadas a laboratorio y se encuentran en proceso.

2.3.2 Informe de Avance

Temperatura del aire en Puerto Santa Cruz

Se han obtenido los datos de temperatura del aire para Puerto Santa Cruz, que se muestran en la Tabla siguiente.

Tabla 2-3. Temperatura del aire para la Estación Puerto Santa Cruz (Servicio Meteorológico Nacional), período 1901-1960. Altura 12 m s/NMM

Temperatura (°C)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Media	14.3	14.1	12.2	8.6	4.6	1.7	1.8	3.5	6.1	8.8	11.4	12.8	8.3
Máxima Media	21.0	20.9	18.8	14.3	9.2	5.4	5.6	8.2	11.8	16.0	18.7	21.1	14.3
Mínima Media	8.9	8.4	6.6	3.5	0.6	-2.0	-1.9	-0.5	1.2	3.6	6.0	8.0	3.5
Mínima Absoluta	0.0	-3.8	-3.2	-8.0	-12.1	-17.0	-16.5	-17.0	-7.4	-6.6	-3.4	-0.6	-17.0

Caudales mensuales del Río Santa Cruz

Se han obtenido los datos de caudales del Río Santa Cruz en Estación Charles Führ para el período septiembre de 1955 – agosto de 2015, provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos. La figura siguiente muestra los caudales en términos de los caudales medios, mínimos y máximos.

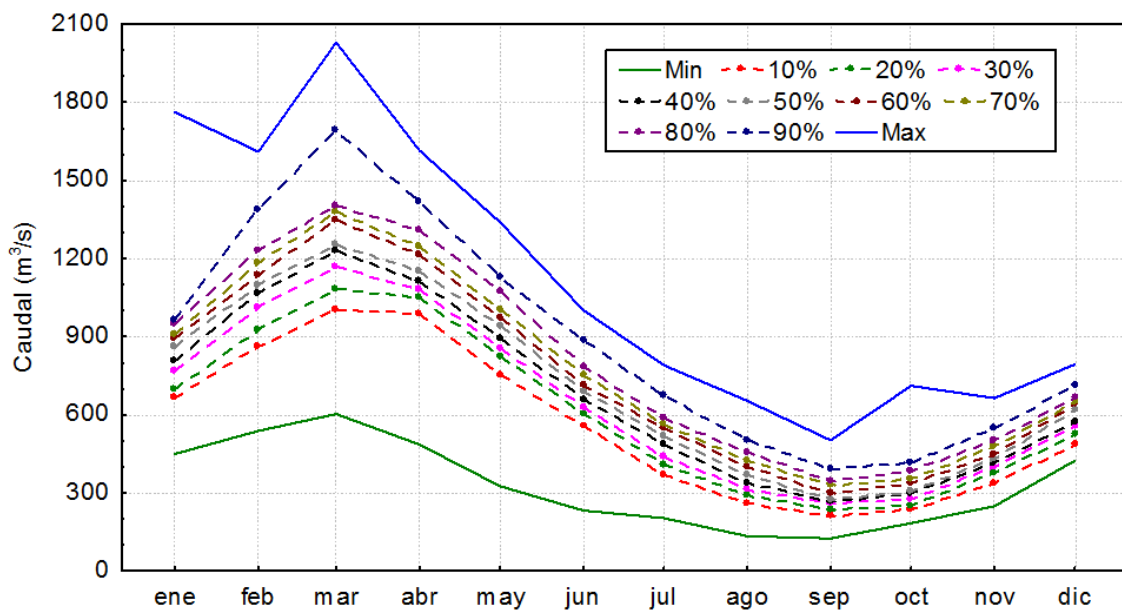


Figura 2-11. Frecuencia de caudales medios mensuales del Río Santa Cruz en Estación Charles Führ (septiembre de 1955 – agosto de 2015) (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar>)

Implementación del modelo matemático

El programa utilizado es MIKE 3 HD (HYDRODYNAMIC) versión FM (FLEXIBLE MESH) con módulo AD (ADVECTION-DISPERSION) y módulo MT (MUD TRANSPORT), desarrollado por Danish Hydraulic Institute (DHI).

La batimetría sobre la cual se soporta la malla de elementos finitos del modelo se presenta en la figura siguiente.

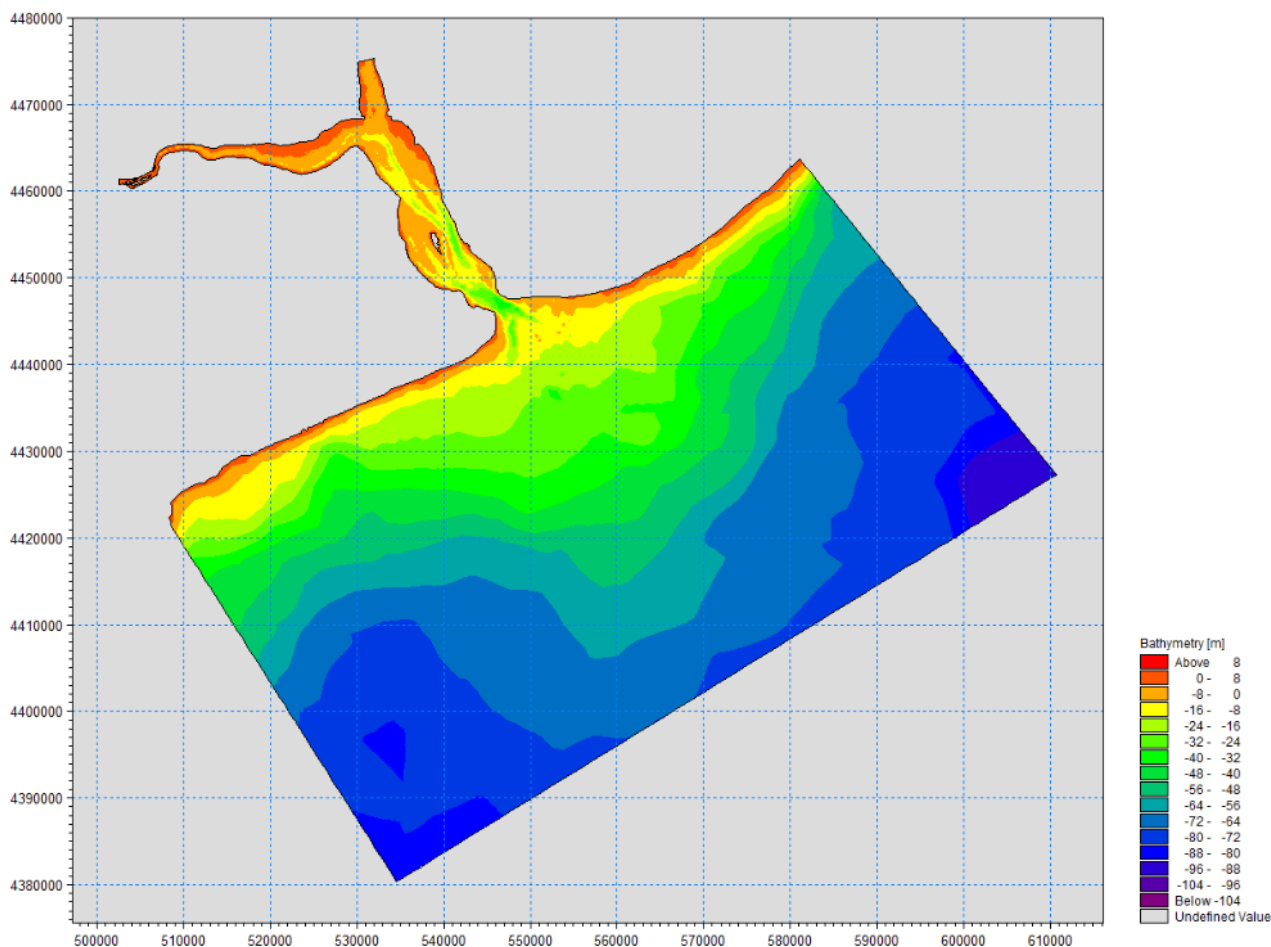


Figura 2-12. Batimetría completa del modelo sobre la cual se soporta la grilla

Calibración de Corrientes y niveles del mar

Las figuras siguientes muestran la comparación entre las profundidades medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) para las estaciones Mar y Estuario 2, respectivamente.

Se puede ver que el modelo representa muy bien las variaciones del nivel del mar para el período de medición. La ventaja de disponer de una fuerza dominante como las mareas de gran amplitud, cuyas características son perfectamente predichas dado su origen astronómico, es que asegura que el modelo simulará los niveles del mar dentro del estuario con gran precisión más allá del período de medición.

Tal es la importancia de la marea que basta con observar la amplitud media (distancia desde la pleamar a la bajamar) que alcanza algo más de 10 m que la superficie del mar recorre en apenas algo más de 6 horas (tiempo entre pleamar y bajamar). Es por esta razón que las corrientes son muy intensas con velocidades en superficie que superan 1.5 m/s.

Este flujo de agua que entra y sale, permite que las aguas del estuario cambien todo el tiempo propiedades tales como la salinidad y la temperatura.

Figura 5.4.1 Comparación entre las profundidades medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Mar

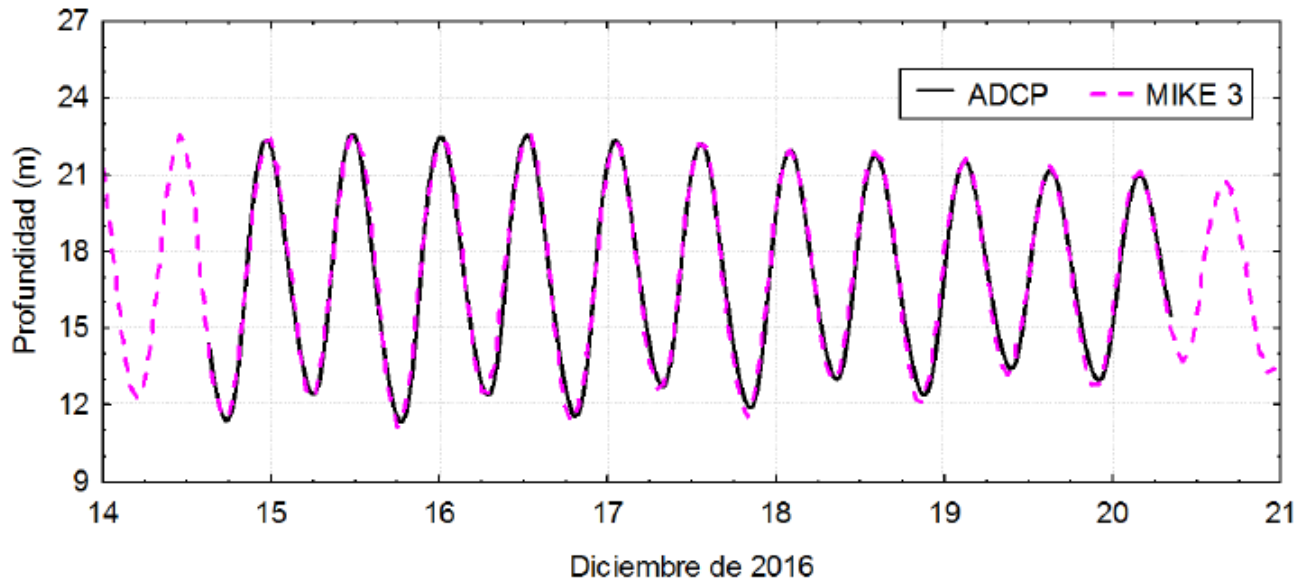


Figura 5.4.2 Comparación entre las profundidades medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Estuario 2

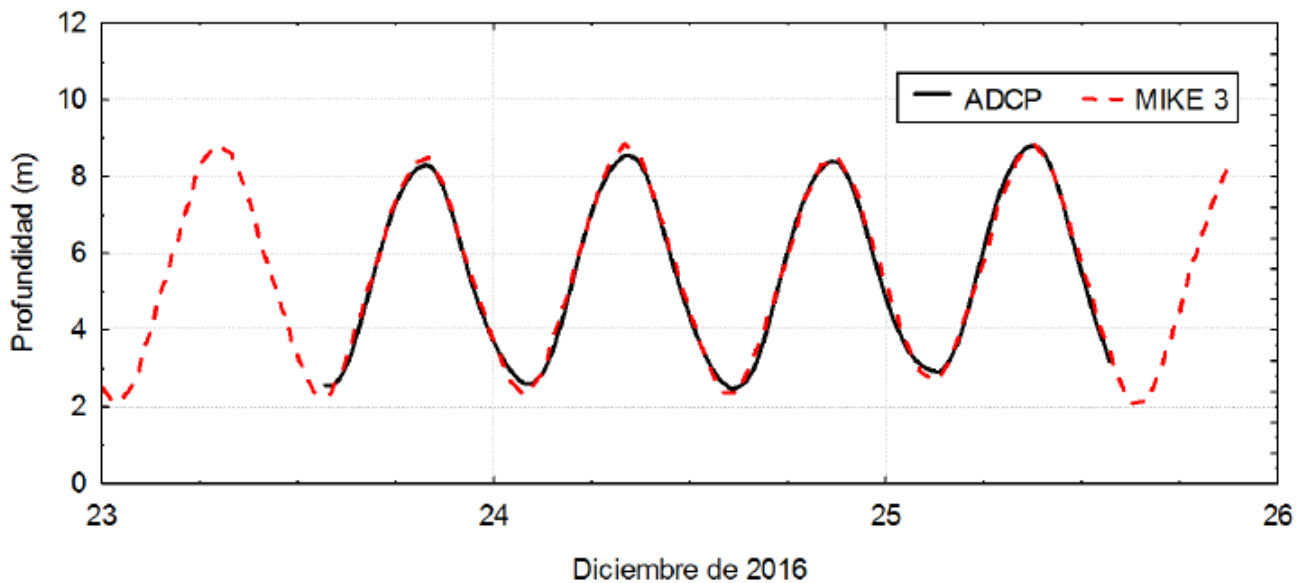


Figura 2-13. Ajuste de profundidades medidas y calculadas en las Estaciones fijas.

Se presentan también en el Informe de Avance los gráficos de calibración de velocidades para diferentes profundidades, mostrándose en las figuras siguientes algunos gráficos ilustrativos de la calibración obtenida.

Figura 5.4.4 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Mar, a 6.5, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

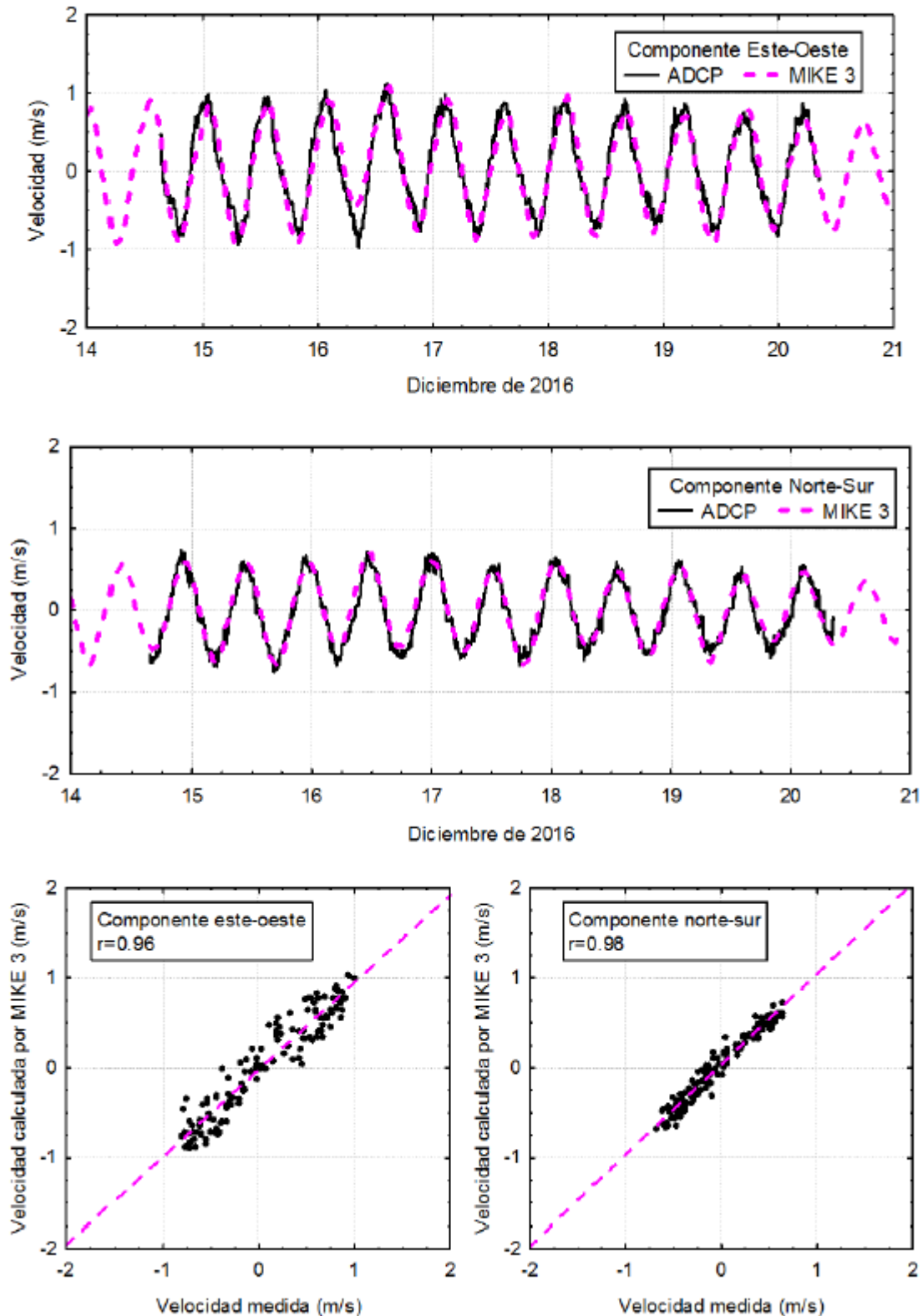


Figura 2-14. Ejemplos del ajuste de velocidades medidas y calculadas en la Estación Mar.

Figura 5.4.9 Comparación entre las componentes E-W y N-S medidas y calculadas por el MIKE 3 (HD) en la Estación Estuario 2, a 3.25, sobre el fondo, y correlaciones. Nota: r coeficiente de correlación.

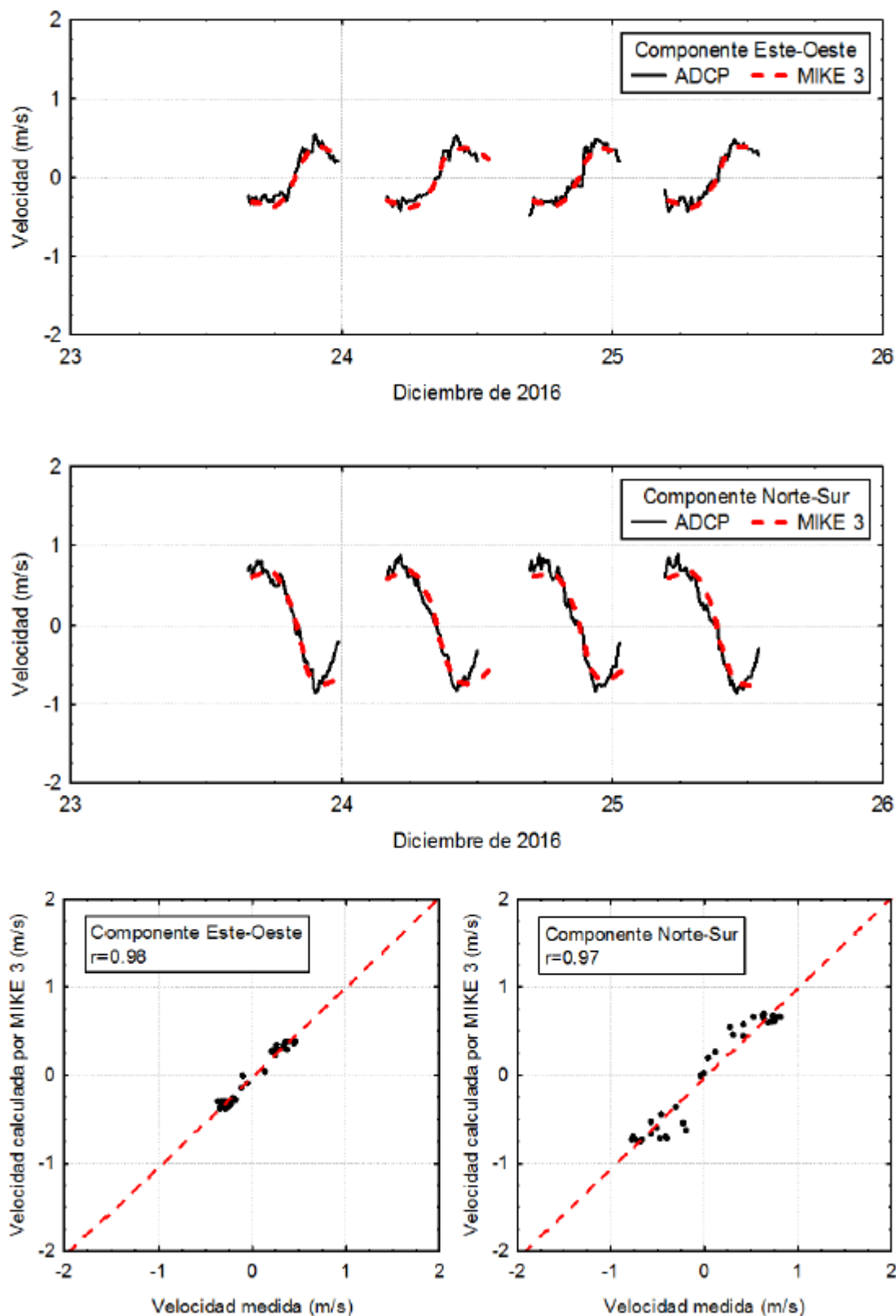


Figura 2-15. Ejemplos del ajuste de velocidades medidas y calculadas en la Estación Estuario 2.

También se calibraron los perfiles de velocidad medidos, como se ilustra en las siguientes figura y tabla.

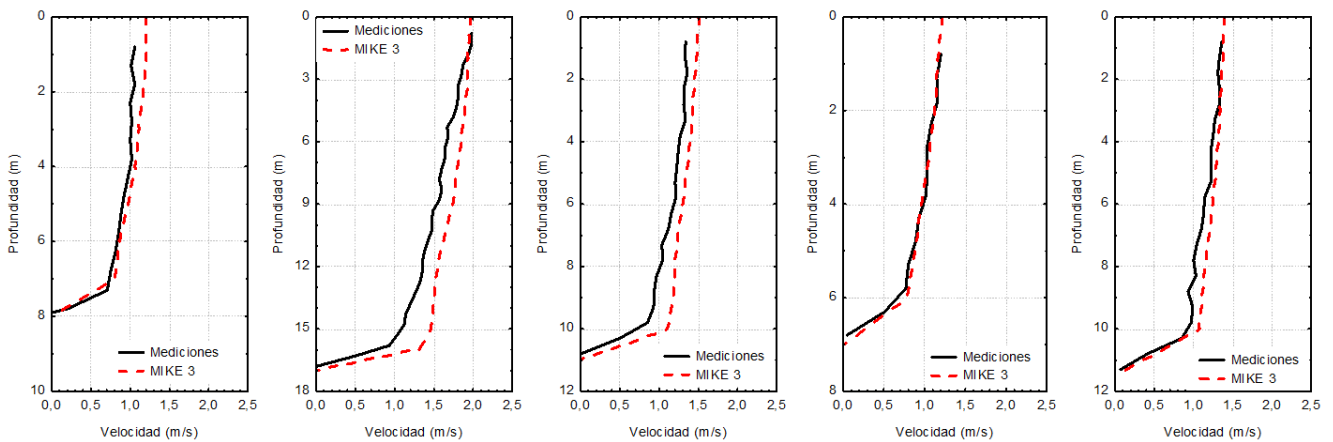


Figura 2-16. Ejemplo de comparación entre los perfiles de velocidad registrados durante la campaña de diciembre de 2016 y los resultados del modelo MIKE 3 (HD). Estaciones TR 3-1 (izquierda), TR 3-2 (centro izquierda), TR 3-3 (centro), TR 3-4 (centro derecha) y TR 3-5 (derecha).

Tabla 2-4. Comparación entre las velocidades medias de los perfiles de velocidad medidos durante la campaña de diciembre de 2016 y los resultados del modelo MIKE 3 (HD).

Estación	WP	Fecha	Hora	Velocidad media medida (m/s)	Velocidad media calculada (m/s)	Dirección media medida (°)	Dirección media calculada (°)
TR 1-1	396	17-dic.-16	15:38:34	1.1	1.1	67	60
TR 1-2	397	17-dic.-16	15:49:08	1.4	1.4	43	54
TR 1-3	398	17-dic.-16	16:27:07	1.3	1.3	39	53
TR 1-4	399	17-dic.-16	16:46:28	1.9	1.6	41	31
TR 2-1	390	17-dic.-16	12:33:11	0.8	0.8	292	307
TR 2-2	389	17-dic.-16	12:19:31	0.8	1.1	294	301
TR 2-3	388	17-dic.-16	12:01:47	1.8	1.7	322	299
TR 2-4	387	17-dic.-16	11:38:14	1.7	1.6	317	302
TR 3-1	404	17-dic.-16	18:34:28	0.8	0.9	131	133
TR 3-2	403	17-dic.-16	18:21:06	1.5	1.6	147	115
TR 3-3	402	17-dic.-16	18:11:25	1.1	1.2	159	116
TR 3-4	401	17-dic.-16	18:00:37	0.8	0.9	151	129
TR 3-5	400	17-dic.-16	17:41:46	1.1	1.2	118	137

Calibración de Temperatura

Simultáneamente a los ajustes realizados para la calibración del MIKE 3 (HD), se utilizó el módulo MIKE 3 (AD) que simula la difusión y dispersión de la temperatura y la salinidad. Para calibrar estas variables se realizaron corridas del MIKE 3 (HD+AD) en busca de un ajuste satisfactorio. Algunos resultados característicos se muestran a continuación.

La figura siguiente muestra la comparación entre las temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) cerca del fondo en las estaciones Mar y Estuario 2. Puede verse que los valores medidos y los calculados por el MIKE 3 (HD+AD) están bien correlacionados en términos de los valores medios y en sus variaciones periódicas, indicando además, que las temperaturas dentro del estuario son más altas que en la boca del estuario.

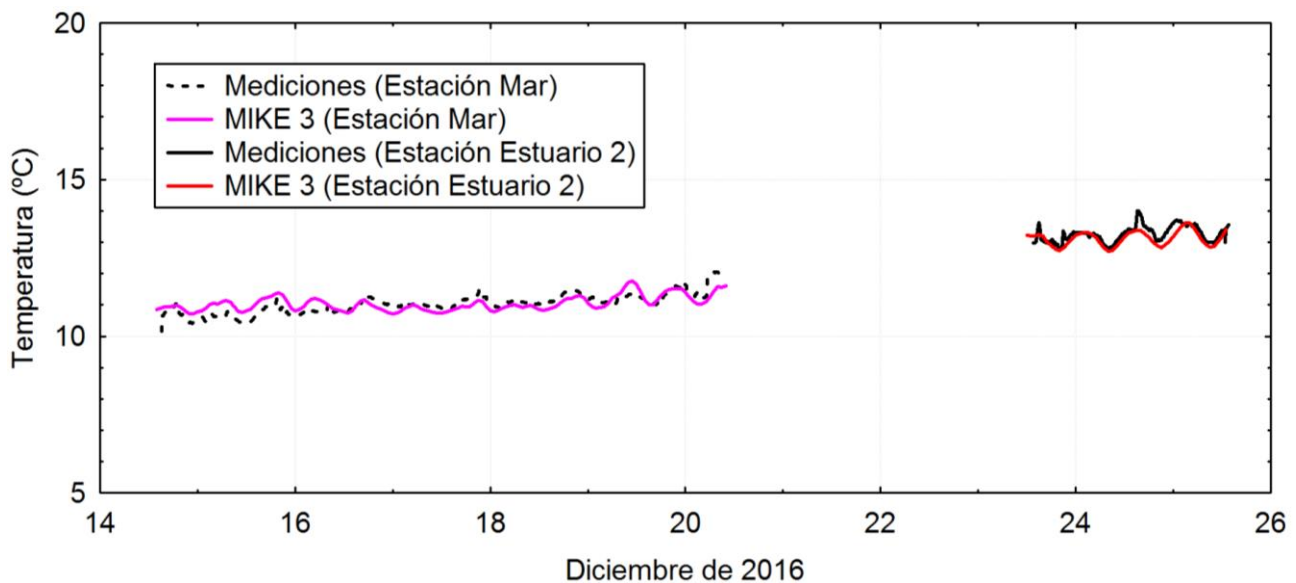


Figura 2-17. Comparación entre las temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones Mar y Estuario

Las figuras siguientes muestran ejemplos de la comparación entre los perfiles verticales de temperaturas medidos en las estaciones y calculados con MIKE 3 (HD+AD). Se comparan perfiles de temperatura medidos casi instantáneamente (el instrumento recorre el espacio entre la superficie del mar hasta el fondo en 1 min, aproximadamente) con un perfil extraído, aproximadamente en el mismo instante de la serie de tiempo que genera el modelo.

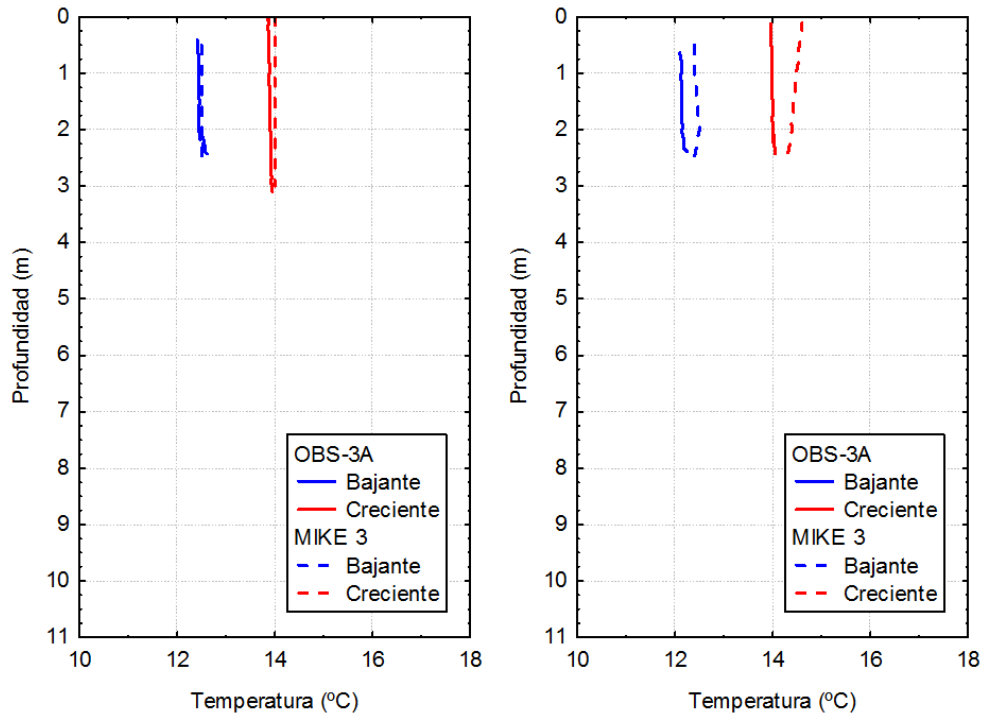


Figura 2-18. Ejemplo de comparación entre los perfiles de temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones 01 y 02.

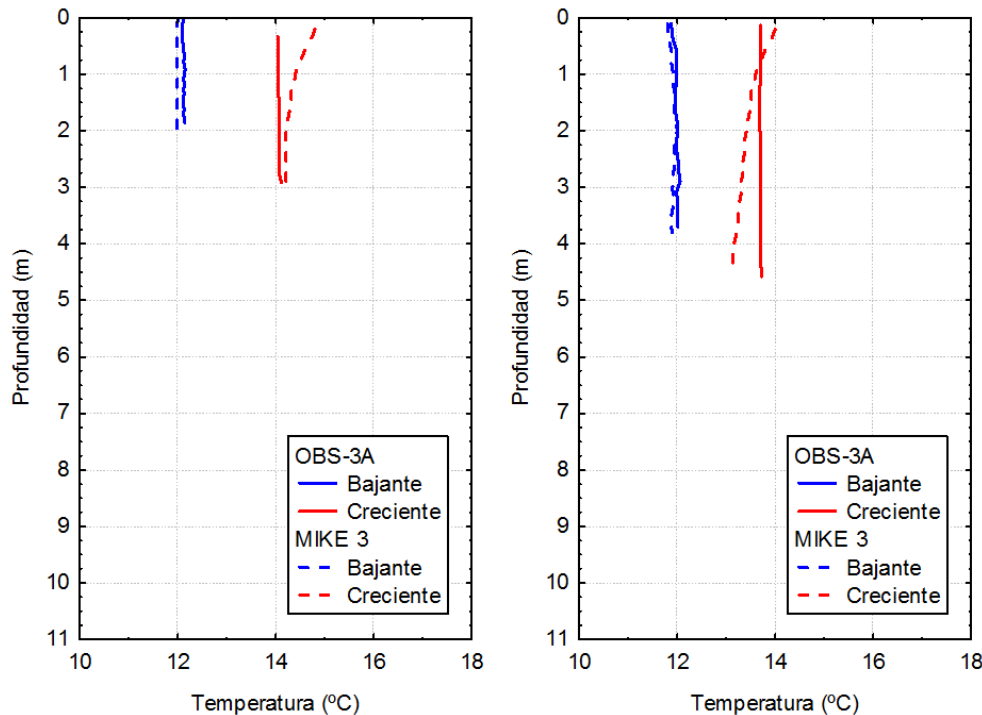


Figura 2-19. Ejemplo de comparación entre los perfiles de temperaturas medidas y calculadas con MIKE 3 (HD+AD) en las estaciones 03 y 04.

En vista de los resultados de la comparación de temperaturas medidas y calculadas por el modelo, se considera calibrado el MIKE 3 (HD+AD) para el estuario.

La figura siguiente muestra dos ciclos de marea de unas 12 horas de período y 7 puntos seleccionados que representan 7 condiciones de la marea. A modo de ejemplo, la Condición 1 corresponde a la marea bajante (sale agua al estuario) y la Condición 4 marea creciente (entra agua al estuario). Si bien se ha seleccionado un ciclo de marea que corresponde a la época de medición, los resultados pueden generalizarse (de modo conceptual) a cualquier otro ciclo de marea.

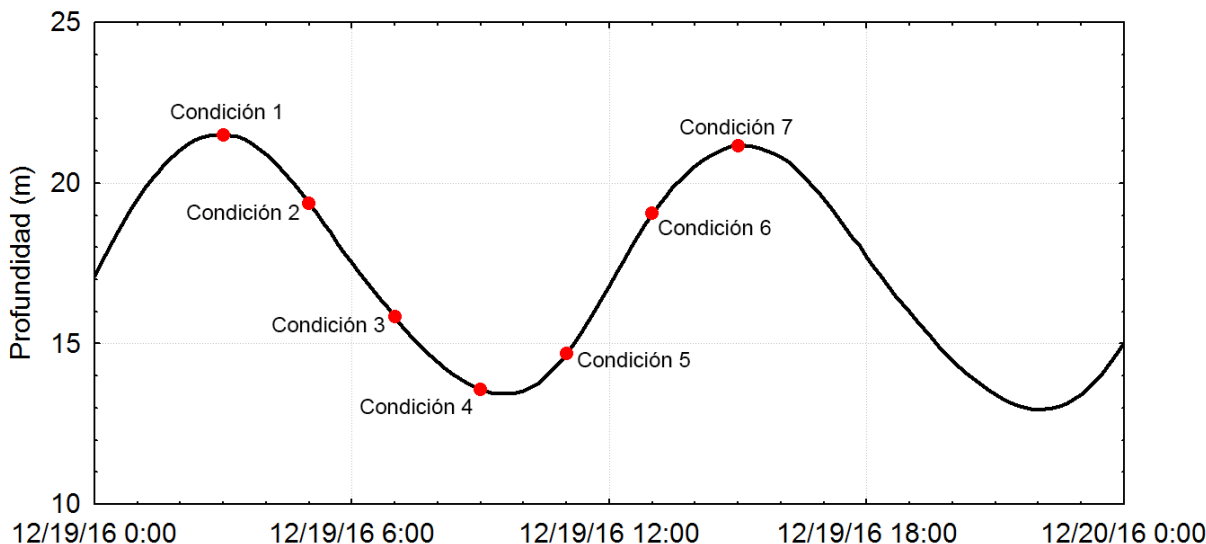


Figura 2-20. Ciclo de marea de unas 12 horas de período y 7 condiciones de la marea en la posición de la Estación Mar (en la boca del estuario).

La figura siguiente muestra la temperatura ambiente registrada por la Estación Meteorológica para el día 19 de diciembre de 2016. Se identifican, también las 7 condiciones de marea.

Con estos elementos, se analizarán las distribuciones de temperatura y salinidad asociadas a un ciclo de marea.

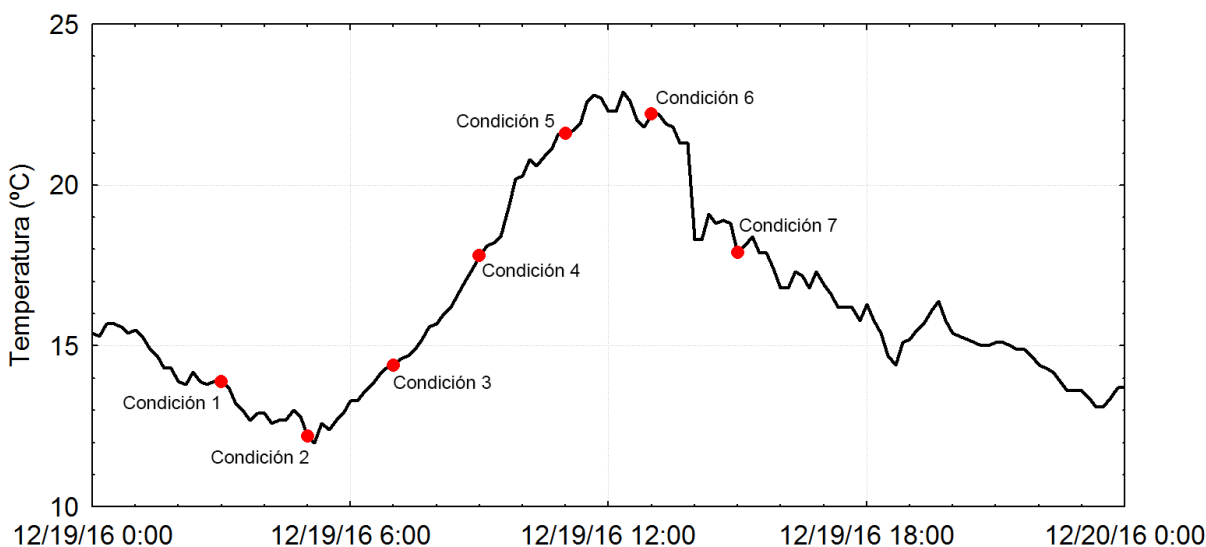


Figura 2-21. Temperatura ambiente registrada por la Estación Meteorológica para el día 19 de diciembre de 2016. Se identifican los instantes de las 7 condiciones de la Figura 2-20.

Las mediciones utilizadas para la calibración del modelo indican que para esta época la temperatura de los Ríos Santa Cruz y Chico es superior a la observada en el mar.

En el estuario ocurre la mezcla de aguas y en toda la región debe considerarse el efecto de la variación de temperatura impuesta por el intercambio de calor entre el agua y la atmósfera. Los campos de temperatura variables en tiempo y espacio han sido reproducidos por el modelo. En las figuras siguientes se presentan ejemplos de los campos de temperatura y velocidades de la capa cercana al fondo del mar para diferentes condiciones de marea y temperatura ambiente, presentados en el Informe de Avance.

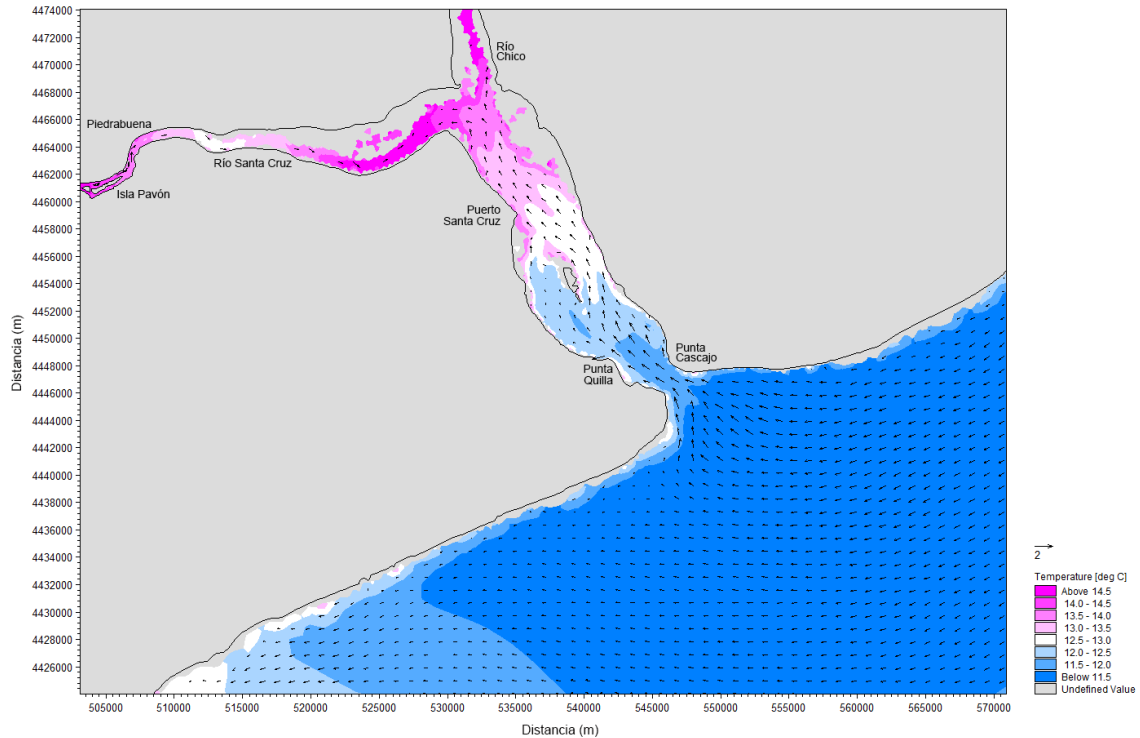


Figura 2-22. Campo de temperatura y corrientes para la Condición 1 de marea

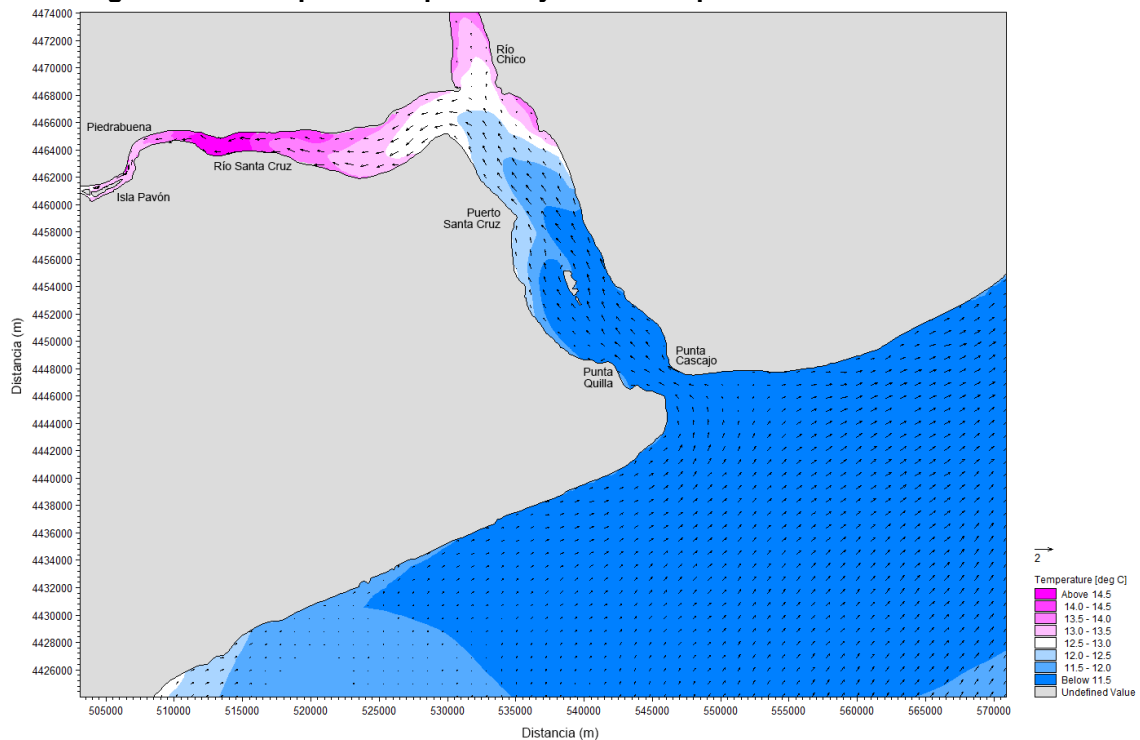


Figura 2-23. Campo de temperatura y corrientes para la Condición 5 de marea

Se presentaron en el Informe de Avance las características del campo de temperaturas a las 5 capas que utiliza el modelo para la Condición 6 (1 PM del día 19 de diciembre de 2016). Las temperaturas aumentan a medida que las capas son más superficiales, encontrándose los máximos de temperatura en superficie. Para la condición 6 la temperatura ambiente ha trepado desde las 5 AM a 1 PM 10°C (desde 12°C a 22°C). Este aumento de temperatura ambiente se traduce en un incremento notorio de la temperatura superficial de la región modelada que va disminuyendo hacia las capas más profundas, con mayor variación en las capas superficiales.

Calibración de Salinidad

La figura siguiente muestra la comparación de la salinidad medida y la calculada por el modelo MIKE 3 (HD+AD) en los puntos de las estaciones de medición Estuario y Mar.

Estas series de tiempo de salinidad (cuyo cálculo se hace a partir de los valores medidos de conductividad) muestran un acuerdo muy bueno entre los valores medidos y los calculados por el MIKE (HD+AD), tanto para la Estación Mar (boca de la ría) y la Estación Estuario 2 (interior de la ría).

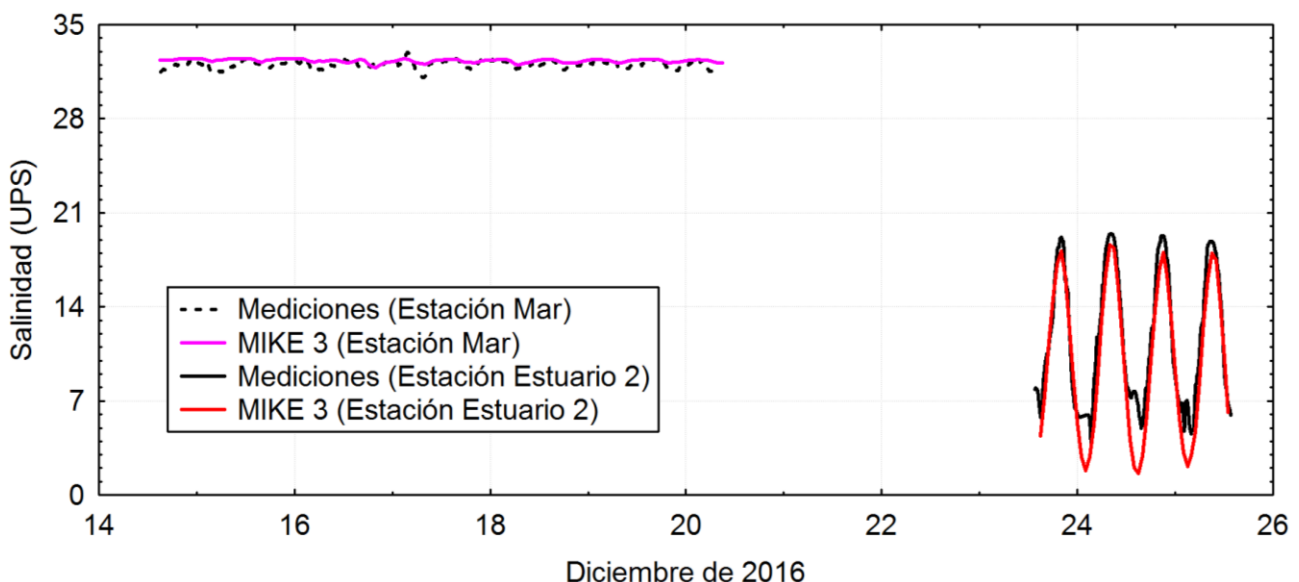


Figura 2-24. Comparación de la salinidad medida y la calculada por el modelo MIKE 3 (HD+AD) en los puntos de las estaciones de medición Estuario 2 y Mar

La Figura siguiente muestra la comparación en las mediciones de perfiles de salinidad y los generados por el modelo MIKE 3 (HD) en los puntos P8, P9 y P10. El resto de las estaciones (río arriba) no muestran valores de salinidad con alguna significación.

La correlación entre los valores medidos y los calculados por el modelo es muy buena para la Estación 08, tanto en bajante como en creciente.

Para el caso de la Estación 09 la correlación es satisfactoria, con una correcta estimación del rango de salinidades en el punto de medición. Más en detalle, se observa que en bajante la correlación es mejor en las capas superiores cerca de la superficie que cerca del fondo donde el modelo subestima la salinidad. En creciente el modelo sobrestima la salinidad en superficie y representa bien la salinidad en el fondo. Debe tenerse en cuenta que estas comparaciones entre perfiles instantáneos (se tarda 1 min en perfilar toda la columna de agua) requiere de una gran precisión en el tiempo del modelo para extraer exactamente el perfil que corresponda al instante exacto que se hizo la modelación.

Para el caso de la Estación 10 la correlación es satisfactoria tanto en creciente como en bajante.

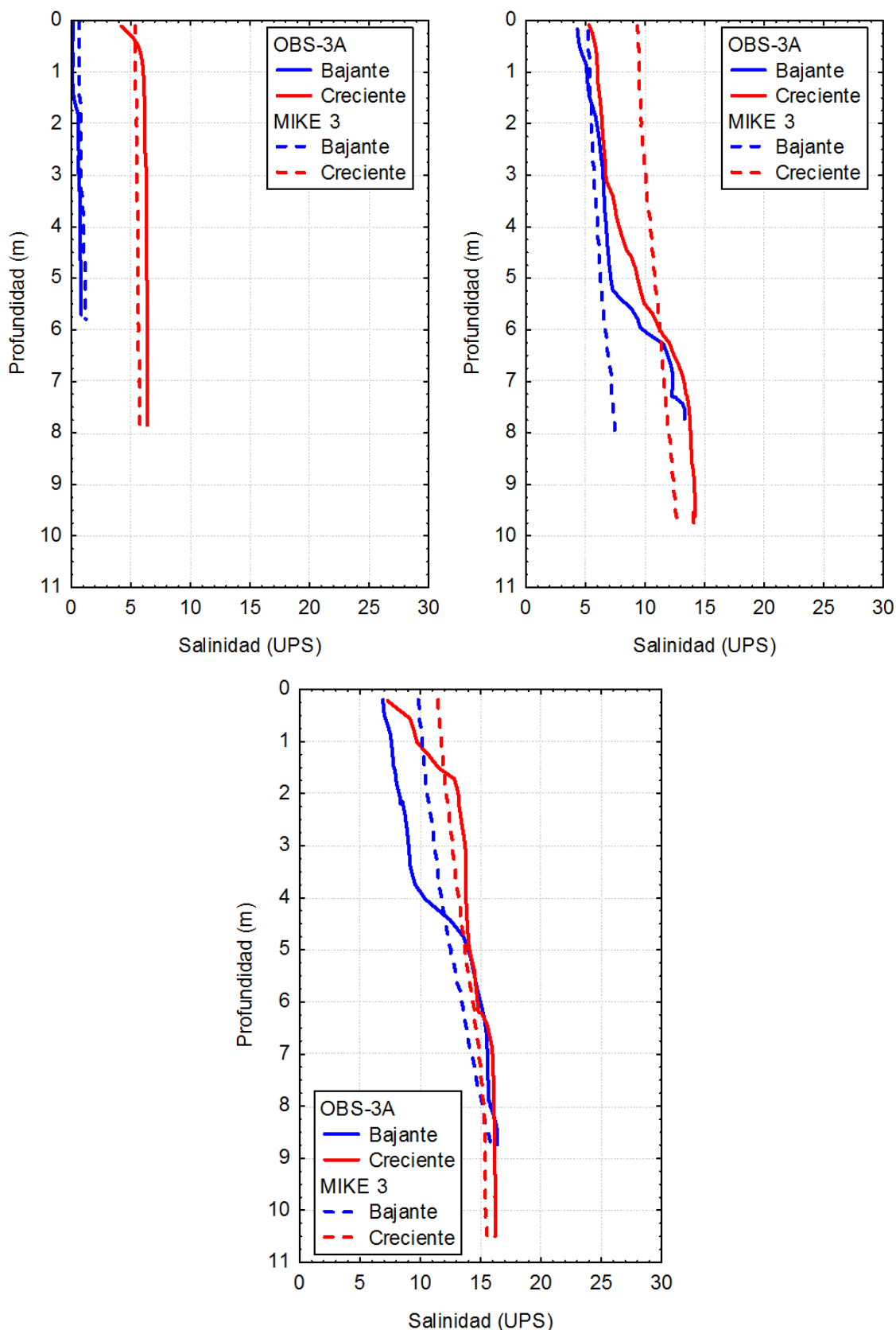


Figura 2-25. Comparación en las mediciones de perfiles de salinidad y los generados por el modelo MIKE 3 (HD) en los puntos P8 (izquierda), P9 (derecha) y P10 (abajo).

Con respecto a la baja salinidad registrada en 23/12 en los puntos P1 a P7, si bien ESSA midió en creciente, la velocidad utilizada por la embarcación fue mayor que la velocidad de propagación de la marea, produciendo un efecto “como si la salinidad persiguiera al instrumento, pero no lo alcanza”. La figura siguiente muestra la posición de los puntos de referencia para el análisis que se agrega a continuación.

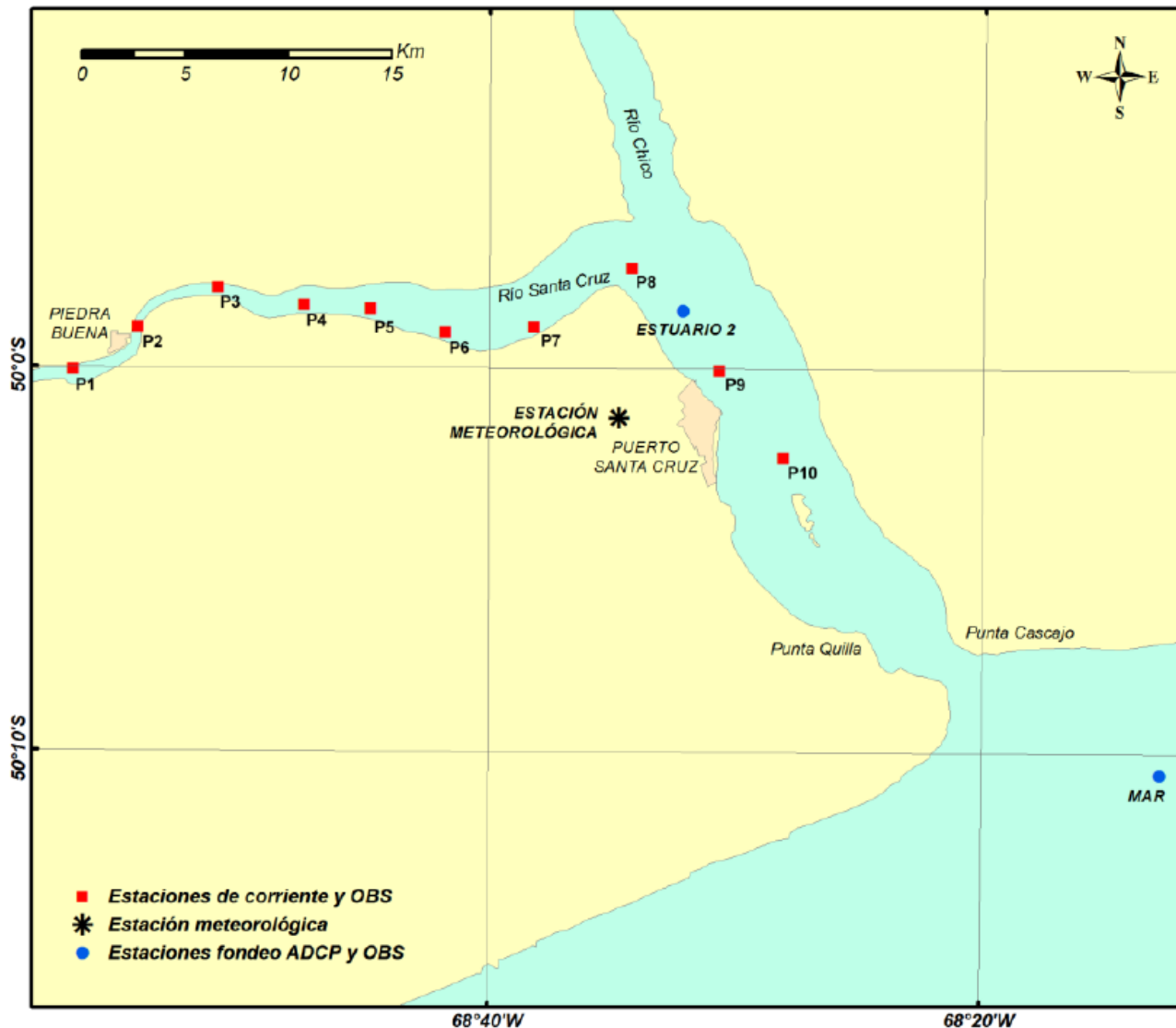


Figura 2-26. Ubicación de las estaciones de medición

Nota: Las coordenadas de P1 son E503683 N4461252 UTM 19S (WGS84). Se encuentra a casi 500 metros aguas arriba de la Toma de Agua de Piedrabuena.

Dado que durante el período utilizado para la calibración del modelo, la salinidad es prácticamente nula en los puntos P1, P2 y P3 (ver Tabla siguiente), en las figuras siguientes se muestran a continuación series de tiempo de salinidad sólo en los puntos P4 a P10.

Se puede apreciar que durante las mediciones en los puntos P4 a P7 la salinidad que calcula el modelo es nula tanto en la bajante como en la creciente, de la misma manera que en las mediciones. Sólo se observa salinidad diferente de cero en los puntos P8, P9 y P10, también al igual que en las mediciones.

Tabla 2-5. Salinidad generada por el modelo en los Puntos P1 a P10, utilizando un caudal del Río Santa Cruz de 570 m³/s. Estadísticas básicas para el período de modelación 12 a 25 de diciembre de 2016.

Punto	Salinidad (UPS)			
	Valor medio	Mínimo	Máximo	Desvío Estándar
P1	0.0	0.0	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0	0.0
P3	0.0	0.0	0.1	0.0
P4	0.2	0.0	3.4	0.6
P5	0.9	0.0	9.0	1.9
P6	2.4	0.0	14.3	3.8
P7	5.2	0.0	20.3	6.3
P8	9.4	0.0	25.0	7.7
P9	16.5	3.3	30.3	8.1
P10	21.6	7.6	31.7	6.8

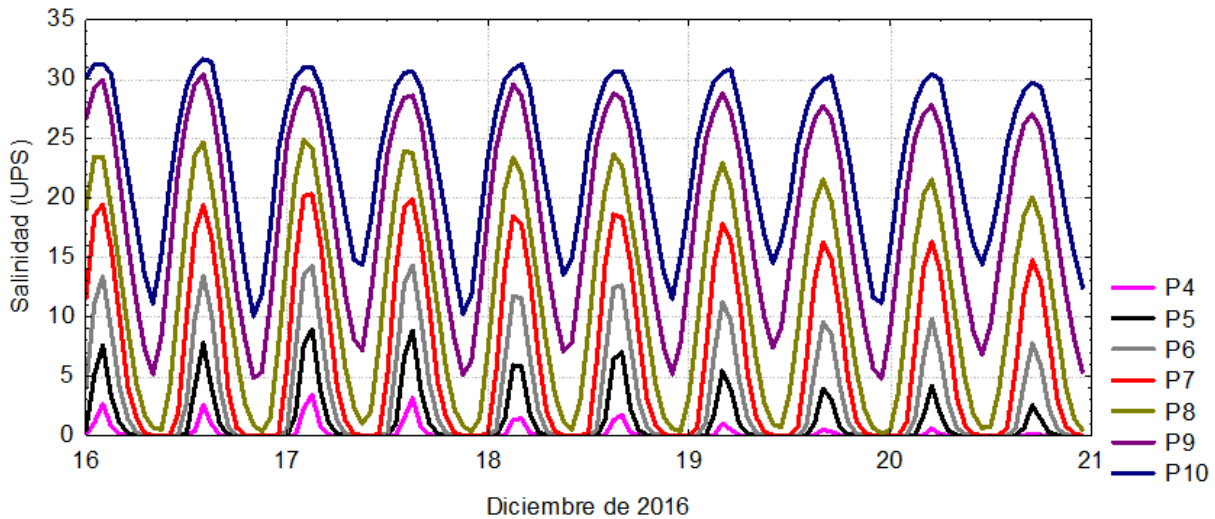


Figura 2-27. Resultados del modelo MIKE 3 (HD). Salinidad cercana al fondo en los puntos P4 a P10, para el período 16 a 20 de diciembre de 2016.

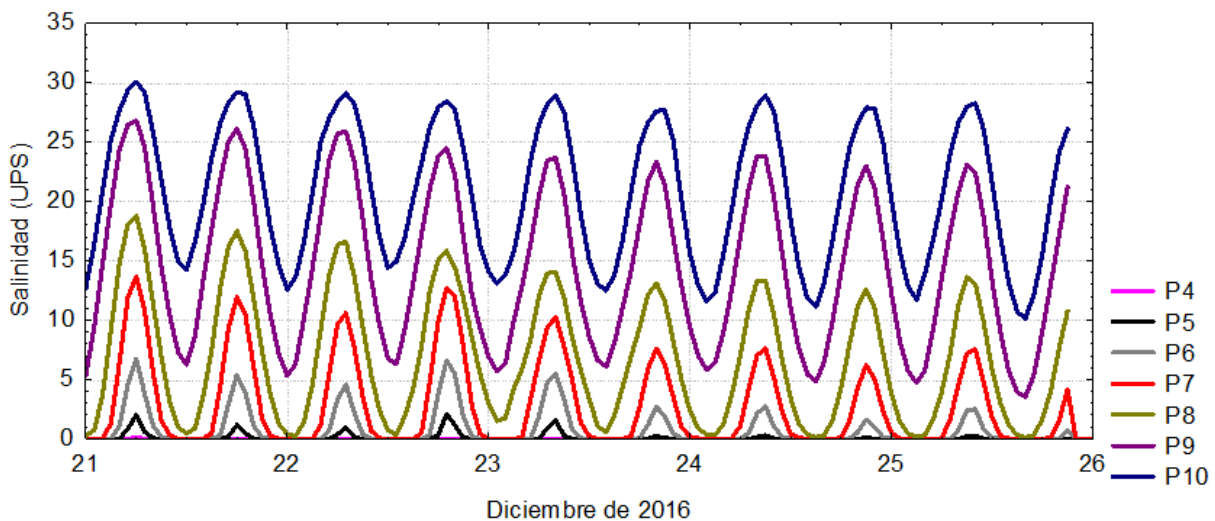


Figura 2-28. Resultados del modelo MIKE 3 (HD). Salinidad cercana al fondo en los puntos P4 a P10, para el período 21 a 25 de diciembre de 2016.

Puede apreciarse que:

- La salinidad en los puntos P4 a P10 es mayor cuando el agua ingresa al Río Santa Cruz durante con la pleamar.
- La salinidad dentro del Río Santa Cruz es mayor cuando la amplitud de marea es mayor. Por ejemplo para sicigias la salinidad en el punto P4 alcanza unos 4 UPS y en cuadratura es nula. Durante las simulaciones la amplitud de marea fue cambiando como muestra la Tabla 6.6.2

Para una mayor clarificación, se presenta la figura siguiente que vincula el momento de medición con los resultados de la modelación.

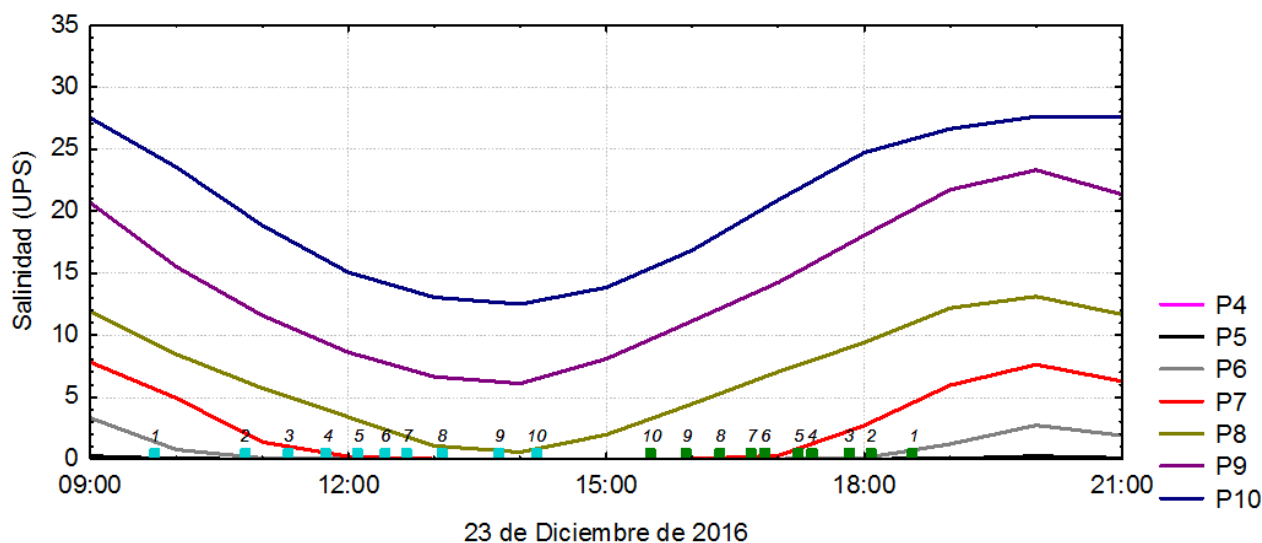


Figura 2-29. Resultados del modelo MIKE 3 (HD). Salinidad cercana al fondo en los puntos P4 a P10, para el 23 de diciembre de 2016. Los cuadrados celestes identifican el momento de las mediciones que se realizaron durante la bajante y los cuadrados verdes durante la creciente. Los números de 1 a 10 se corresponden con los puntos P1 a P10.

Se puede apreciar que durante las mediciones en los puntos P4 a P7 la salinidad que calcula el modelo es nula tanto en la bajante como en la creciente, de la misma manera que en las mediciones. Sólo se observa salinidad diferente de cero en los puntos P8, P9 y P10, también al igual que en las mediciones.

Por otro lado, con el objeto de establecer los valores de salinidad en puntos de referencia con un caudal mayor al establecido para la calibración ($570 \text{ m}^3/\text{s}$), se seleccionó un caudal de $700 \text{ m}^3/\text{s}$ y se hizo una corrida del MIKE 3.¹

De esta nueva corrida se extrajo la salinidad calculada por el modelo en los puntos P1 a P10, a las mismas profundidades que en el caso correspondiente al caudal de $570 \text{ m}^3/\text{s}$. Se calcularon valores medios, mínimos y máximos de la serie de tiempo para cada punto.

La salinidad asociada al caudal mayor resultó algo menor en todos los puntos. A modo de ejemplo, en el punto P7 la salinidad es en promedio 1.1 UPS menor que para la caso de caudal mayor. Las diferencias son poco significativas.

En vista de estos resultados de la comparación de salinidades medidas y calculadas por el modelo, se considera calibrado el MIKE 3 (HD+AD) para el estuario, desde el punto de vista de la temperatura y salinidad.

¹ El mayor valor es consistente con el orden de magnitud del caudal en la Estación Charles Furh, para el entorno de la fecha de aforo realizado en la ex Ruta 3.

Salinidad y corrientes para distintas condiciones de marea

Los campos de salinidad variables en el tiempo han sido reproducidos por el modelo para diferentes condiciones de marea y viento. En las figuras siguientes se presentan campos de salinidad y velocidades de la capa cercana al fondo del mar para las condiciones de marea más extremas de pleamar y bajamar, calculados por el MIKE 3 (HD+AD).

De estas figuras puede verse que el agua salada del mar ingresa al estuario dominada por las velocidades de marea, generando un importante gradiente horizontal que varía espacialmente en función de la condición de marea. En creciente el agua salada en interior del estuario es mayor que en bajante y salinidades del orden de 10 UPS pueden encontrarse a unos 10 km dentro del Río Santa Cruz. En bajante el Río Santa Cruz muestra salinidad nula en toda la extensión simulada, desde Isla Pavón hasta su desembocadura en el estuario.

Se presentan a continuación dos campos de salinidad y corrientes, para las condiciones 4 y 7 de marea. La condición 4 es casi de bajamar (el agua aún se está retirando). La salinidad tiene valores entre 4 UPS y 28 UPS, aproximadamente. La condición 7 es cercana a la pleamar. El agua está aún entrando al estuario y la salinidad tiene valores entre 20 UPS y 32 UPS, aproximadamente

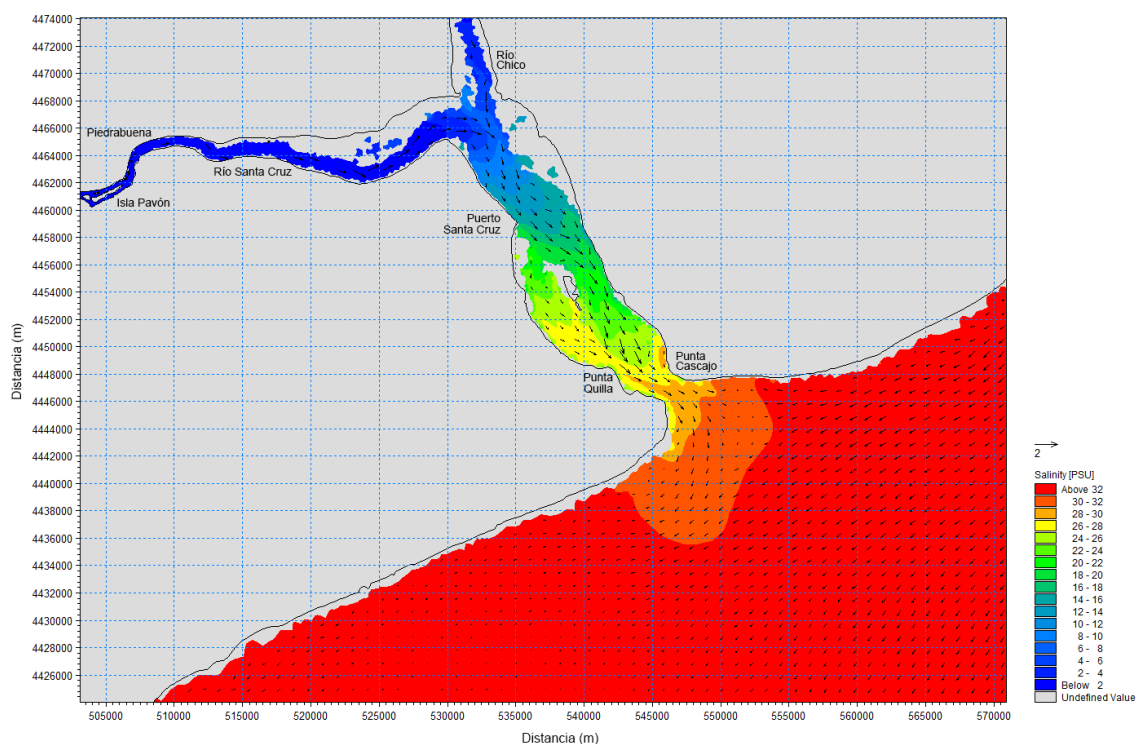


Figura 2-30. Campo de salinidad y corrientes para la Condición 4 de marea

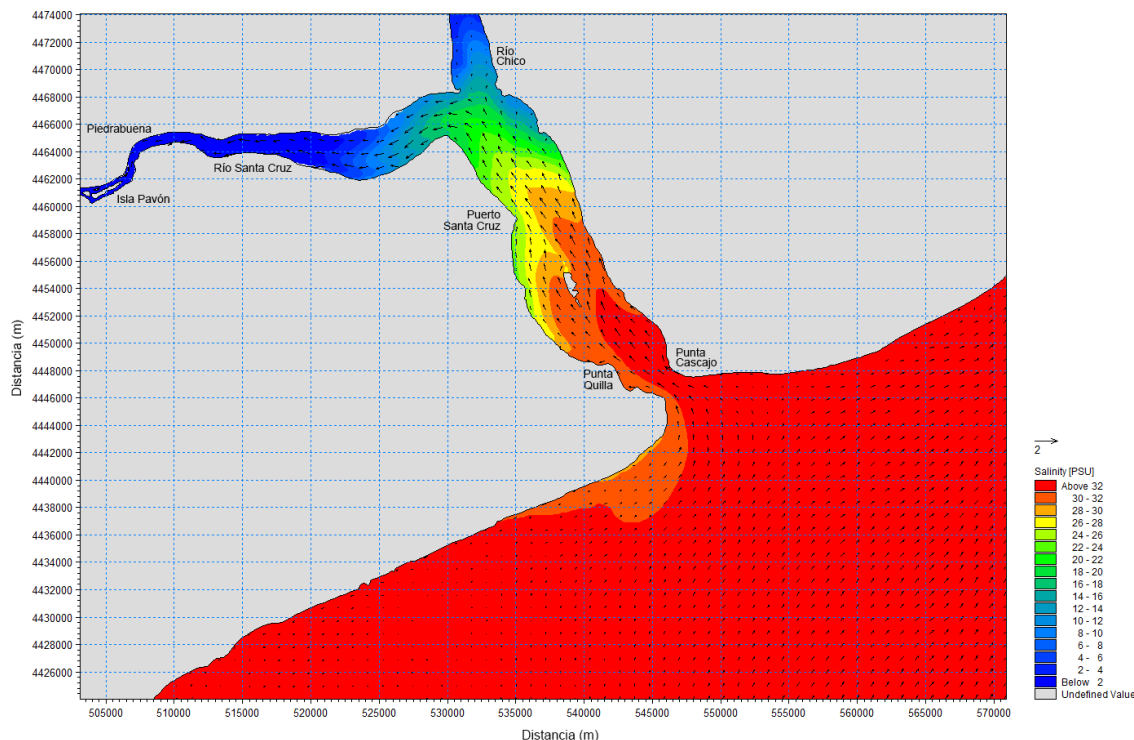


Figura 2-31. Campo de salinidad y corrientes para la Condición 4 de marea

Para ilustrar la distribución de la salinidad en la vertical, se han presentado figuras para la Condición 6 (condiciones de creciente, el agua sigue entrando), las que incluyen los campos de velocidades en las 5 capas de cálculo que utiliza el modelo además de la salinidad.

Los campos de salinidad en todas las capas muestran una variación importante con aguas de salinidad nula proveniente de los Ríos Santa Cruz y Chico hasta salinidades superiores a 32 UPS mar adentro. Inversamente a las temperaturas, la salinidad en el estuario aumenta a medida que las capas son más profundas, encontrándose los máximos cercanos al fondo. La pluma de agua de relativamente baja salinidad que genera la desembocadura del estuario en el mar es de menor tamaño en la capa 1 (fondo) que en la capa 5 (superficie).

Corte longitudinal de salinidad

Para ilustrar la estructura vertical de la salinidad se presentan a continuación figuras que muestran la salinidad para 7 condiciones de marea a lo largo de una línea arbitraria longitudinal del estuario.

Los diferentes estados de la marea muestran variaciones importantes de la salinidad en el espacio y tiempo. Esta línea arbitraria inicia en el río de salinidad nula y llega hasta mar adentro donde la salinidad es la marina (mayor a 32 UPS). En la zona intermedia está el estuario donde la salinidad presenta cambios en la horizontal y la vertical.

Para tomar una referencia, puede seleccionarse un rango de salinidades de 26 a 28 UPS (color amarillo) donde para las 3 AM (Condición 1) se encuentra en el punto IP11 (25 km del eje x) y para las 9 AM (condición 5) en el IP 16 (45 km del eje x). El 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).

Respecto la variación vertical de la salinidad puede verse que en la mayoría de los casos ésta aumenta con la profundidad (cuña salina) pero esta condición no se sostiene en el tiempo y se desarma con cada ciclo de marea. Estas figuras también ilustran sobre las variaciones de los niveles del mar sobre el eje y las pendientes de la superficie del mar. El punto inicial del eje x correspondiente a IP1 se encuentra a aproximadamente 11 km de la toma de agua de Piedrabuena, entre los puntos P3 y P4 correspondientes a los sitios de medición de salinidad.

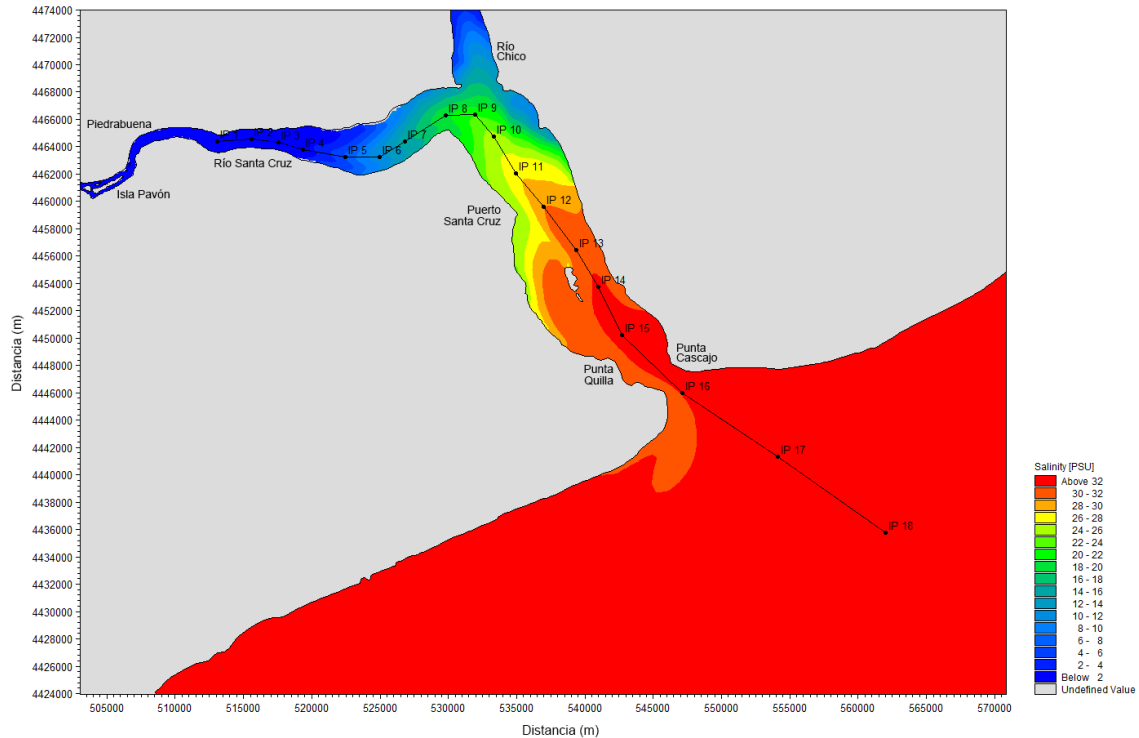


Figura 2-32. Eje del corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes condiciones de marea

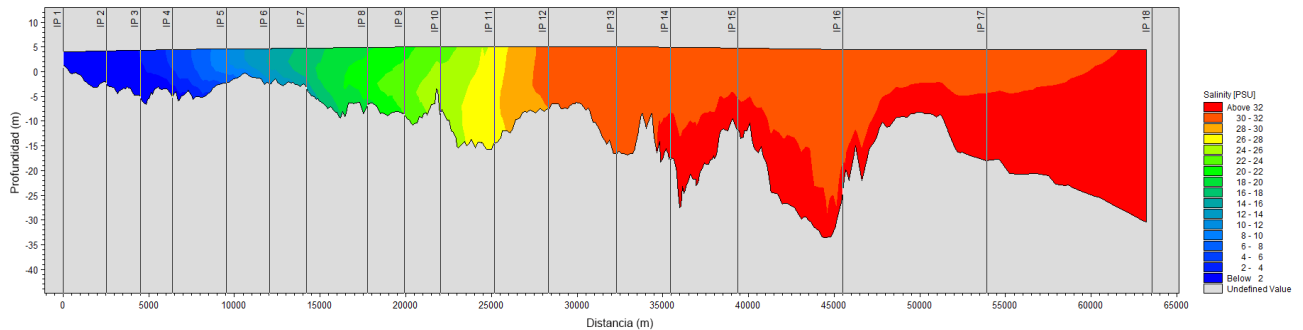


Figura 2-33. Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 1 de marea.

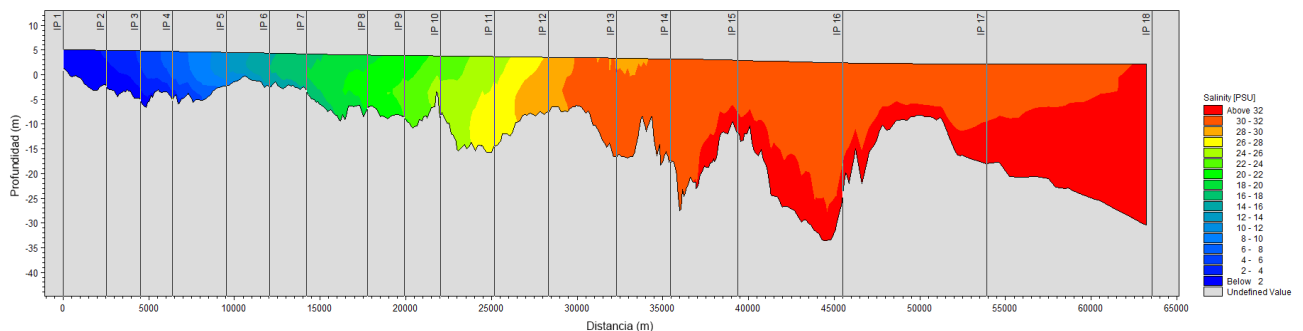


Figura 2-34. Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 2 de marea.

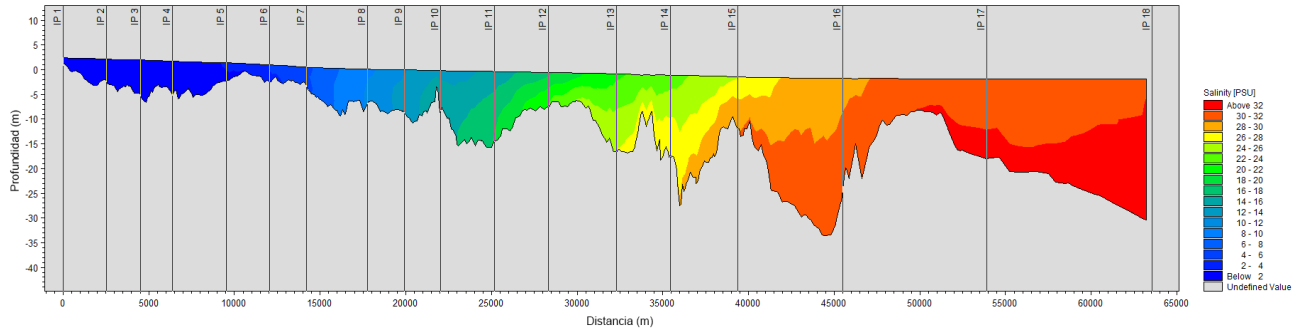


Figura 2-35. Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 3 de marea.

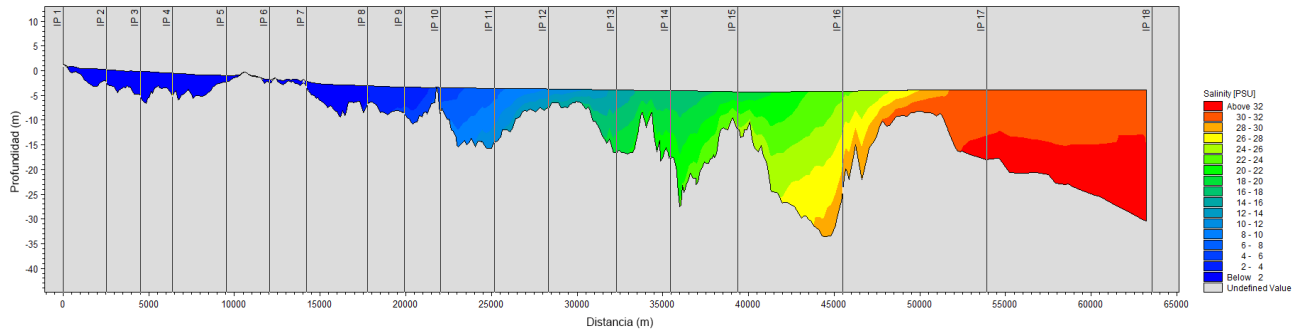


Figura 2-36. Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 4 de marea.

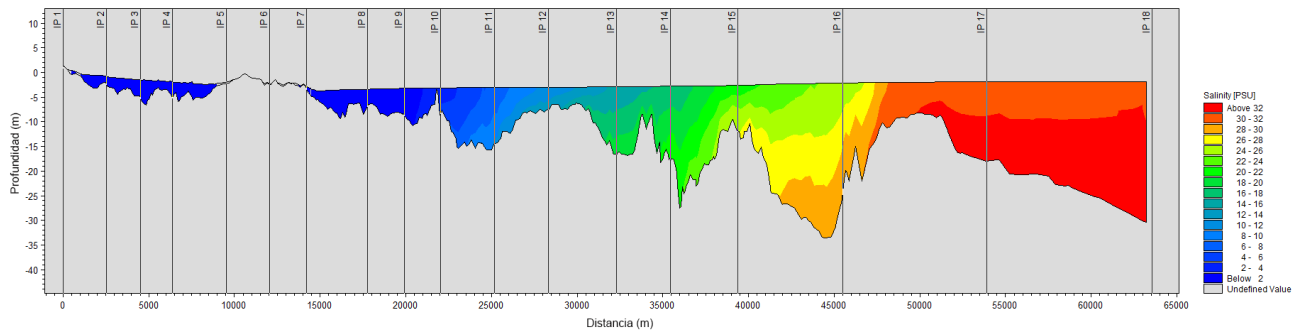


Figura 2-37. Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 5 de marea.

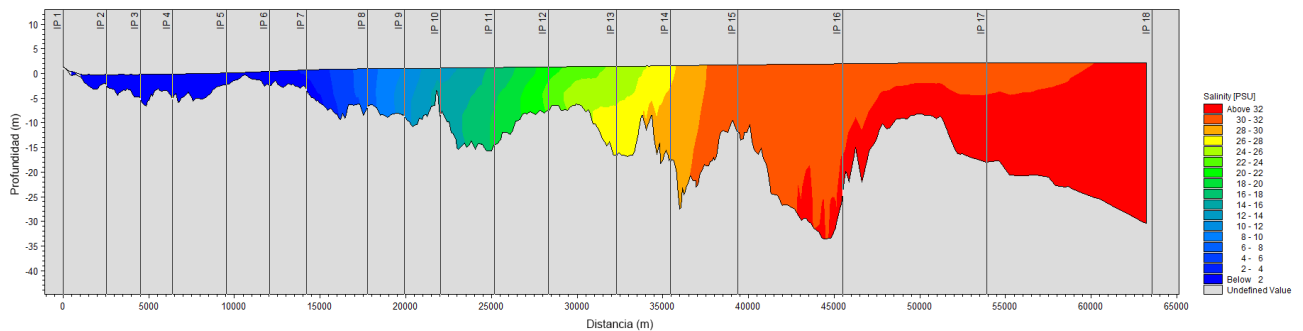


Figura 2-38. Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 6 de marea.

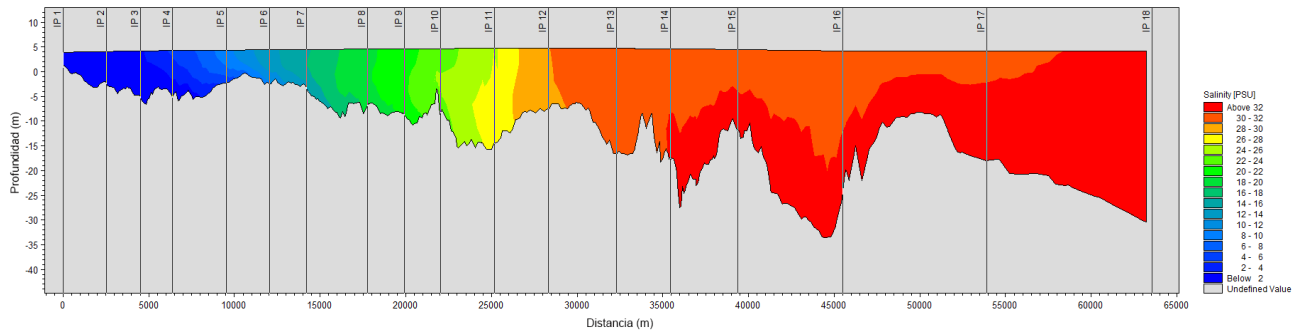


Figura 2-39. Corte vertical del campo de salinidad y distribuciones para las siguientes Condición 7 de marea.

Estimación de la renovación del agua del estuario con la marea

Se ha realizado una estimación de la fracción de agua que se renueva diariamente en el estuario, a partir de algunas simplificaciones. El volumen de agua que tiene el estuario al NMM, alcanza unos 1.12 km³ (1120 millones de metros cúbicos). Si se comparan los volúmenes de agua que ingresan para las distintas amplitudes de marea con el volumen de agua del estuario, puede deducirse que en el término de un ciclo de marea entra y sale un volumen de agua equivalente al del estuario definido hasta el NMM.

Tabla 2-6. Estimación del volumen de agua que ingresa al estuario entre la BM y la PM (prisma tidal) para distintas amplitudes de la marea

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

Salinidad, temperatura y corrientes en la Estación 10 a distintas profundidades.

En el Informe de Avance se presentan series de tiempo de nivel del mar, temperatura, salinidad y componentes este-oeste y norte-sur de las velocidades calculadas por el modelo para un punto de posición que coincide con la Estación 10, a diferentes profundidades. Las series muestran estar dominadas por las mareas para todas las variables. Esto es, mayor amplitud en los ciclos de las variables coincide con la mayor amplitud en la marea.

Comparación entre los campos de temperatura, salinidad, corrientes y niveles del mar para los caudales mínimos, máximos y medios del mes de junio

Este análisis es sumamente importante puesto que permite evaluar las condiciones hidrodinámicas y, salinidad y temperatura, a partir de escenarios con caudales mínimos, medios y máximos.

Por esta razón, se reproducen todos los resultados presentados en el Informe de Avance, que resultan de gran interés para la presente actualización del EIA.

Se han seleccionado 3 escenarios de junio asociados a aspectos de interés ambiental (plena invernada del Maca Tobiano), con los caudales del río que se muestra en la tabla siguiente (ver Figura 2-11.).

Tabla 2-7. 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 (años 1955 – 2003)	691 m ³ /s
Caudal Máximo observado para junio (año 1966)	1002 m ³ /s
Caudal Mínimo observado para junio (año 1956)	232 m ³ /s

Las simulaciones (para el mes de junio) tienen las siguientes características:

- Marea y viento variables ambos de modelos globales validados por la calibración.
- Respecto de la temperatura del Río Santa Cruz, el informe (Serman & asociados, 2015b para Represas Patagonia) indica que *“En relación al río Santa Cruz, como parte de la campaña de verano se registraron temperaturas de 12°, mientras que en el invierno la temperatura registrada fue de entre 4 y 3° (siendo el valor más bajo de 2,8°C el cual se registró en el Punto 7), para caudales altos y bajos respectivamente, advirtiéndose una relación directa entre temperatura del agua y caudal”*.
- Se ha seleccionado una temperatura constante en los dos ríos Santa Cruz y Chico de 4°C considerando a junio como primer mes del invierno y caudales relativamente altos para este período, ya que julio y agosto registran caudales inferiores.
- Temperatura del mar constante en los bordes del dominio de simulación de 7.5 °C en base a la interpolación conseguida de los datos de la WOD13.
- Temperatura ambiente de datos de la estación meteorológica de Puerto Santa Cruz, el promedio histórico de junio es de 1.7 °C.
- Salinidad de los ríos Santa Cruz y Chico nula en los borde del dominio de modelación.
- Salinidad del mar constante de 32.5 UPS en los bordes del dominio de simulación basada en los datos de WOD13.

Los resultados de la modelación en términos de la altura de la columna de agua, salinidad, temperatura y velocidad de la corriente, para los 10 puntos de referencia, para los 3 caudales seleccionados, cerca del fondo, se presentan en las tablas siguientes.

Tabla 2-8. Altura de la columna de agua (m) medida desde el fondo, en cada punto, expresada en términos de sus valores medios, mínimos y máximos. Mes representado: junio

Puntos	Q _{min} = 232 m ³ /s			Q _{med} = 691 m ³ /s			Q _{max} = 1002 m ³ /s		
	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo
P1	1.8	1.6	4.8	2.5	2.4	5.0	2.9	2.8	5.0
P2	1.9	1.2	6.5	2.7	2.1	6.7	3.1	2.7	6.6
P3	1.9	0.5	7.0	2.2	1.0	7.3	2.4	1.2	7.3
P4	4.1	1.7	9.8	4.5	2.3	9.9	4.6	2.6	10.0
P5	4.7	1.2	10.6	5.0	1.8	10.7	5.1	2.2	10.8
P6	6.8	2.6	12.8	6.9	3.0	12.9	7.0	3.3	13.0
P7	8.5	3.7	14.8	8.6	3.9	14.8	8.7	4.1	14.9
P8	8.4	2.5	14.9	8.5	2.5	14.9	8.5	2.6	15.0
P9	12.0	5.9	18.5	12.0	6.0	18.6	12.1	6.0	18.6
P10	11.1	5.0	17.6	11.1	5.1	17.6	11.1	5.1	17.6

- Cerca del extremo oeste del dominio de modelación, en Piedrabuena, el nivel medio del río aumenta a medida que aumenta el caudal del mismo. La diferencia entre niveles del río alcanza 1.1 m entre las simulaciones con caudal mínimo y máximo.
- Prácticamente, a partir del punto P8 el nivel de las aguas es controlado por las mareas sin influencia del caudal que se trate.

Tabla 2-9. Salinidad (UPS), en cada punto, expresada en términos de sus valores medios, mínimos y máximos. Mes representado: junio. Posición vertical del dato: 1 metro sobre el fondo.

Puntos	Q _{min} = 232 m ³ /s			Q _{med} = 691 m ³ /s			Q _{max} = 1002 m ³ /s		
	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo
P1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P3	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P4	0.7	0.0	9.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1
P5	2.3	0.0	14.3	0.1	0.0	2.5	0.0	0.0	0.6
P6	5.5	0.0	19.1	0.7	0.0	7.3	0.2	0.0	3.3
P7	9.8	0.1	22.9	2.5	0.0	13.1	1.0	0.0	8.9
P8	16.3	2.1	26.7	6.3	0.0	19.9	3.7	0.0	16.7
P9	22.7	13.0	30.2	13.6	1.6	27.3	10.1	0.4	25.7
P10	26.2	18.4	31.4	19.3	6.0	30.0	16.1	2.6	29.6

- Bajo las condiciones de modelación, no se observa salinidad en los puntos P1 a P3 y en el punto P4 el modelo ha calculado 0.7 UPS de salinidad para el caudal mínimo, para el mes de junio.
- Dentro de la ría, se observan cambios importantes de la salinidad para los distintos caudales del río. 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.

Tabla 2-10. Temperatura (°C) en cada punto, expresada en términos de sus valores medios, mínimos y máximos. Mes representado: junio.

Puntos	Q _{min} = 232 m ³ /s			Q _{med} = 691 m ³ /s			Q _{max} = 1002 m ³ /s		
	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo
P1	3.9	3.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
P2	3.5	3.1	4.0	3.9	3.7	4.0	4.0	3.9	4.0
P3	3.3	2.7	3.9	3.7	3.4	4.0	3.7	3.4	4.0
P4	3.1	2.2	3.8	3.8	3.3	4.0	3.8	3.5	4.0
P5	2.9	2.2	3.7	3.7	2.9	4.0	3.8	3.2	4.0
P6	2.7	2.1	3.7	3.5	2.7	4.0	3.7	2.9	4.0
P7	2.6	2.0	3.5	3.3	2.6	3.9	3.5	2.7	4.0
P8	2.7	2.1	4.2	3.2	2.6	4.1	3.3	2.7	4.0
P9	3.4	2.1	5.5	3.4	2.5	5.3	3.5	2.7	5.2
P10	4.3	2.6	6.4	4.1	2.7	6.5	4.0	2.8	6.4

- La temperatura cerca del punto P1 depende de la condición de contorno impuesta al modelo: 4°C, constante para el mes de junio. La temperatura en el mar se ha considerado constante e igual a 7.5°C, mientras que la temperatura ambiente se la ha considerado igual a 1.7°C.
- Los resultados de la **Tabla 2-10.** deben entenderse de la siguiente manera: a partir del punto P1 la temperatura baja debido a la transferencia de frío desde el aire, que se encuentra unos 2.3°C por debajo de la temperatura del río. A partir del punto P8 se ve la influencia de la temperatura más cálida del mar. El fenómeno se repite para todos los caudales. Las variaciones de temperaturas máximas observadas para las simulaciones con máximo y mínimo caudal son de 1°C.

Tabla 2-11. Velocidad (m/s) en cada punto, expresada en términos de sus valores medios, mínimos y máximos. Mes representado: junio

Puntos	Q _{min} = 232 m ³ /s			Q _{med} = 691 m ³ /s			Q _{max} = 1002 m ³ /s		
	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo
P1	0.47	0.02	0.57	0.74	0.03	0.79	0.87	0.10	0.91
P2	0.81	0.00	1.52	1.16	0.01	1.39	1.30	0.02	1.51
P3	0.73	0.00	1.18	0.96	0.00	1.47	1.00	0.01	1.71
P4	0.51	0.01	1.39	0.57	0.03	1.19	0.61	0.01	1.10
P5	0.71	0.02	1.42	0.73	0.03	1.29	0.75	0.01	1.21
P6	0.60	0.01	1.18	0.61	0.00	1.13	0.61	0.00	1.10
P7	0.74	0.01	1.28	0.75	0.01	1.24	0.75	0.00	1.22
P8	0.83	0.03	1.40	0.82	0.05	1.44	0.82	0.02	1.47
P9	0.80	0.01	1.43	0.80	0.01	1.43	0.80	0.02	1.42
P10	0.76	0.02	1.52	0.75	0.02	1.52	0.75	0.02	1.52

- El módulo de las velocidades de las corrientes cerca del fondo varía, con alguna significación, con el caudal hasta el punto P5: a mayor caudal mayor velocidad hasta el punto P5. Desde allí hacia el mar, el módulo de la corriente se hace independiente del caudal y es dominado por las mareas.

Las figuras siguientes muestran cortes, a lo largo del río y ría, con la distribución de la salinidad, para los 3 caudales considerados y 4 estados de la marea: pleamar, bajante, bajamar y creciente. La traza del corte, si bien arbitraria, es eficaz para ver los cambios de salinidad calculada por el modelo. Las marcas referencias de posición a lo largo de la traza del corte, presentes en las figuras siguientes, pueden verse en la Figura 2-32..

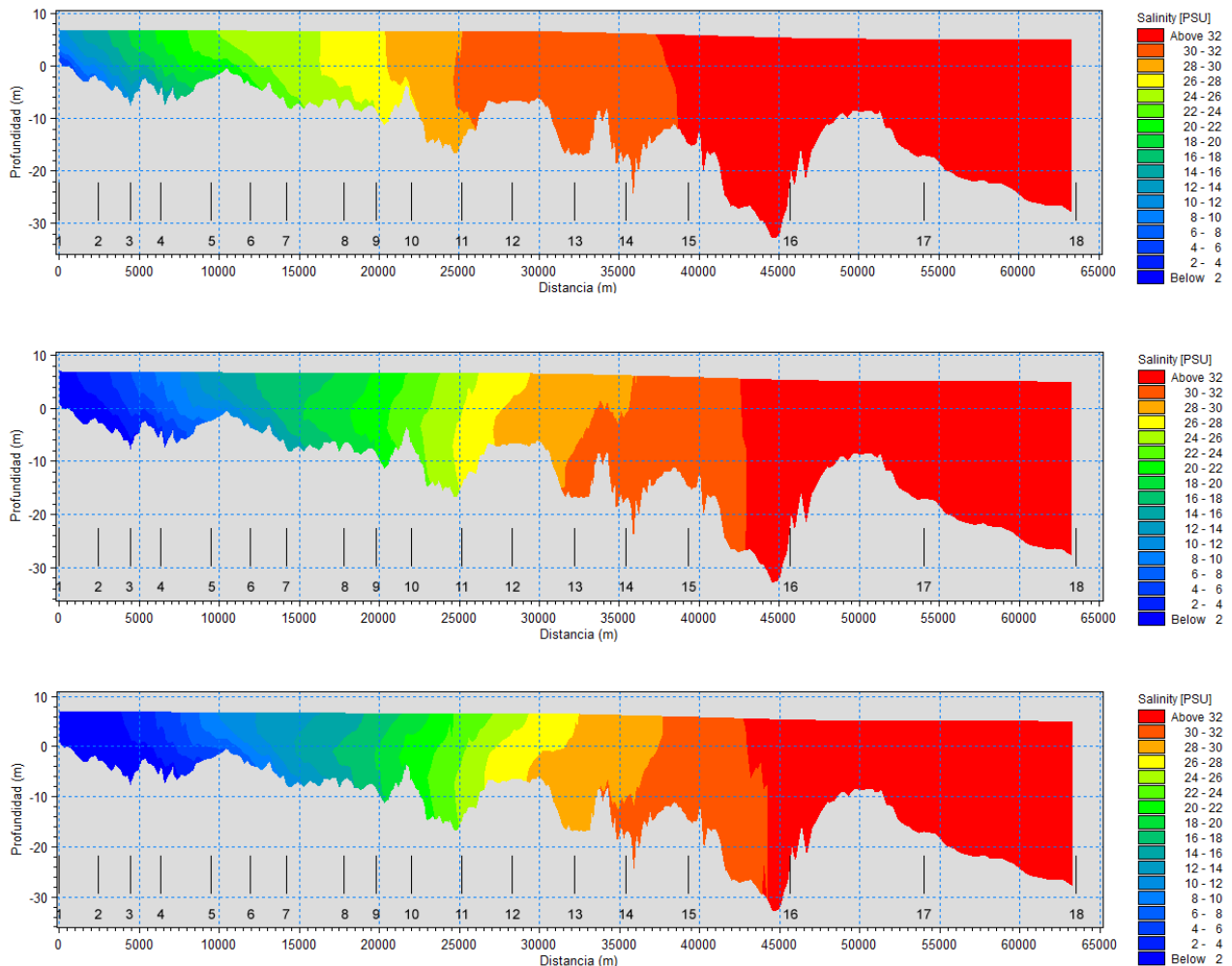


Figura 2-40. Cortes verticales de salinidad para el caudal $Q_{\min} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$ (arriba), $Q_{\text{med}} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$ (medio) y $Q_{\max} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$ (abajo) para la condición de pleamar.

- Como es de esperarse, a mayor caudal, menor presencia salina en el río y la ría. A modo de ejemplo, valores de salinidad entre 26 y 28 UPS (amarillo en las figuras) se encuentran entre las marcas 7 y 8, y 10 para el caso del mínimo caudal y entre las marcas 11 y 12, y 13 para el máximo caudal.
- En condiciones de caudal mínimo la salinidad alcanza a afectar la marca 1 (punto IP1), el cual se encuentra a unos 11 km aguas abajo de la toma de agua de Piedrabuena.
- Salinidades menores a 2 UPS solamente se encuentran para los caudales medio y máximo.

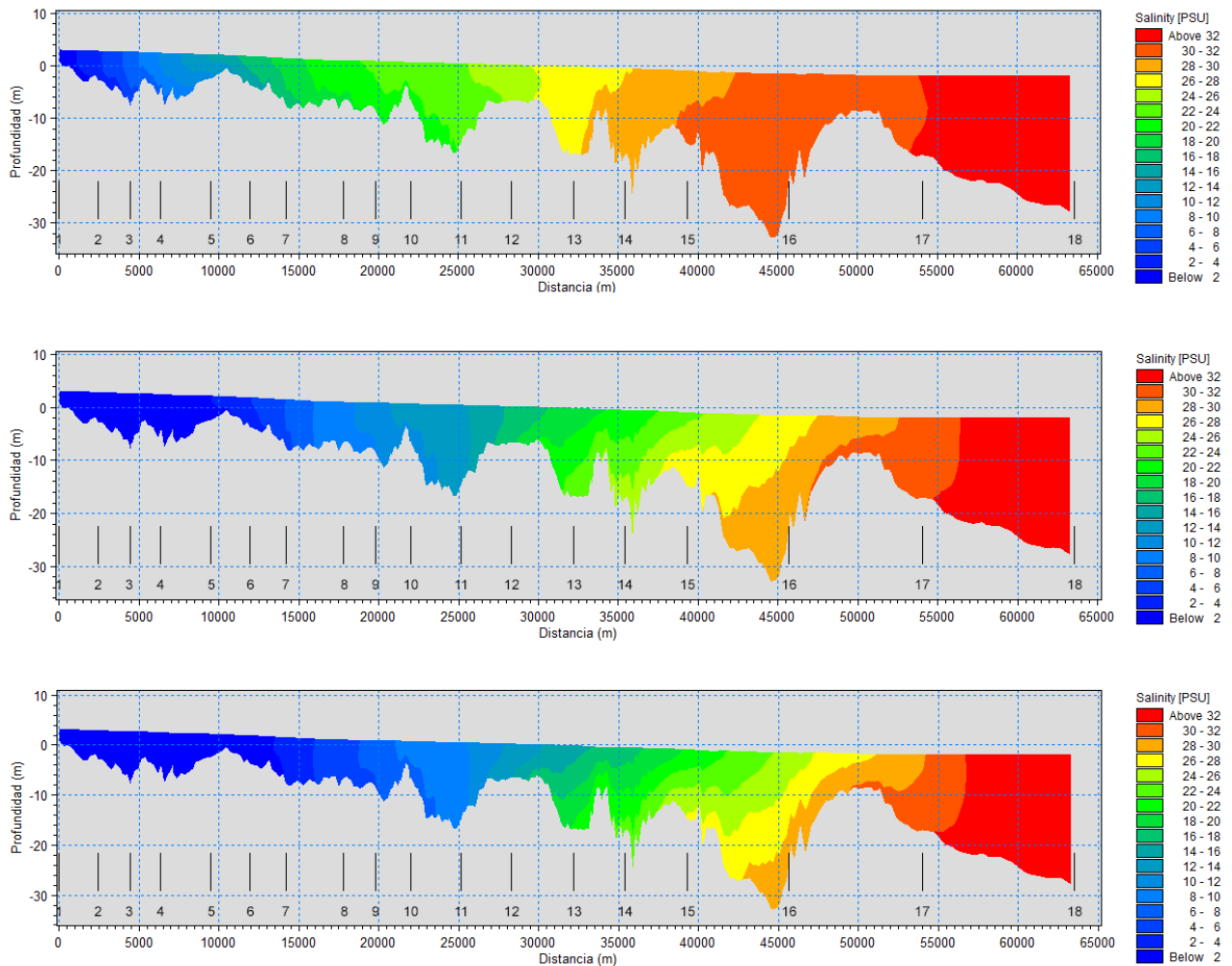


Figura 2-41. Cortes transversales de salinidad para el caudal $Q_{\min} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$ (arriba), $Q_{\text{med}} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$ (medio) y $Q_{\max} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$ (abajo) para la condición de bajante.

- En el caso de marea bajante, valores de salinidad entre 26 y 28 UPS (amarillo en las figuras) se encuentran entre las marcas 12 y 14 para el caso del mínimo caudal y entre las marcas 15, y 16-17 para el máximo caudal.
- Salinidades menores a 2 UPS solamente se encuentran para los todos los caudales.

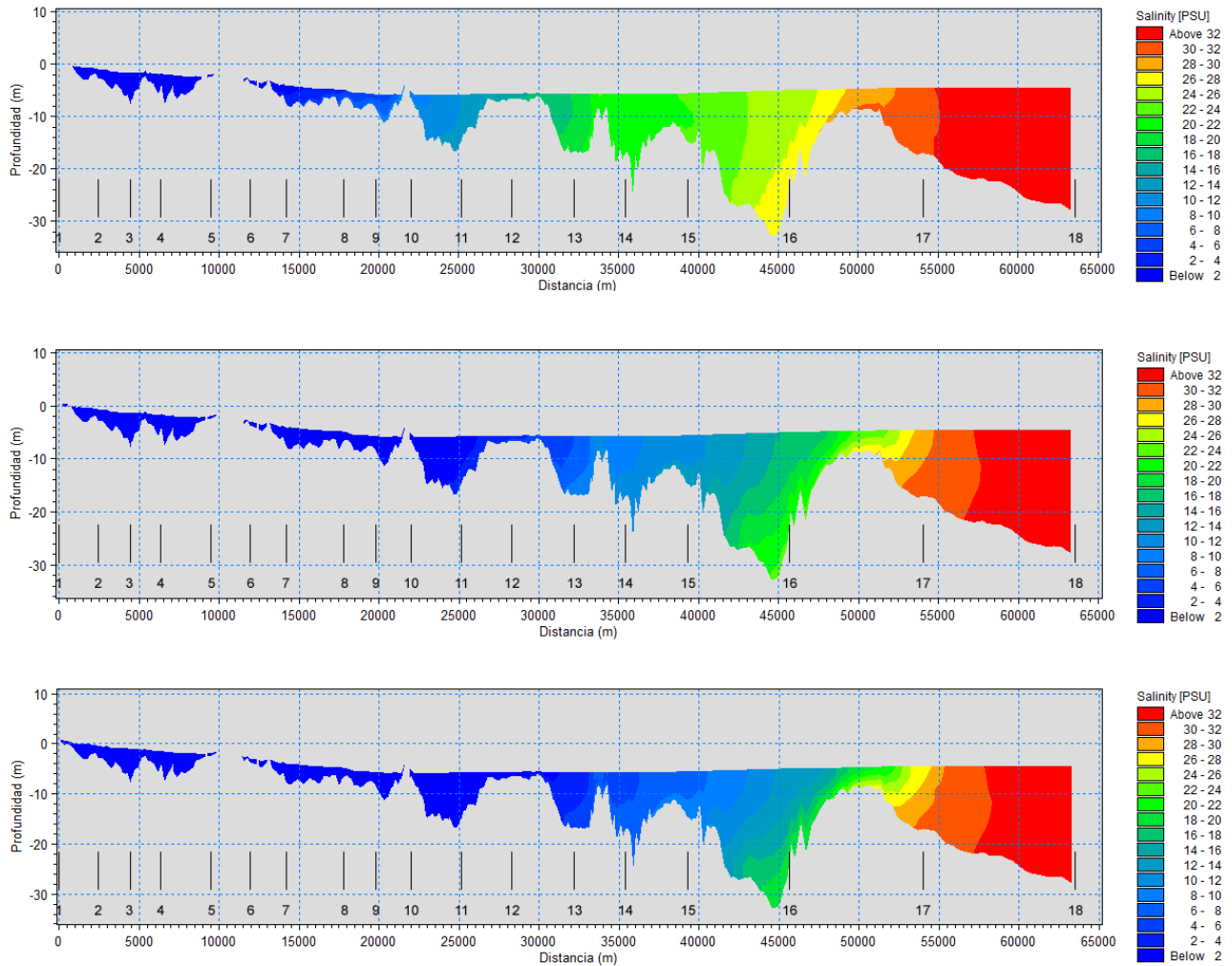


Figura 2-42. Cortes transversales de salinidad para el caudal $Q_{min} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$ (arriba), $Q_{med} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$ (medio) y $Q_{max} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$ (abajo) para la condición de bajamar.

- En el caso de bajamar, valores de salinidad entre 26 y 28 UPS (amarillo en las figuras) se encuentran entre las marcas 15 y 16-17 para el caso del mínimo caudal y 17 para el máximo caudal.
- Salinidades menores a 2 UPS solamente se encuentran para los todos los caudales.

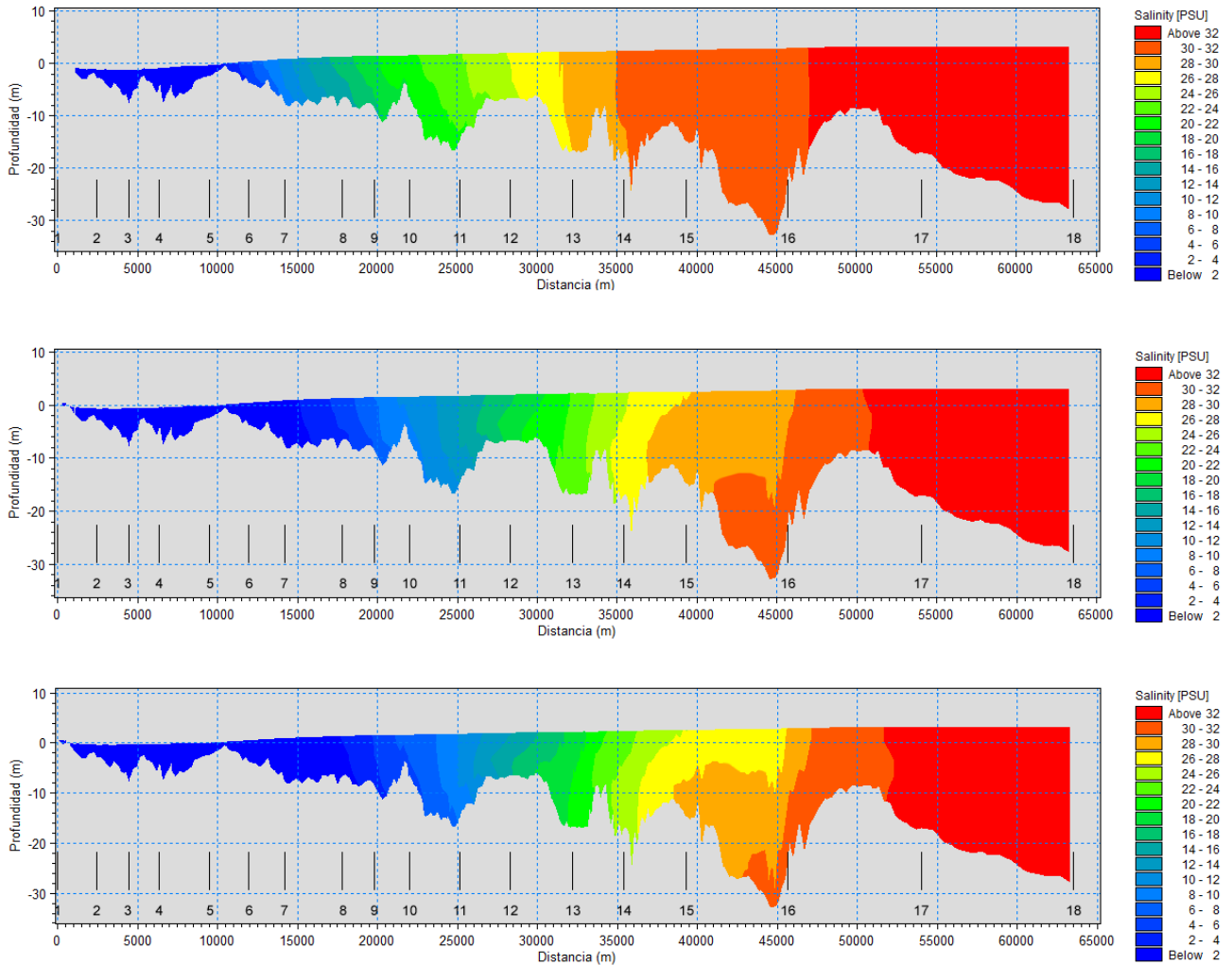


Figura 2-43. Cortes transversales de salinidad para el caudal $Q_{min} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$ (arriba), $Q_{med} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$ (medio) y $Q_{max} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$ (abajo) para la condición de creciente.

- En el caso de marea creciente, valores de salinidad entre 26 y 28 UPS (amarillo en las figuras) se encuentran entre las marcas 12 y 13 para el caso del mínimo caudal y entre las marcas 14 y 16 para el máximo caudal.
- Salinidades menores a 2 UPS solamente se encuentran para los todos los caudales.

Como consecuencia de estas simulaciones, puede verse que hay variaciones muy importantes de la salinidad en tan poco tiempo como un ciclo de marea (12.4h) durante el cual ocurren los estados de marea presentados: pleamar, bajante, bajamar y creciente. A modo de ilustración, valores entre 26 y 28 UPS, varían entre las marcas de referencia 7 y 8, y 17 durante un ciclo de marea, esto es en una distancia de unos 40 km. Lo mismo puede decirse de las zonas con valores de la salinidad menor a 2 UPS, que varían entre la marca 1 hasta la marca 13, algo más de 30 km.

Las figuras siguientes muestran las series de tiempo (de 1 mes de duración) de la salinidad para los 3 caudales considerados y para los puntos P6, P8 y P10.

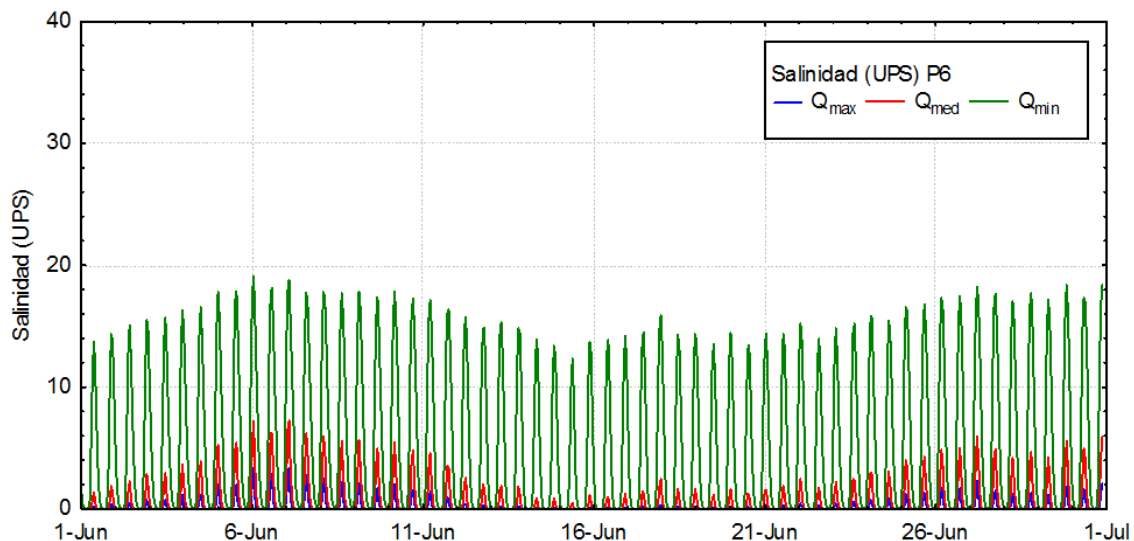


Figura 2-44. Series de tiempo (de 1 mes de duración) de la salinidad para los 3 caudales considerados, para el punto P6, a 1 m por sobre el fondo

Puede verse que la salinidad en este punto varía con la marea, tomando valores nulos con la bajante y es mayor cuando el caudal del Río Santa Cruz es menor.

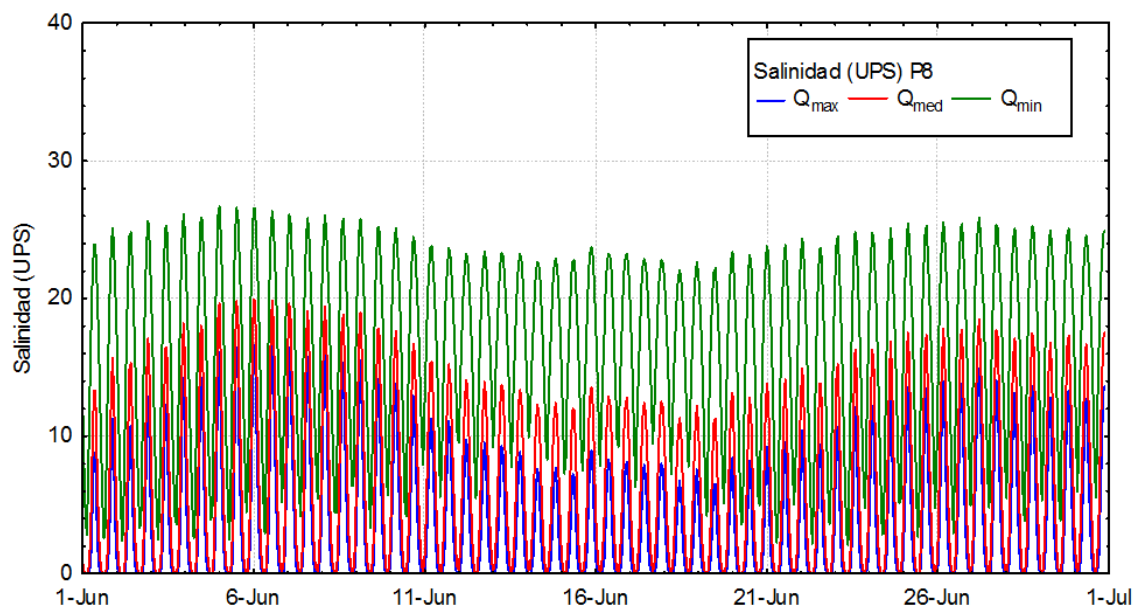


Figura 2-45. Series de tiempo (de 1 mes de duración) de la salinidad para los 3 caudales considerados, para el punto P8, a 1 m por sobre el fondo

En este caso, la salinidad varía con la marea tomando valores nulos con la bajante (para los caudales máximos y medios) y es mayor cuando el caudal del Río Santa Cruz es menor.

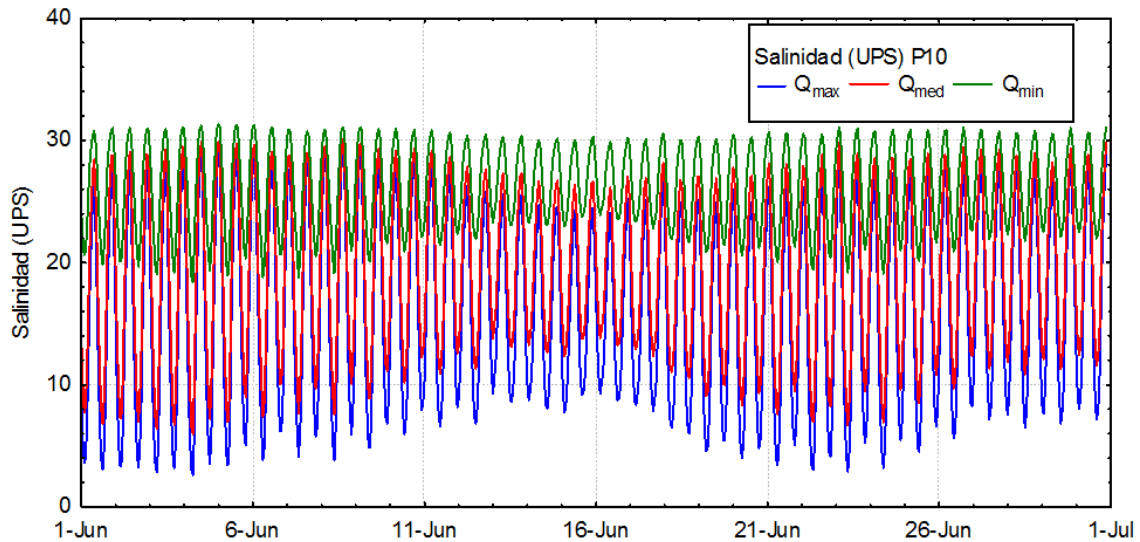


Figura 2-46. Series de tiempo (de 1 mes de duración) de la salinidad para los 3 caudales considerados, para el punto P10, a 1 m por sobre el fondo

Puede verse que la salinidad en este punto varía con la marea tomando valores mínimos (nunca nulos) con la bajante y es mayor cuando el caudal del Río Santa Cruz es menor.

En todos los casos la salinidad es mayor cuando el caudal del Río Santa Cruz es menor. Si se comparan las simulaciones que utilizan caudales medios y máximos resultan más parecidas entre sí que si se comparan los resultados de las que usan de caudales medios y mínimos. Esto se debe a que Q_{med} se obtiene multiplicando a Q_{min} por 3, mientras que para llegar a Q_{max} hay que multiplicar a Q_{med} por 1.45.

2.4 CONCLUSIONES

2.4.1 Informe de Campo

El estuario del Río Santa Cruz representó un desafío especial para conducir estas operaciones, por su dinámica muy intensa, caracterizada por corrientes de marea fuertes con valores máximos entre 4 y 7 nudos, vientos de alta variabilidad y muy fuertes, y grandes dificultades por las amplitudes de marea para navegar en sitios con bancos, y para lanzar y recuperar la lancha. El principal problema hallado fue el hecho que al recuperar los equipos fondeados en la Estación Estuario, todo el conjunto tenía graves evidencias de haber arrastrado sobre un fondo rocoso, y haberse deteriorado tanto el perfilador vertical de corrientes ADCP AWAC como el Turbidímetro y CTD OBS 3A, por lo que se decidió fondear nuevamente esa estación, para registrar adicionalmente cuatro ciclos adicionales de marea dentro del estuario. La cantidad y diversidad de datos registrados en esta campaña costera permiten concluir que los objetivos de la misma se cumplieron ampliamente.

2.4.2 Informe de Avance

Se ha realizado una modelación de niveles del mar, corrientes, temperatura, salinidad y turbidez en el Estuario del Río Santa Cruz para establecer la calibración del modelo MIKE 3 en base a mediciones. Los módulos utilizados del MIKE 3 son tres: hidrodinámico, difusión – dispersión y transporte de sedimentos.

La calibración realizada implica la búsqueda de la mejor correlación entre los datos medidos y los calculados por el modelo, para las siguientes variables:

- Elevación de la superficie del mar (altura de la marea)
- Velocidad y dirección de las corrientes a distintas profundidades
- Temperatura
- Salinidad y,
- Turbidez

Cuando se ha logrado la mejor correlación de todas las variables, se da por calibrado el modelo y se asegura que el mismo calculará satisfactoriamente esas variables, en el tiempo y el espacio, para otras épocas fuera del período de medición. A la fecha, se considera el modelo calibrado en todas las variables menos la turbidez, cuyo proceso de calibración está en desarrollo.

Se han utilizado diferentes fuentes de información para la calibración de los modelos: bases de datos globales (temperatura y salinidad del mar), resultados de las mediciones de corrientes, temperatura, conductividad (salinidad) y turbidez. Adicionalmente, se realizaron perfiles batimétricos complementarios de las cartas náuticas disponibles.

En el Informe de Avance, se han presentado resultados expresados en términos de la marea, específicamente de determinados momentos de la marea, ya que se ha establecido que las propiedades del agua como la temperatura y principalmente la salinidad depende del estado de la marea.

Las principales conclusiones alcanzadas son las siguientes:

- La calibración de los modelos MIKE 3 (HD) y MIKE 3 (AD) ha sido muy satisfactoria, favorecida por la regularidad y gran amplitud de las mareas, que se constituyen en la fuerza dominante del movimiento de las masas de agua en el estuario. El modelo corre sobre una grilla basada en la batimetría asociada al dominio de modelación y cuenta con 20874 elementos de variada forma y tamaño para hacer eficiente el cálculo.
- El ingreso y egreso de agua al estuario en cada ciclo de marea es muy importante. Considerando que el volumen de agua del estuario (al NMM) es 1.12 km³ (1120 millones de metros cúbicos) y que el volumen de agua que ingresa al estuario entre la BM y la PM es 1.13 km³ para amplitudes medias de marea (1.69 y 0.85 km³ para amplitudes máximas asociadas a sicigias y mínimas asociadas a cuadraturas, respectivamente), es claro que en el término de un ciclo de marea (12.4 horas) entra y sale un volumen de agua equivalente al del estuario. Este flujo de agua que entra y sale, permite que las aguas del estuario cambien constantemente sus propiedades, tales como la salinidad y la temperatura. El mecanismo de renovación de agua del estuario, por la acción de las mareas, es altamente eficiente.
- La importancia de la marea puede verse desde sus corrientes de marea asociadas. Son frecuentes corrientes con velocidades en superficie que superan 1.5 m/s.
- Las mediciones utilizadas para la calibración del modelo indican que para la época de medición las temperaturas de los Ríos Santa Cruz y Chico son superiores a la observada en el mar, en unos 2°C.
- Al momento de las mediciones, aguas con salinidad de algún significado se encuentran partir de la convergencia de los dos ríos hacia el mar. Los perfiles de salinidad en el estuario muestran valores mayores cerca del fondo.

- En el estuario ocurre la mezcla de aguas producida por descarga del río Santa Cruz principalmente y aquellas de origen marino. Esta mezcla que convoca aguas dulces y salinas con diferente temperatura de origen, son afectadas por la variación diaria de temperatura impuesta por el intercambio de calor entre el agua y la atmósfera.
- En general, la temperatura del agua de mar, relativamente más fría que la de los ríos para la época de medición, ingresa al estuario generando un gradiente horizontal de temperatura que varía su posición en función de la condición de marea. En creciente se observa agua relativamente más fría en el interior del estuario que en bajante. También debe considerarse que la temperatura del agua se ve modificada por la temperatura ambiente y en consecuencia el efecto de la marea (que considera a la temperatura como si fuera conservativa) se ve alterado. Las temperaturas aumentan a medida que las capas son más superficiales, encontrándose los máximos de temperatura en superficie.
- Las mediciones utilizadas en la calibración del modelo indican salinidades nulas en los Ríos Santa Cruz y Chico y superiores a 32 UPS en el mar.
- Durante la calibración, se hizo una comparación de 13 perfiles de corrientes medidos (considerados como instantáneos) y aquellos generados por el modelo. La correlación entre valores medidos y calculados se considera muy buena y coherente con las correlaciones entre series de tiempo.
- Los campos de salinidad variables en el tiempo han sido reproducidos por el modelo para diferentes condiciones de marea y viento. El agua de mar ingresa al estuario dominada por las velocidades de marea, generando un importante gradiente horizontal de salinidad que varía espacialmente en función de la condición de marea.
- En creciente (para el día 19/12/2016 con 9 m de amplitud de marea) la salinidad en el interior del estuario fue mayor que en bajante y salinidades del orden de 10 UPS pudieron encontrarse a unos 10 km dentro del Río Santa Cruz.
- En bajante (para el día 19/12/2016 con 9 m de amplitud de marea), el Río Santa Cruz muestra salinidad nula en toda la extensión simulada (desde Isla Pavón hasta su desembocadura en el estuario). Este efecto fue causado por la combinación entre la velocidad de avance de la embarcación de mediciones y la velocidad de la onda de marea creciente, de tal manera que la salinidad no alcanzó a los puntos de medición.
- Los campos de salinidad en todas las capas del modelo muestran una variación importante con salinidades nulas provenientes de los Ríos Santa Cruz y Chico hasta salinidades superiores a 32 UPS mar adentro. La salinidad en el estuario aumenta a medida que las capas son más profundas, encontrándose los máximos cercanos al fondo.
- La pluma de agua de relativamente baja salinidad, que se genera en la desembocadura del estuario hacia el mar, es de menor tamaño en el fondo que en la superficie. Respecto a la variación vertical de la salinidad puede verse que en la mayoría de los casos ésta aumenta con la profundidad (cuña salina) pero esta condición no se sostiene en el tiempo y cambia con cada ciclo de marea.
- Las series de tiempo del nivel del mar, temperatura, salinidad y componentes este-oeste y norte-sur de las velocidades calculadas por el modelo para un punto interior del estuario, muestran estar dominadas por las mareas para todas esas variables. Esto es, mayor amplitud en los ciclos de las variables coincide con la mayor amplitud en la marea.

- Con el objeto de establecer los valores de salinidad en puntos de referencia con un caudal mayor al establecido para la calibración (570 m³/s), se seleccionó un caudal de 700 m³/s y se hizo una corrida del MIKE 3, manteniendo las condiciones de las corridas con el anterior caudal. La máxima diferencia en la salinidad media, entre los dos casos, fue calculada para el punto P8 y alcanzó 1.7 UPS, mayor para el caso de menor caudal.

Atendiendo a aspectos de interés ambiental, se hicieron simulaciones para 3 caudales del Río Santa Cruz, todos representativos del mes de junio: mínimo, 232 m³/s; medio, 691 m³/s y máximo 1002 m³/s.

- Cerca del extremo oeste del dominio de modelación, en Piedrabuena, el nivel medio del río aumenta a medida que aumenta el caudal del mismo. La diferencia entre niveles del río alcanza 1.1 m entre las simulaciones con caudal mínimo y máximo.
- Prácticamente, a partir del punto P8 el nivel de las aguas es controlado por las mareas sin influencia del caudal que se trate.
- Bajo las condiciones de modelación, no se observa salinidad en los puntos P1 a P3 y en el punto P4 el modelo ha calculado 0.7 UPS de salinidad para el caudal mínimo, para el mes de junio.
- Dentro de la ría, se observan cambios importantes de la salinidad para los distintos caudales del río. 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 temperatura cerca del punto P1 depende de la condición de contorno impuesta al modelo: 4°C, constante para el mes de junio. La temperatura en el mar se ha considerado constante e igual a 7.5°C, mientras que la temperatura ambiente se la ha considerado igual a 1.7°C. A partir del punto P1 la temperatura baja debido a la transferencia de frío desde el aire, que se encuentra unos 2.3°C por debajo de la temperatura del río, luego desde el punto P8 se ve la influencia de la temperatura más cálida del mar, repitiéndose este fenómeno para todos los caudales.
- Las variaciones de temperaturas máximas observadas para las simulaciones con máximo y mínimo caudal son de 1°C.
- El módulo de las velocidades de las corrientes cerca del fondo varía, con alguna significación, con el caudal del río hasta el punto P5: a mayor caudal mayor velocidad hasta el punto P5. Desde allí hacia el mar, el módulo de la corriente se hace independiente del caudal y es dominado por las mareas.
- Las variaciones de salinidad son muy importantes en poco tiempo, como un ciclo de marea (12.4h) durante el cual ocurren los estados de marea pleamar, bajante, bajamar y creciente. Masas de agua con valores de salinidad entre 26 y 28 UPS, se desplazan unos 40 km en un solo ciclo de marea. Lo mismo puede decirse de las masas de agua con valores de la salinidad menor a 2 UPS, que se desplazan unos 30 km en ese mismo tiempo.

2.5 CONCLUSIONES GENERALES

Si bien resta aún culminar los estudios referidos a los aspectos sedimentológicos, los avances logrados en relación con el conocimiento de las fluctuaciones espaciales y temporales de la temperatura del agua y de su salinidad son muy relevantes para el conocimiento del comportamiento del sector estuarial del río Santa Cruz, información que no estaba disponible previamente por la falta de estudios antecedentes sistemáticos.

En el EIA del proyecto original (Serman & asociados s.a., 2015 para Represar Patagonia) se especificó la realización de un modelo hidrodinámico y sedimentológico para conocer en detalle el efecto del manejo de los caudales sobre el río Santa Cruz aguas debajo de la presa Jorge Cepernic. Esta modelización debía abarcar el último tramo con características estuariales debido a la influencia del régimen de mareas.

Se consideró también que los caudales significativamente menores que se darán durante el llenado, podrían causar que la zona estuarial se extienda aguas arriba y aumentar la influencia salina en el estuario.

Se comentó asimismo que este efecto también podría darse diariamente durante la fase de acumulación de agua en los embalses. No obstante, considerando el modo de funcionamiento del sistema en base que actualmente se propone, y dado que los caudales erogados serán prácticamente los mismos que ingresan al embalse, el único efecto posible sobre la extensión del área afectada por la pluma de salinidad, se podría producir durante la fase del llenado.

Por otro lado, se consideró que el tramo ubicado aguas abajo de Piedrabuena hasta la desembocadura en el mar, incluyendo el sector terminal del río Chico, debe ser modelizado en forma tridimensional aplicando un software apropiado, lo cual ha sido cumplimentado a través de la aplicación del modelo MIKE 3 HD y AD. Para la implementación del modelo, se debía verificar y complementar la información batimétrica provista en las cartas náuticas de manera de generar un Modelo Digital del Lecho de precisión adecuada a los fines del estudio, en toda la extensión modelizada, lo cual fue realizado satisfactoriamente.

Para la calibración del modelo, se han realizado un conjunto de mediciones del perfil vertical de velocidades (preferentemente con ADCP), de turbidez y de salinidad. Las mediciones se han realizado en forma sistemática durante varios ciclos de marea en dos puntos fijos representativos del estuario y del mar, y fueron complementadas con mediciones auxiliares puntuales distribuidas a lo largo del estuario hasta la localidad de Piedrabuena, de tal manera de “capturar” la variabilidad espacial y temporal de los parámetros.

Se han registrado los vientos durante el período de mediciones, para incluir en la modelización hidrodinámica su efecto en la propagación de la marea.

Por otro lado, se ha verificado con aforos puntuales, el caudal afluente al área modelada por el río Santa Cruz y el río Chico.

El modelo ha sido calibrado considerando los siguientes aspectos:

- Calibración de la fluctuación de Caudales y Velocidades influenciados por la descarga fluvial y por la propagación de la marea.
- Calibración de la penetración del frente o cuña de salinidad en las condiciones de caudal imperantes durante las mediciones.

Resta aún efectuar la calibración de las variaciones de carga de sedimentos en suspensión en función de la propagación de la marea, considerando el efecto de la salinidad en la floculación de las partículas finas.

Una vez calibrado, el modelo debía ser empleado para representar al menos los siguientes escenarios:

- Cuantificación de los efectos transitorios de mayor penetración de la salinidad hacia aguas arriba acercándose a Piedrabuena, considerando los caudales reducidos durante el período de llenado de las represas. Esta modelización debe considerar el caudal ecológico que se erogue hacia aguas abajo del embalse Jorge Cepernic. Como se mencionó, no es necesario considerar la fluctuación de caudales diarios, dado que en la actual operación prevista, las represas no retendrán caudal luego de ser llenadas, sino que trabajarán erogando el caudal que ingrese a las mismas.
- Estimación del impacto de la retención parcial de los sedimentos por parte de los embalses, sobre la sedimentación natural en la zona estuarial afectada por mareas y salinidad, evaluando los posibles efectos morfológicos que podrían ocurrir. Para realizar estas simulaciones, se deberá considerar como condición de borde aguas arriba del modelo tridimensional, la concentración de sedimentos finos en suspensión, que surja de los estudios de retención en los embalses.

El análisis que se ha presentado en el Informe de Avance, muestra el efecto que tiene en la temperatura y salinidad del tramo estuarial, el caudal del río Santa Cruz. Para ello, se han seleccionado tres condiciones de caudal, $Q_{\text{mínimo}} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{medio}} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{\text{máximo}} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$, registrados en el mes de junio en la Estación Charles Führ (período septiembre de 1955 – agosto de 2015).

Si bien el caudal mínimo adoptado no es el menor registrado en del río dado que en los meses de agosto y setiembre se han registrado valores mínimos ligeramente menores, es un valor razonablemente representativo de condiciones invernales y del orden de magnitud que podría tener el caudal ecológico que se adopte para la etapa de llenado de las represas.

Los resultados muestran 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.

En consecuencia, a partir de la información presentada en el Informe de Avance, se puede estimar que no se producirían afectaciones de la salinidad del agua en la toma de agua de Piedrabuena durante la fase de llenado, siempre que los caudales erogados sean del orden del valor mínimo modelado.

2.6 BIBLIOGRAFÍA

SERMAN & ASOCIADOS S.A. 2015a. Estudio de Impacto Ambiental Aprovechamiento Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz. Represas Patagonia. ELING CGGC HCSA UTE.

Serman & asociados, 2015b. Estudio de Impacto Ambiental Aprovechamiento Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz. Represas Patagonia. ELING CGGC HCSA UTE. ADENDA – SEGUNDA CAMPAÑA LIMNOLÓGICA.



REPRESAS PATAGONIA
ELING·CGGC·HCSA·UTE

Aporte de Sedimentos y Nutrientes al Estuario del Río Santa Cruz



INFORME PRELIMINAR



INDICE

1	INTRODUCCIÓN	2
1.1	MODELO CONCEPTUAL	2
2	CALIDAD DEL AGUA	3
2.1	SITIOS DE MUESTREO.....	3
2.2	PARÁMETROS ANALIZADOS	4
2.3	RESULTADOS OBTENIDOS	4
3	CAUDALES APORTANTES	5
3.1	CAUDAL DEL RÍO SANTA CRUZ.....	5
3.2	CAUDAL DEL RÍO CHICO.....	5
3.3	CAUDAL DE MAREA.....	5
4	APORTES AL ESTUARIO	6
4.1	APORTES DIARIOS DE LA MAREA.....	6
4.2	APORTES DEL RÍO CHICO.....	6
4.3	APORTES DEL RÍO SANTA CRUZ	7
5	APORTES COMPARADOS	8
5.1	APORTES EN KG/DÍA.....	8
5.2	APORTES PORCENTUALES.....	8
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	9
7	ANEXO PROTOCOLOS DE LABORATORIO	10



1 INTRODUCCIÓN

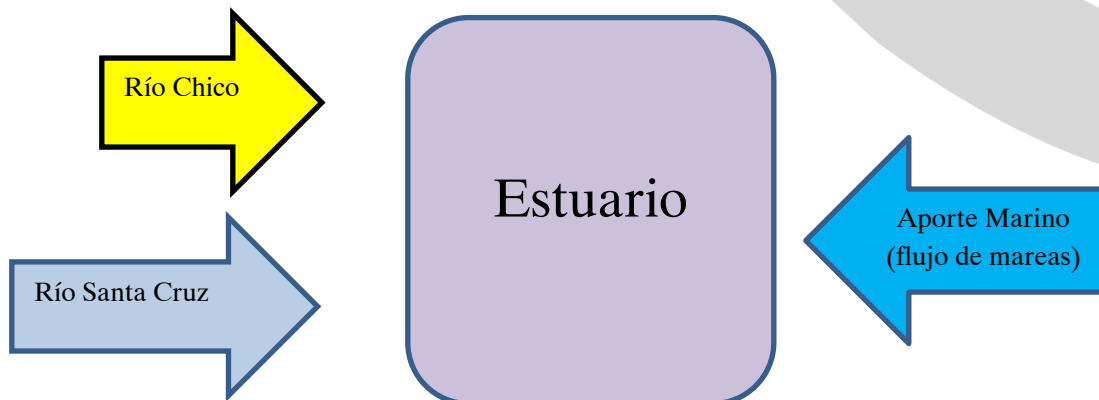
Con el propósito de comprender la dinámica hidráulica, de sedimentos y nutrientes en el estuario del río Santa Cruz, se realizaron varias modelaciones hidrodinámicas para distintos escenarios de caudales fluviales y mareas y se realizaron mediciones de calidad de agua en los tres (3) principales puntos de ingreso de caudales al estuario (desembocadura del Río Santa Cruz, desembocadura del Río Chico y boca del estuario al mar).

En este informe preliminar se presenta una primera evaluación de los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos efectuados en las muestras de agua, con el propósito de conocer la *contribución proporcional* de los diferentes aportes (caudales, sedimentos y nutrientes) al estuario del Río Santa Cruz.

1.1 MODELO CONCEPTUAL

Para evaluar los aportes al estuario se aplicó el modelo conceptual que se muestra en la figura, considerando los siguientes flujos:

- Río Chico
- Río Santa Cruz
- Aporte Marino (Flujo de mareas)





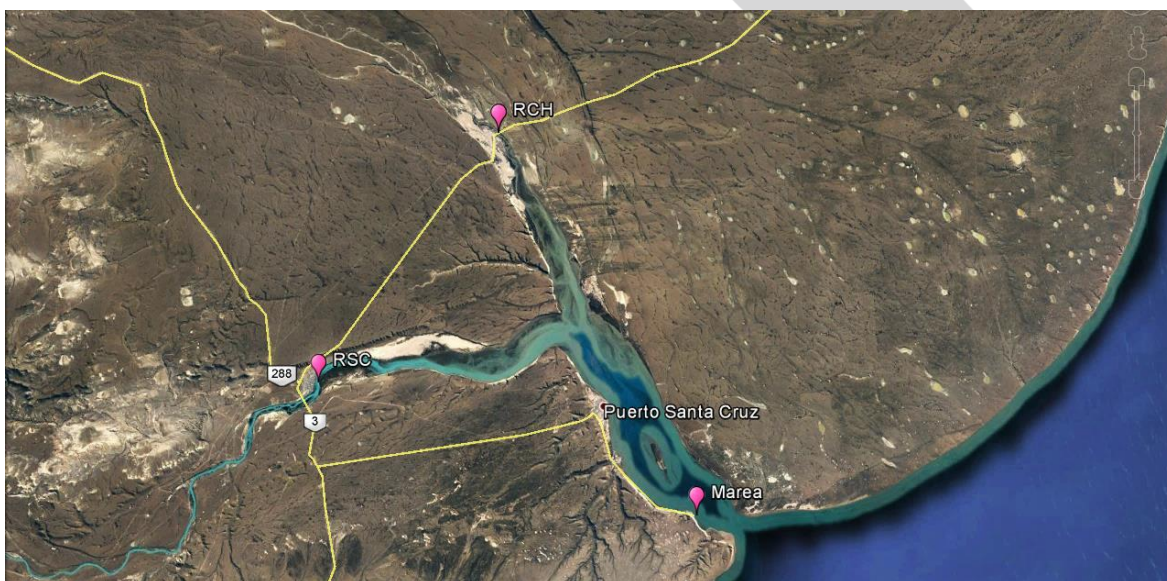
2 CALIDAD DEL AGUA

Para evaluar la calidad del agua se tomaron muestras con botella Niskin para procesamiento en laboratorio.

2.1 SITIOS DE MUESTREO

Los sitios de muestreo para calidad del agua fueron los siguientes:

Aportante	Sitio	Coordenadas
Río Santa Cruz	Frente a Piedrabuena	49° 58' 58.80" S 68° 54' 12.80" O
Río Chico	Puente de la Ruta Nº 3	49° 46' 38.06" S 68° 38' 25.60" O
Marea	Estuario Exterior Muelle de Punta Quilla en Pleamar	50° 07' 03.71" S 68° 24' 20.33" O



Ubicación de los sitios de muestreo.



2.2 PARÁMETROS ANALIZADOS

- Sólidos Suspendidos Totales (SST) (fracción sedimentable + fracción coloidal)
- Sólidos Disueltos Totales (SDT)
- Nitrógeno Total
- Fosforo Total
- Ortofosfatos

2.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Los análisis de laboratorio¹ arrojaron los siguientes resultados para los parámetros evaluados:

Parámetro	Río Santa Cruz	Río Chico	Flujo de Marea
Sólidos Suspendidos Totales (SST) – mg/L	18,49	633,99	104,94
Sólidos Disueltos Totales (SDT) – mg/L	60,35	33,96	30.555,56
Nitrógeno Total – mg/L	0,10	0,30	0,50
Fósforo Total – mg/L	0,18	0,55	0,68
Ortofosfatos – mg/L	0,03	0,17	0,15

¹ Ver protocolos en Anexos



3 CAUDALES APORTANTES

A los efectos de calcular los aportes los aportes se consideraron los siguientes caudales:

3.1 CAUDAL DEL RÍO SANTA CRUZ

Se utilizó el caudal medio mensual correspondiente al mes de marzo según datos de la Estadística Hidrológica Argentina.²

- Caudal Medio Mensual de Marzo: **965,40 m³/s**

3.2 CAUDAL DEL RÍO CHICO

Se consideró el caudal medio mensual correspondiente al mes de marzo 2016, único registro disponible según datos de la Estadística Hidrológica Argentina.

- Caudal Medio Mensual de marzo 2016: **16,7 m³/s**

3.3 CAUDAL DE MAREA

Se consideró el dato provisto por el informe de ESSA,³ donde consigna que

“La renovación de agua del estuario puede analizarse considerando la cantidad de agua de mar que ingresa al estuario en cada ciclo de marea. Considerando que el volumen de agua del estuario (al NMM) es 1,12 km³ (1120 millones de metros cúbicos) y que el volumen de agua que ingresa al estuario entre la BM y la PM es 1,13 km³ para amplitudes medias de marea (1,69 y 0,85 km³ para amplitudes máximas asociadas a sicigias y mínimas asociadas a cuadraturas, respectivamente), es claro que en el término de un ciclo de marea (12,4 horas) se renueva (el agua entra y sale) un volumen de agua equivalente al del estuario. Este flujo de agua que entra y sale, permite que las aguas del estuario cambien constantemente sus propiedades, tales como la salinidad y la temperatura. El mecanismo de renovación de agua del estuario, por la acción de las mareas, es altamente eficiente”.

- Caudal Diario de la Marea: $2 \times 1,13 \text{ km}^3 = 2,26 \text{ km}^3/\text{día} = \mathbf{26.157 \text{ m}^3/\text{s}}$

² Estadística Hidrológica de la República Argentina

³ MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, marzo 2017



4 APORTES AL ESTUARIO

El cálculo se realizó aplicando la siguiente formula:

$$\text{Aporte} = \text{Caudal} * \text{Concentración}$$

4.1 APORTES DIARIOS DE LA MAREA

Aportes Diarios de la Marea al Estuario	Caudal (m ³ /s)	mg/L	Aporte (kg/día)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	26.157	104,94	237.164.400
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	26.157	30.556	69.055.565.600
Nitrógeno Total	26.157	0,50	1.130.000
Fósforo Total	26.157	0,68	1.536.800
Ortofosfatos	26.157	0,15	339.000

4.2 APORTES DEL RÍO CHICO

Aportes Diarios del Río Chico al Estuario	Caudal (m ³ /s)	mg/L	Aporte (kg/día)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	16,7	633,99	914.771
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	16,7	33,96	49.000
Nitrógeno Total	16,7	0,3	433
Fósforo Total	16,7	0,55	794
Ortofosfatos	16,7	0,17	245



4.3 APORTES DEL RÍO SANTA CRUZ

Aportes Diarios del Río Santa Cruz al Estuario	Caudal (m ³ /s)	mg/L	Aporte (kg/día)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	965,4	18,49	1.542.261
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	965,4	60,35	5.033.827
Nitrógeno Total	965,4	0,1	8.341
Fósforo Total	965,4	0,18	15.014
Ortofosfatos	965,4	0,03	2.502



5 APORTES COMPARADOS

5.1 APORTES EN KG/DÍA

Aportes Diarios al Estuario (kg/día)	TOTAL	Mareas	Río Chico	Río Sta. Cruz
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	239.621.433	237.164.400	914.771	1.542.261
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	69.060.648.428	69.055.565.600	49.000	5.033.827
Nitrógeno Total	1.138.774	1.130.000	433	8.341
Fósforo Total	1.552.607	1.536.800	794	15.014
Ortofosfatos	341.748	339.000	245	2.502

5.2 APORTES PORCENTUALES

Aportes Diarios al Estuario (%)	Mareas	Río Chico	Río Sta. Cruz
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	99,0 %	0,4 %	0,6 %
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	100,0 %	0,0 %	0,0 %
Nitrógeno Total	99,2 %	0,1 %	0,7 %
Fósforo Total	99,0 %	0,1 %	0,9 %
Ortofosfatos	99,2 %	0,1 %	0,7 %



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La dinámica de caudales y nutrientes del estuario del río Santa Cruz está fuertemente determinada por la influencia marina (flujos de marea), ya que los caudales de agua marina que ingresan diariamente al estuario son varios ordenes de magnitud superiores al aporte fluvial (ríos Chico y Santa Cruz).

En este contexto, el aporte de sedimentos y nutrientes al estuario del río Santa Cruz resulta mayoritariamente de origen marino.

- En *Sólidos Suspendidos Totales*, las mareas aportan el 99 % del ingreso diario al estuario, seguido por el Río Santa Cruz con 0,6 % y luego el Río Chico con 0,4 %.
- En *Nitrógeno Total*, las mareas aportan el 99,2 % del ingreso diario al estuario, seguido por el Río Santa Cruz con 0,7 % y luego el Río Chico con 0,1 %.
- En *Fósforo Total*, las mareas aportan el 99 % del ingreso diario al estuario, seguido por el Río Santa Cruz con 0,9 % y luego el Río Chico con 0,1 %.
- En *Ortofosfatos*, las mareas aportan el 99,2 % del ingreso diario al estuario, seguido por el Río Santa Cruz con 0,7 % y luego el Río Chico con 0,1 %.

Los resultados obtenidos permiten concluir que:

- El mayor aportante de sedimentos y nutrientes al estuario sería el flujo de mareas (99 %) y que la contribución de los ríos Chico y Río Santa Cruz tendrían una contribución mucho menor (menor al 1 %).
- La retención de sedimentos que podría producirse en el río Santa Cruz como consecuencia de la construcción de las presas Nestor Kirchner y Jorge Cepernic, no tendría capacidad para modificar el aporte de sedimentos y nutrientes que actualmente recibe el estuario.

No obstante, debido a que los resultados de este informe preliminar se apoyan solamente en el análisis de muestras provenientes de un único evento de muestreo, se recomienda tomarlos como *resultados preliminares y sujetos a revisión* por muestreos futuros.

De todos modos, los resultados obtenidos se consideran útiles para comprender la *magnitud relativa de los aportes* al estuario.

A los efectos de contar con información más consistente, se recomienda efectuar un monitoreo mensual de calidad del agua (sedimentos y nutrientes), durante al menos un año para ajustar estos valores.



REPRESAS PATAGONIA
ELING·CGGC·HCSA·UTE

7 ANEXO PROTOCOLOS DE LABORATORIO



**INFORME DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS
TOTALES EN MUESTRAS DEL RÍO SANTA CRUZ
PARA REPRESAS PATAGONIA**

China GezhoubaGroup Company Limited | Electroingeniería SA | Hidrocuyo SA | UTE

Att. Lics. Luis Cavanna, María Monserrat Bellande

Material recibido

En la sede del Centro de Investigaciones Geológicas el día 3 de abril de 2017 por la mañana el Lic. Luis Cavanna entregó cuatro (4) muestras de agua superficial en recipientes plásticos con capacidad aproximada de dos litros (Figura 1) para la determinación de sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales. Cabe aclarar que junto con esas muestras se recibieron duplicados de las mismas en recipientes similares para la determinación de sólidos nutrientes. Las muestras se entregaron congeladas en heladera de telgopor y el Lic. Cavanna presentó al entregarlas la nota de cadena de custodia, llevándose una copia firmada de la misma. El mismo día de recibidas, las muestras fueron descongeladas y comenzaron a procesarse.



Figura 1: Fotografía de las muestras al momento de ser recibidas en el laboratorio del CIG.

Análisis de laboratorio solicitado

Según lo solicitado por nota entregada por el Lic. Cavanna las determinaciones efectuadas a las muestras fueron:

- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos disueltos totales

Análisis de laboratorio

Las tareas determinaciones de laboratorio efectuadas fueron:

- 1) Secado de la muestra en estufa a 75º C hasta total eliminación del agua almacenada en cada botella. Para este procedimiento se trasvasaron las muestras a vasos de precipitación y secado hasta 100 cm³. El secado definitivo se efectuó colocando esta última suspensión en cápsulas de porcelana a los efectos de facilitar la total recuperación del residuo sólido y la determinación de su contenido.
- 2) Lavado del material (residuo sólido) con agua destilada y filtrado. Este procedimiento se aplicó para efectuar la separación de sólidos suspendidos (material detrítico) y de las sales solubles.
- 3) Secado del material retenido por filtrado (sólidos suspendidos o material detrítico en la muestra).
- 4) Pesada de los sólidos suspendidos (o material detrítico) en la muestra. La pesada se efectuó en balanza de alta precisión hasta la quinta cifra decimal.
- 5) Secado en estufa con empleo de cápsulas de porcelana de la solución (agua destilada y sales solubles) obtenida con el filtrado.
- 6) Pesada de las sales precipitadas por el proceso de evaporación efectuado en el punto 5. También en este caso la pesada se efectuó con balanza de precisión hasta la quinta cifra decimal.

Resultados obtenidos

Los resultados del presente estudio se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Sólidos suspendidos totales (mg/L) y Sólidos disueltos totales (mg/L).

DETERMINACIONES		MUESTRAS			
		RSC nacientes	RSC Piedrabuena	Río Chico	Mar
Sólidos disueltos totales	mg/L	5,02	60,35	33,96	30.555,56
Sólidos suspendidos totales	mg/L	4,91	18,49	633,99	104,94

Las mediciones de volumen y pesajes efectuados para arribar a las concentraciones expresadas en la Tabla 1 se muestran en las Tabla 2 para el caso de sólidos disueltos totales y en la Tabla 3 para el caso de sólidos suspendidos totales.

Tabla 2: Volúmenes medidos y pesajes realizados para la determinación de sólidos disueltos totales.

Muestra	volumen de muestra (L)	Sólidos disueltos (mg)	Sólidos disueltos totales (mg/L)
Río Santa Cruz Naciente	1,859	9,34	5,02
Río Santa cruz Piedrabuena	1,806	108,99	60,35
Río Chico	1,86	63,16	33,96
Mar	1,8	55000	30555,56

Tabla 3: Volúmenes medidos y pesajes realizados para la determinación de sólidos suspendidos totales.

Muestra	volumen de muestra (L)	Sólidos Suspendidos (mg)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
Río Santa Cruz Naciente	1,859	9,12	4,91
Río Santa cruz Piedrabuena	1,806	33,34	18,46
Río Chico	1,86	1179,23	633,99
Mar	1,8	188,9	104,94

**INFORME DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES EN MUESTRAS DEL RÍO SANTA CRUZ
PARA REPRESAS PATAGONIA**

China GezhoubaGroup Company Limited | Electroingeniería SA | Hidrocuyo SA | UTE

Att. Lics. Luis Cavanna, María Monserrat Bellande

Material recibido

En la sede del Centro de Investigaciones Geológicas el día 3 de abril de 2017 por la mañana el Lic. Luis Cavanna entregó cuatro (4) muestras de agua superficial en recipientes plásticos con capacidad aproximada de dos litros (Figura 1) para la determinación de nutrientes. Cabe aclarar que junto con esas muestras se recibieron duplicados de las mismas en recipientes similares para la determinación de sólidos totales suspendidos y sólidos totales disueltos. Las muestras se entregaron congeladas en heladera de telgopor y el Lic. Cavanna presentó al entregarlas la nota de cadena de custodia, llevándose una copia firmada de la misma.

El mismo día de recibidas, las muestras fueron descongeladas y conservadas en heladera hasta el momento en que se efectuaron las determinaciones solicitadas.



Figura 1: Fotografía de las muestras al momento de ser recibidas en el laboratorio del CIG.

Análisis de laboratorio solicitado

Según lo solicitado por nota entregada por el Lic. Cavanna las determinaciones efectuadas a las muestras fueron:

- Ortofosfatos en muestra filtrada.
- Fosforo total en muestra sin filtrar.
- Nitrógeno total en muestra sin filtrar.

En todos los casos los análisis se efectuaron por triplicado y el dato informado corresponde al valor medio obtenido.

La metodología utilizada en cada caso fue:

Ortofosfato: la determinación se efectuó por método estandarizado (APHA, 1998 SM 4500-P-F) en donde la muestra es tratada con molibdato de amonio y tartrato de antimonio y potasio que reaccionan en medio ácido con el ortofosfato para formar un heteropoliácido – fosfomolibdato- el cual, por la presencia de ácido ascórbico se reduce a molibdeno coloreado, que permite la lectura de ortofosfatos a 885 nm.

Fosforo total: la determinación se efectuó por método estandarizado (APHA 1998, SM-4500-P-B-5 y 4500-P-F) mediante la oxidación con persulfato y determinación con ácido ascórbico. El fósforo (P) en el agua puede encontrarse en forma soluble (PS) y particulado (PP). El análisis tiene dos pasos, en el primero se transforma el PP en PS, y en el segundo se determina el PS a través del análisis de P reactivo soluble (Ortofosfato). Asimismo, como el PP puede encontrarse combinado con materia orgánica, se hace una digestión (oxidación con persulfato) para oxidar la materia orgánica y liberar el P en forma de ortofostato. Luego de esto se determina el ortofosfato liberado por medio del método del ácido ascórbico y su determinación por espectrofotometría a 885 nm.

Nitrógeno total: la determinación se efectuó por método estandarizado (APHA, 1998, SM-4500-N y SM-4500-NO3-B) mediante la oxidación de todos los compuestos nitrogenados a nitratos con persulfato. Posteriormente se hace la determinación por medio de la lectura espectrofotométrica UV a 220 nm.

***Aclaración:** En todas las determinaciones efectuadas las soluciones buffer, oxidantes, patrones de curvas de calibrado, etc. utilizadas fueron preparadas el día anterior o el mismo día de efectuadas las determinaciones y preservadas en heladera.*

Adicionalmente se midió pH y conductividad eléctrica del agua, determinación que si bien no fue solicitada corresponde a un análisis de rutina efectuado por el laboratorio, datos que también se exponen en los resultados del informe.


Resultados obtenidos

Los resultados del presente estudio se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Valores de pH, conductividad eléctrica del agua, contenido de nitrógeno total (límite de detección 0,1 mg/L), y de fosforo total y ortofosfato (límite de detección 0,01 mg/L).

DETERMINACIONES		MUESTRAS			
		Mar	RSC nacientes	RSC Piedrabuena	Rio chico
pH		8,13	7,28	7,33	7,89
Conductividad elect.	(μ S/cm)	37500	46,9	46,1	165,5
Nitrógeno Total	(mg N/L)	0,5	<0,1	0,1	0,3
Ortofosfato	(mg P/L)	0,15	0,04	0,03	0,17
Fósforo Total	(mg P/L)	0,68	0,16	0,18	0,55

Cabe aclarar que si bien los limites de detección solicitados y presupuestados fueron de 0,1 mg/L para fosforo total y ortofosfato, y de 0,2 mg/L para nitrógeno total, los limites de detección obtenidos son inferiores. Esto se debe a que para realizar las determinaciones con espectrofotómetro se ajustó una curva de menor límite de detección (ajuste permitido en la metodología estandarizada). De esta manera los límites de detección con los cuales se expresan los resultados en la tabla 1 son de 0,01 mg/L para fosforo total y ortofosfato, y de 0,1 mg/L para nitrógeno total.


 Dra. Carol Eleonora
 Inv. Adjunto CONICET

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).

- Precipitación (Período: 1992-2016)**

Año	Precipitación media mensual (mm)												Media anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992	-	-	-	36,20	7,00	0,00	0,00	1,40	30,40	13,80	0,40	0,00	89,20
1993	5,80	14,80	45,50	5,60	0,00	9,50	0,00	12,20	0,80	8,80	0,00	10,20	113,20
1994	5,00	0,40	33,70	1,50	18,10	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	7,00	16,40	83,90
1995	3,20	2,40	8,60	10,60	14,60	3,00	0,00	0,00	22,50	2,40	2,60	18,30	88,20
1996	1,00	2,60	1,20	7,10	14,70	0,00	0,00	14,80	3,10	6,20	6,20	7,00	63,90
1997	5,00	14,50	4,40	9,50	40,40	10,90	5,00	7,20	20,30	20,80	13,90	0,40	152,30
1998	8,60	52,00	32,60	10,60	24,70	12,40	46,70	24,60	3,20	24,40	1,20	11,60	252,60
1999	10,00	9,60	3,60	6,60	9,10	1,80	10,60	20,80	14,30	2,60	2,80	5,80	97,60
2000	2,20	4,80	30,30	32,00	15,20	15,30	11,40	0,00	14,70	20,80	8,20	4,40	159,30
2001	21,20	44,60	15,20	14,70	13,80	9,20	8,50	22,20	13,60	9,30	11,40	5,00	188,70
2002	0,00	5,00	114,40	36,50	37,40	0,00	22,00	43,10	29,50	42,00	4,50	3,00	337,40
2003	0,00	17,00	40,00	27,00	50,40	2,50	13,50	18,20	1,90	35,50	16,20	8,00	230,20
2004	8,50	6,50	15,00	3,90	17,50	19,70	22,00	11,60	9,00	1,00	18,00	9,00	141,70
2005	1,00	12,00	27,50	42,00	27,00	15,50	2,00	15,00	6,00	21,50	5,00	7,50	182,00
2006	9,50	9,50	17,50	17,50	6,00	13,50	29,50	12,50	34,00	17,50	2,50	5,00	174,50
2007	37,00	8,50	2,00	36,00	7,50	4,00	13,00	14,00	7,00	12,00	6,00	3,50	150,50
2008	4,50	9,00	11,00	25,00	19,50	13,50	10,00	14,00	5,00	3,50	9,00	2,50	126,50
2009	26,50	13,00	5,50	30,00	14,00	0,00	7,50	22,50	10,00	13,50	1,00	0,50	144,00
2010	9,00	14,50	1,00	5,00	15,00	26,50	10,00	6,50	6,00	24,50	9,00	3,10	130,10
2011	15,50	22,00	8,00	5,50	34,00	9,00	22,00	16,50	24,50	5,50	1,50	0,00	164,00
2012	2,50	3,00	19,00	11,50	42,50	58,00	9,00	3,00	17,50	3,00	9,00	20,50	198,50
2013	1,00	5,00	2,50	7,70	9,70	61,50	13,50	13,00	18,50	5,00	0,50	5,50	143,40
2014	8,00	0,00	11,50	13,00	2,50	10,00	18,60	29,30	11,00	3,50	8,00	6,50	121,90
2015	6,50	4,50	22,00	55,10	20,50	27,50	13,50	13,00	0,00	4,50	6,00	45,30	218,40
2016	0,00	7,00	0,50	5,00	4,50	3,00	1,00	17,00	-	-	-	-	38,00
Promedio mensual	7,98	11,76	19,69	18,20	18,62	13,05	11,57	14,17	12,62	12,57	6,25	8,29	

- Temperatura (Período: 1993-2016)**

Año	Temperatura máxima media mensual (°C)												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1993	18,97	17,50	15,71	11,17	7,26	2,87	6,52	8,71	11,90	15,48	16,17	17,58	
1994	19,84	17,71	16,61	12,66	5,13	2,47	3,10	8,65	7,93	12,26	16,57	17,97	
1995	19,42	18,71	16,19	13,47	8,87	2,47	1,03	2,77	8,17	13,48	15,27	19,32	
1996	16,90	16,24	15,39	11,47	8,81	3,93	4,87	6,71	11,30	12,65	14,67	17,26	
1997	16,48	17,39	15,55	10,97	5,48	3,00	2,87	5,61	8,70	10,94	13,17	16,29	
1998	16,81	18,64	16,58	12,83	6,39	4,67	6,61	7,55	9,50	12,52	15,27	15,10	
1999	16,29	15,07	14,19	12,57	9,00	5,10	5,48	7,65	10,03	15,03	17,87	17,74	
2000	20,19	19,97	16,94	14,43	9,81	5,53	4,55	8,03	6,93	14,26	17,23	17,90	
2001	18,39	16,29	14,84	15,13	7,48	4,90	2,24	6,94	11,53	16,02	16,97	20,45	
2002	20,00	19,25	12,39	12,32	5,50	3,97	3,66	4,53	9,12	11,38	14,35	17,77	
2003	19,13	18,96	15,94	12,83	9,16	4,40	8,77	8,10	10,53	12,95	15,32	17,95	
2004	20,89	22,34	17,55	13,50	10,56	8,92	6,05	8,65	11,85	15,55	19,12	18,73	
2005	18,50	22,09	16,50	13,02	7,95	3,78	6,10	6,05	11,72	15,66	16,72	19,66	
2006	20,24	19,38	15,97	13,33	10,71	4,49	5,31	7,06	9,98	13,82	16,23	17,32	
2007	20,40	19,07	16,55	12,90	7,66	7,00	5,16	7,45	10,38	13,03	16,44	18,87	
2008	20,89	20,48	17,68	11,97	8,03	4,75	3,58	4,44	10,33	12,33	15,37	20,14	
2009	17,45	16,89	14,90	11,33	7,65	6,13	5,34	6,26	10,07	10,97	12,17	16,87	
2010	16,29	14,96	15,86	10,60	8,81	4,04	4,52	4,90	9,53	12,74	14,50	16,26	
2011	20,82	20,96	17,03	14,50	11,60	7,94	6,32	5,13	9,80	13,65	16,17	19,83	
2012	-	21,82	17,39	11,40	7,68	6,23	7,26	11,12	14,19	15,81	19,26	20,21	
2013	25,58	23,29	19,13	16,37	9,32	7,94	7,68	7,13	9,55	12,74	14,37	19,97	
2014	20,82	20,46	15,87	10,60	9,60	6,48	6,47	7,45	10,20	10,21	12,17	16,03	
2015	16,05	18,61	16,61	11,78	12,71	8,32	7,32	6,71	11,27	16,45	14,55	16,73	
2016	20,226	18,690	17,419	11,317	9,000	-	6,633	-	-	-	-	-	-
Promedio Anual	19,16	18,95	16,20	12,60	8,51	5,19	5,31	6,85	10,20	13,47	15,65	18,09	

Año	Temperatura mínima media mensual (°C)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	7,60	7,61	6,42	2,23	-1,06	-3,37	-1,52	0,03	2,20	4,45	3,93	6,03
1994	8,45	6,64	6,68	2,55	-1,87	-4,23	-5,03	-0,13	-1,83	0,81	5,47	6,39
1995	7,61	6,18	5,10	3,53	0,16	-6,03	-6,45	-5,10	-0,73	2,06	3,30	7,20
1996	5,81	6,17	4,71	1,83	1,03	-3,53	-3,74	-1,97	0,40	1,23	2,10	5,48
1997	6,13	5,93	4,16	1,80	-0,87	-2,07	-4,68	-2,29	-1,07	0,26	2,17	3,93
1998	5,29	7,50	5,97	3,73	-0,06	-2,07	-0,13	-0,23	-0,97	2,55	3,53	4,97
1999	5,87	5,25	3,71	1,97	0,65	-2,80	-2,06	0,32	1,40	3,06	5,73	6,03
2000	8,48	7,83	7,29	4,60	1,71	-2,10	-3,45	-1,29	-1,10	3,19	4,93	5,90
2001	8,48	7,83	7,29	4,60	1,71	-2,10	-3,45	-1,29	-1,10	3,19	4,93	5,90
2002	8,73	8,48	4,89	3,72	-1,50	-3,60	-2,85	-1,99	1,93	2,54	4,28	5,67
2003	8,32	8,79	7,77	3,77	1,48	-3,07	1,39	-0,15	0,81	3,49	5,35	7,00
2004	10,50	11,64	8,77	4,37	2,10	1,43	-2,47	-0,06	2,00	3,88	8,20	8,84
2005	9,74	12,50	8,13	4,43	0,60	-2,03	-1,23	0,26	3,18	3,81	6,63	8,78
2006	10,85	9,84	7,87	4,08	1,65	-1,93	-2,10	-2,65	1,87	4,27	5,50	4,58
2007	7,95	6,75	7,39	4,85	0,60	-0,25	-3,16	-1,08	1,58	3,16	5,15	8,23
2008	10,16	11,41	9,61	4,17	-0,52	-2,87	-3,58	-2,58	1,23	3,26	4,97	9,00
2009	8,87	9,13	7,00	3,93	0,94	-0,47	-0,84	-1,10	0,57	1,03	2,63	6,13
2010	6,90	5,93	6,03	2,80	1,13	-2,86	-2,97	-2,90	1,00	3,42	4,73	7,06
2011	11,00	11,32	8,10	6,85	3,13	0,29	-1,58	-1,13	1,45	4,89	6,62	8,58
2012		4,04	7,66	3,93	0,81	-0,67	-1,86	0,11	1,88	3,49	6,29	8,12
2013	11,77	10,64	8,48	7,00	1,21	0,29	-1,08	-1,18	1,00	3,42	4,67	8,77
2014	11,00	11,32	6,03	2,80	2,15	-0,93	-1,52	-1,08	0,43	0,58	2,63	10,27
2015	8,44	9,84	8,05	4,08	2,37	1,20	-0,29	-0,68	1,07	3,80	5,23	6,37
2016	10,24	9,22	9,27	2,27	-1,67	-	-0,15					
Promedio Anual	8,62	8,41	6,93	3,75	0,66	-1,90	-2,28	-1,22	0,75	2,86	4,74	6,92

- Viento (Período: 1993-2016)

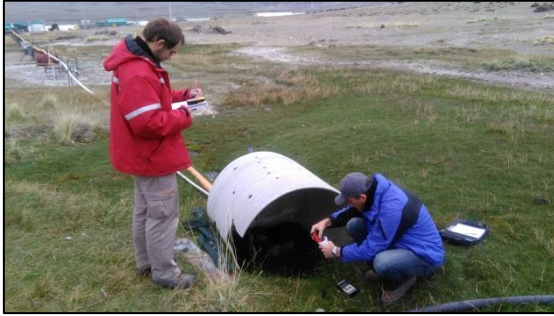
Año	Promedio mensual de la velocidad del viento (Km/h)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	-	-	5,47	8,16	5,78	3,89	6,41	6,95	10,95	10,75	13,55	14,24
1994	13,3	13,98	8,97	8,54	8,05	4,66	6,90	7,41	9,66	11,02	11,28	11,20
1995	12,79	11,97	13,15	8,09	8,55	6,56	10,03	8,60	10,94	11,59	15,05	13,95
1996	14,71	12,87	12,39	10,08	9,02	7,68	5,97	8,24	8,83	10,96	15,55	13,92
1997	15,88	11,34	10,10	9,70	4,67	5,28	5,90	6,63	8,60	9,83	10,07	12,52
1998	13,51	8,75	9,01	5,06	3,76	5,08	9,85	10,90	10,24	14,13	12,30	12,29
1999	12,53	15,46	7,92	8,39	7,80	4,05	4,72	3,98	9,36	11,84	11,26	15,84
2000	16,37	10,50	9,18	8,74	5,24	6,99	7,65	7,44	7,91	9,11	13,27	16,58
2001	13,83	14,31	11,61	11,74	6,04	6,64	6,37	7,04	8,37	10,87	15,87	15,09
2002	13,54	12,17	9,85	8,11	5,75	6,18	3,83	3,90	7,43	9,71	12,64	13,79
2003	17,51	16,29	12,12	8,57	7,43	6,45	9,81	6,43	8,82	11,65	15,88	14,49
2004	15,26	9,44	10,31	9,15	7,25	6,09	6,81	5,79	12,11	11,43	11,42	13,23
2005	17,70	12,80	12,08	11,45	6,27	5,66	6,00	5,89	8,08	10,52	11,53	13,67
2006	13,26	12,40	12,33	9,85	6,94	6,01	5,68	6,21	10,11	11,65	14,99	14,58
2007	13,95	15,74	13,46	11,34	7,88	9,28	6,02	8,71	7,64	11,91	16,11	14,80
2008	14,55	13,11	9,75	12,82	9,01	7,11	5,87	6,53	7,89	14,63	10,54	3,50
2009	1,67	1,32	1,17	1,02	0,73	0,97	3,69	1,25	1,04	1,46	1,58	1,29
2010	10,86	9,29	10,94	8,84	14,08	6,27	5,74	6,65	9,86	11,59	13,48	17,09
2011	11,34	8,81	11,48	12,23	6,90	4,38	5,15	3,92	4,24	12,10	12,77	8,22
2012	-	5,74	11,48	7,43	8,26	1,10	4,38	6,20	9,19	10,79	10,65	11,67
2013	10,93	9,99	6,76	6,07	3,95	5,38	6,59	5,75	7,22	11,59	11,87	3,22
2014	9,39	8,73	11,53	10,54	5,12	8,06	6,24	0,90	10,21	10,68	11,54	3,50
2015	12,34	11,19	7,98	7,81	12,73	6,72	7,29	1,25	10,03	3,99	9,00	17,09
2016	11,34	9,87	8,69	7,37	7,10	9,97	7,07	2,28				
Promedio Anual	13,03	11,13	9,91	8,80	7,01	5,85	6,41	5,79	8,64	10,60	12,27	11,99

- Evaporación (Período: 1993-2016)

Año	Enero	febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total (mm/año)
1993	112,0	70,0	121,7	67,5	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	112,8	149,7	232,7	221,8	1088,2
1994	274,8	187,5	111,1	77,0	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	135,8	232,7	235,6	1254,5
1995	249,1	189,8	175,0	73,8	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	124,1	230,6	265,4	1307,8
1996	225,9	189,4	162,4	69,2	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	54,2	127,5	204,3	241,4	1274,3
1997	233,7	167,9	134,0	53,1	5,3	sin dato	sin dato	sin dato	37,3	116,8	148,4	214,3	1110,8
1998	214,8	149,5	107,2	40,7	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	150,8	201,9	213,1	1078,0
1999	229,9	190,8	114,0	66,5	20,5	sin dato	sin dato	sin dato	66,5	166,8	197,9	278,3	1331,2
2000	274,6	161,7	97,1	66,3	10	10	sin dato	sin dato	sin dato	123,8	175	238,6	1157,1
2001	222,4	156,5	113,9	82,3	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	48,5	127,3	202,9	238,3	1192,1
2002	249,8	190,1	99,8	58,4	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	50,4	110,2	170,0	233,1	1161,8
2003	255,4	204,2	100,4	72,9	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	74,5	122,7	201,3	215,3	1246,7
2004	257,5	170,1	134,8	58,7	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	86,6	145,0	197,6	214,3	1264,6
2005	271,0	186,9	103,7	59,8	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	71,3	124,2	160,2	216,2	1193,3
2006	222,7	177,6	124,4	54,8	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	61	115,7	187	212,8	1156,0
2007	210,6	180,1	141,3	81,3	sin dato	sin dato	sin dato	sin dato	67,6	112,9	202,3	247,6	1243,7
2008	257,3	211,6	131,9	63,6	16,5	congelado	congelado	4,8	58,6	123	166,6	248,5	1282,4
2009	217,1	162,5	138,8	48,5	6,7	congelado	congelado	congelado	68,4	129,6	179,8	227,6	1179,0
2010	222,2	142,8	138,6	59	39,1	19,5	57,6	7,6	79,5	109	175	234,5	1284,4
2011	228	153,9	122,8	101	31,8	4	congelado	congelado	38,3	128,5	187,4	91,2	1086,9
2012	sin dato	87,6	125,1	84	16,4	congelado	congelado	84,3	110,9	137,4	182,6	173	1001,3
2013	234,6	170,6	123,2	52,2	18,9	congelado	congelado	60,5	23	124,5	191,1	228,5	1227,1
2014	221,4	160,1	124,2	33,1	6,8	congelado	congelado	congelado	26,4	118,6	179,9	223,9	1094,4
2015	215,6	194,3	136,5	38,7	0,5	0,5	congelado	congelado	35,1	80,2	173,5	203,3	1078,2
2016	240,8	169,2	134,1	27,4	sin medir	sin medir	sin medir	sin medir	sin medir	sin medir	sin medir	sin medir	571,5
Promedio	232,2	167,7	125,7	62,1	15,7	8,5	57,6	39,3	61,6	126,3	190,5	222,5	1309,6

- Resumen de variables

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



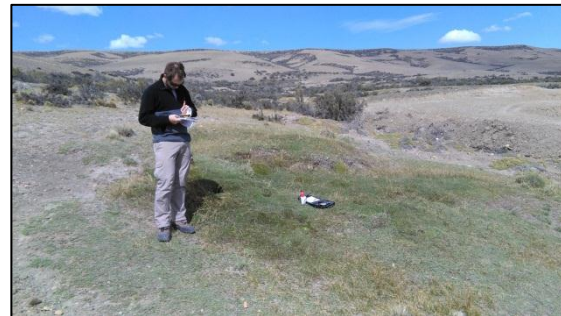
Fotografía 1. Muestreo in situ en tajamar – campamento NK.



Fotografía 2. Naciente de mallín que abastece el tajamar – campamento NK.



Fotografía 3. Relevamiento de pozos geotécnicos en sector NK.



Fotografía 4. Relevamiento de mallín.



Fotografía 5. Relevamiento en cañadón El Mosquito.



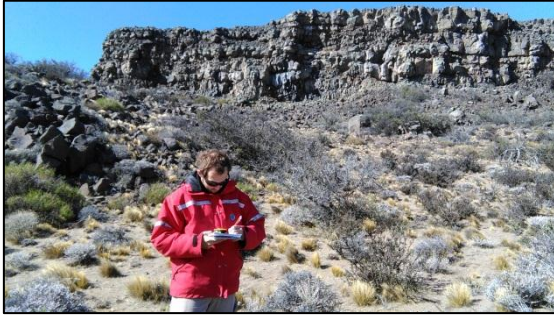
Fotografía 6. Relevamiento en curso de agua situado en Ea. Cóndor Cliff.



Fotografía 7. Relevamiento y muestreo de vertiente.



Fotografía 8. Naciente de mallín al pie de basaltos.



Fotografía 8. Relevamiento litológico.



Fotografía 9. Ingreso a interior del pique en JC.



Fotografía 10. Relevamiento portal JC.



Fotografía 11. Arenas saturadas en portal JC.



Fotografía 12. Muestreo de trincheras en JC.



Fotografía 13. Medición de nivel de agua en Molino.



Fotografía 14. Muestreo de agua de río Santa Cruz.



Fotografía 15. Medición de nivel de agua en pozos geotécnicos existentes



Fotografía 16. Litología con estructura laminada en nacimiento de manantial.



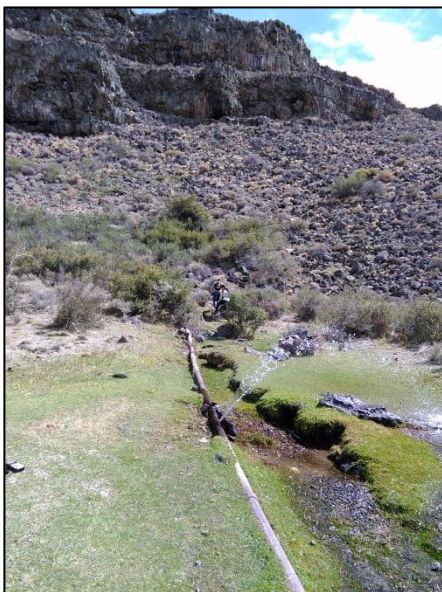
Fotografía 17. Nacimiento de manantial al pie de basaltos.



Fotografía 18. Relevamiento y medición de nivel de agua en pozos geotécnicos existentes en margen izquierda de JC.



Fotografía 19. Nacimiento de manantial al pie de basaltos, conducido por cañería en Ea. La Barrancosa



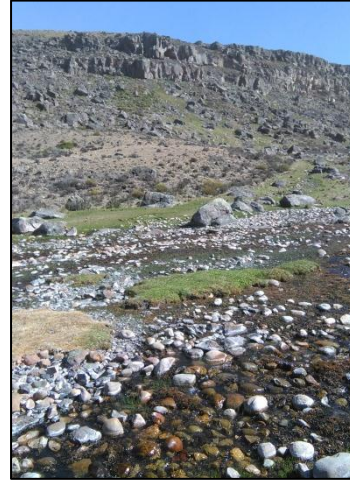
Fotografía 20. Nacimiento de manantial al pie de basaltos, conducido por cañería en Ea. La Barrancosa, con pérdida de agua.



Fotografía 21. Relevamiento y medición de manantial en casco de Ea. El Vapor.



Fotografía 22. Muestreo de agua en pozos geotécnicos existentes en JC.



Fotografía 23. Naciente de mallín al pie de basaltos, entre JC y NK.



Fotografía 24. Vista de vertiente que desemboca en el río Santa Cruz.



Fotografía 25. Vista de Fm. Santa Cruz en margen derecha del río Santa Cruz.



Fotografía 26. Cruce en embarcación a la margen izquierda del río Santa Cruz.

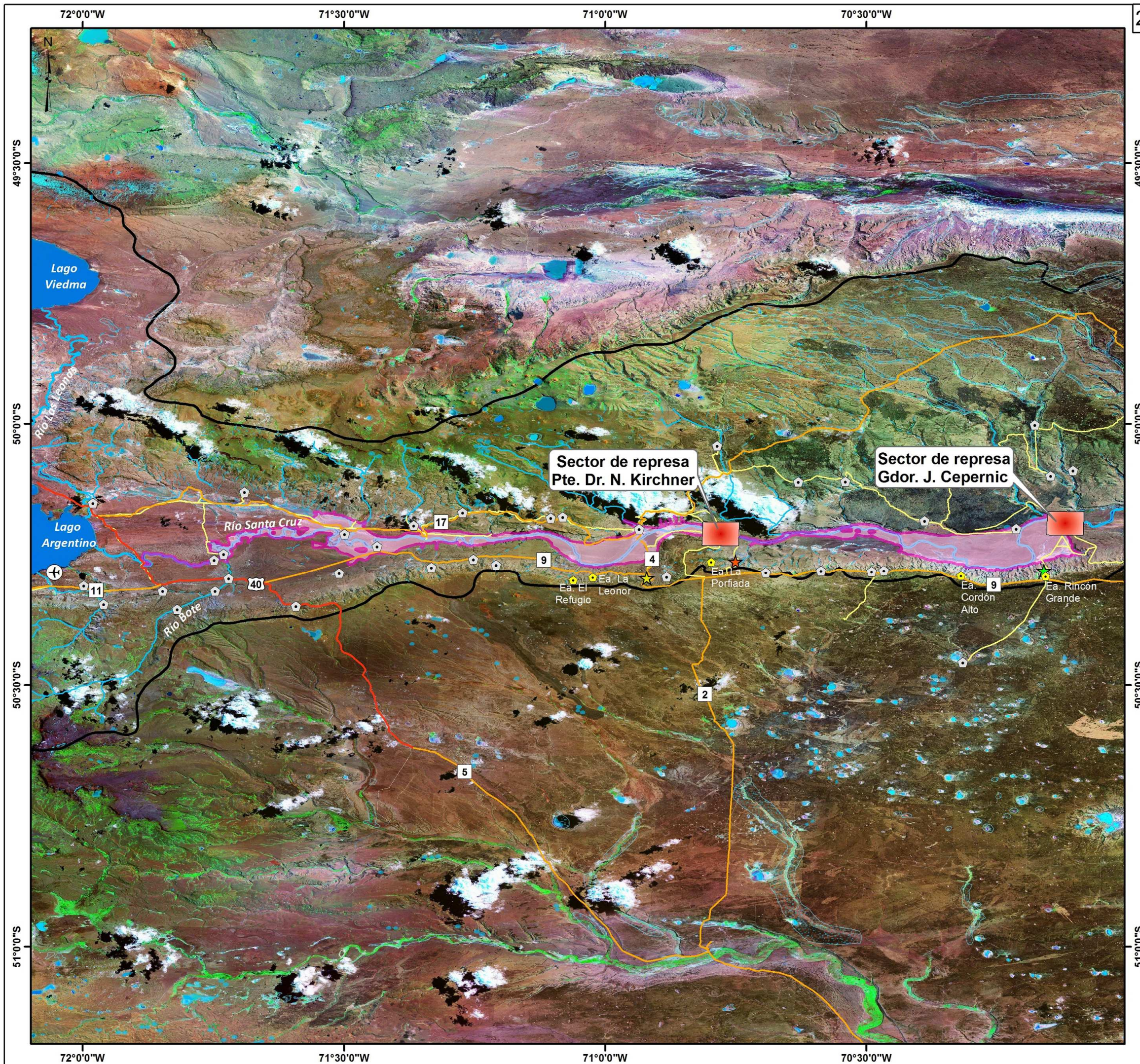


Fotografía 27. Relevamiento litológico de basaltos fracturados que coronan el valle.

MAPAS



Hidroar S.A.
SERVICIOS HIDROGEOLÓGICOS Y AMBIENTALES



Referencias generales

- Ciudades
- Ruta Nacional
- Ruta Provincial
- Cursos de agua principales
- Lagos principales
- Provincia de Santa Cruz
- República Argentina
- Países limítrofes

Referencias de detalle

- Aeropuerto El Calafate
- Estancias
- Estancias relevadas
- Campamento N. Kirchner
- Villa Jorge Cepernic
- Villa Nestor Kirchner
- Sectores de represas
- Ruta Nacional
- Ruta Provincial
- Caminos internos
- Área de embalse

Hidrología

- Cursos transitorios / efímeros
- Cursos permanentes
- Bajo
- Cuerpos de agua permanentes
- Cuenca del Río Santa Cruz

Hidroar S.A.
SERVICIOS HIDROLOGICOS Y AMBIENTALES

REPRESAS INTEGRADAS EL CALAFATE-HIDROAR S.A.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO REPRESAS Pte. Dr. N.C. KIRCHNER Y Gdor. J. CEPERNIC
Provincia de Santa Cruz

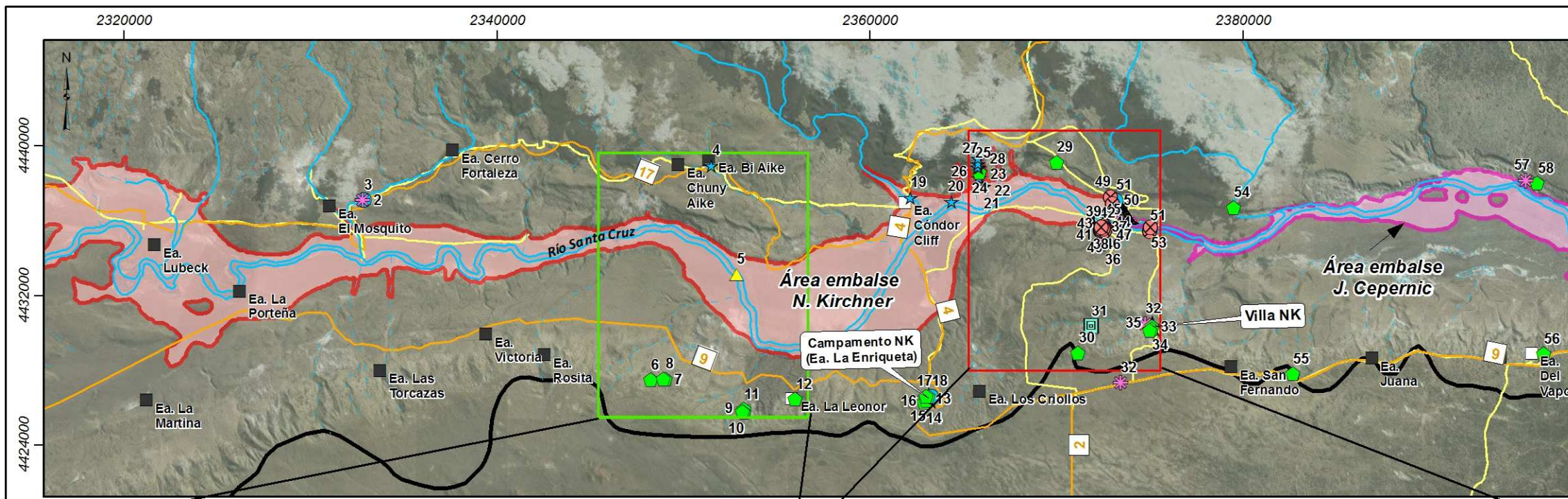
Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Ubicación general	
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza		
Fecha: Diciembre 2016	Escala: Gráfica	Mapa: 1

0 10 20 40 60 km

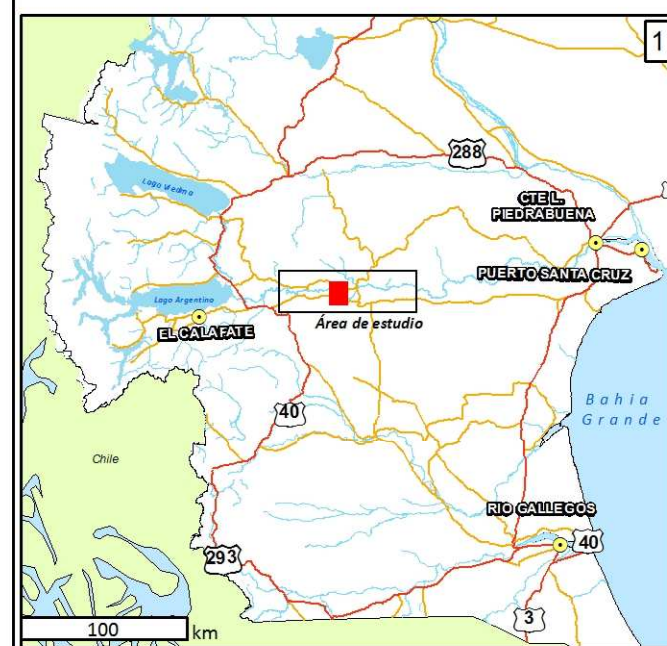
Proyección: Coordenadas Geográficas - WGS 84

2
49°30'0"S
50°0'0"S
50°30'0"S
51°0'0"S

72°0'0"W
71°30'0"W
71°0'0"W
70°30'0"W



2



1

Referencias generales

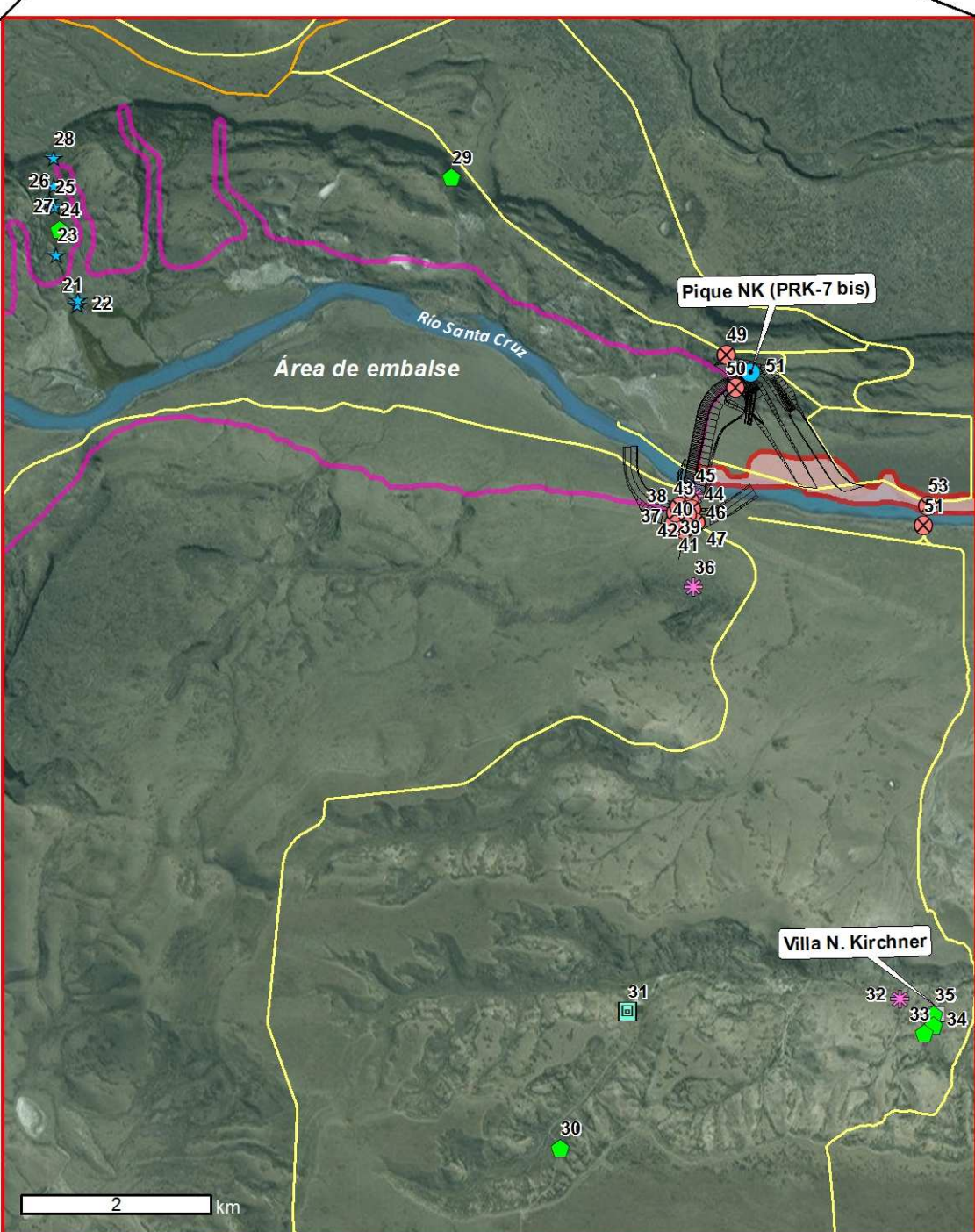
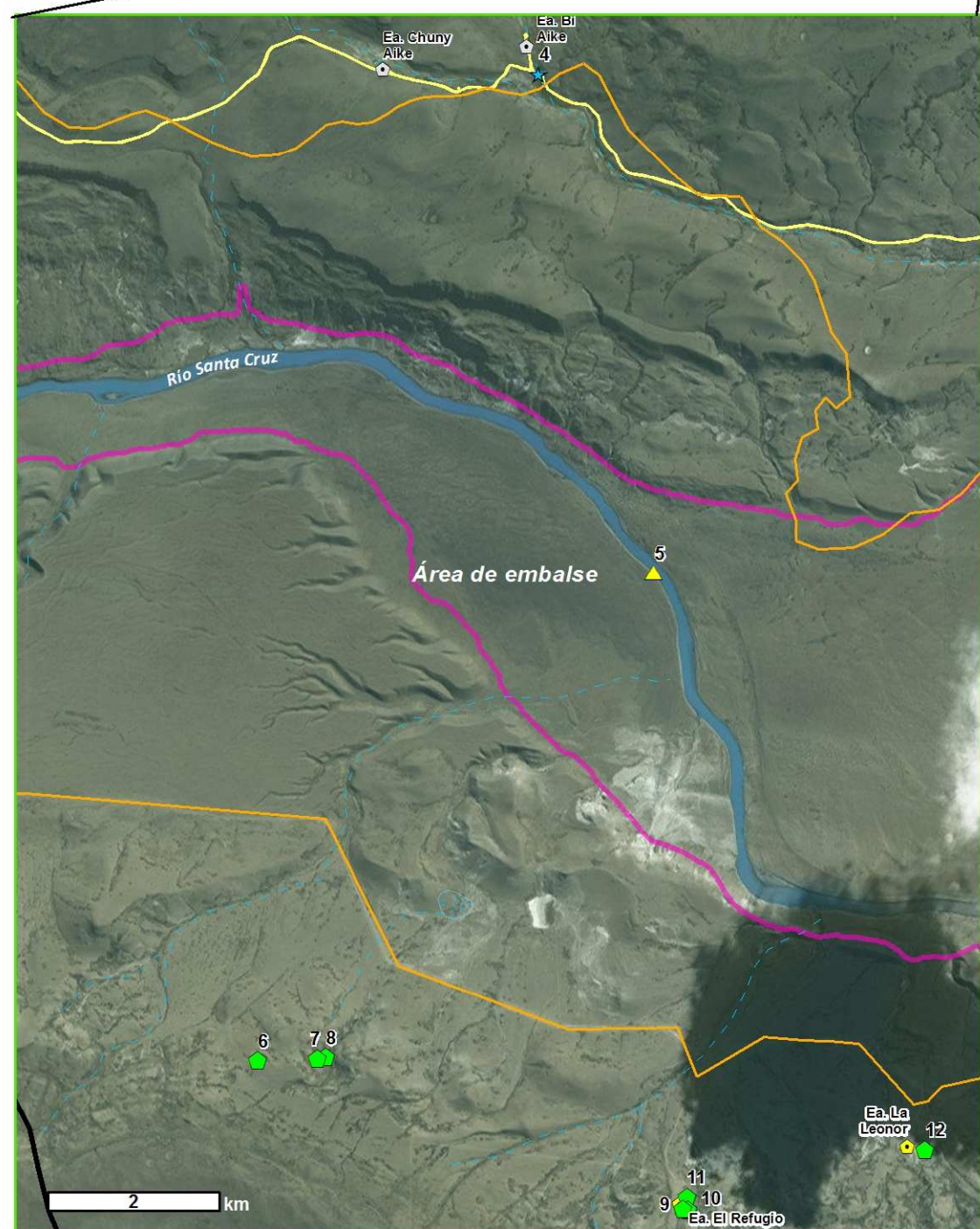
- Ciudades
- Ruta Nacional
- Ruta Provincial
- Cursos de agua principales
- Lagos principales
- Provincia de Santa Cruz
- República Argentina
- Países limítrofes

1

Referencias

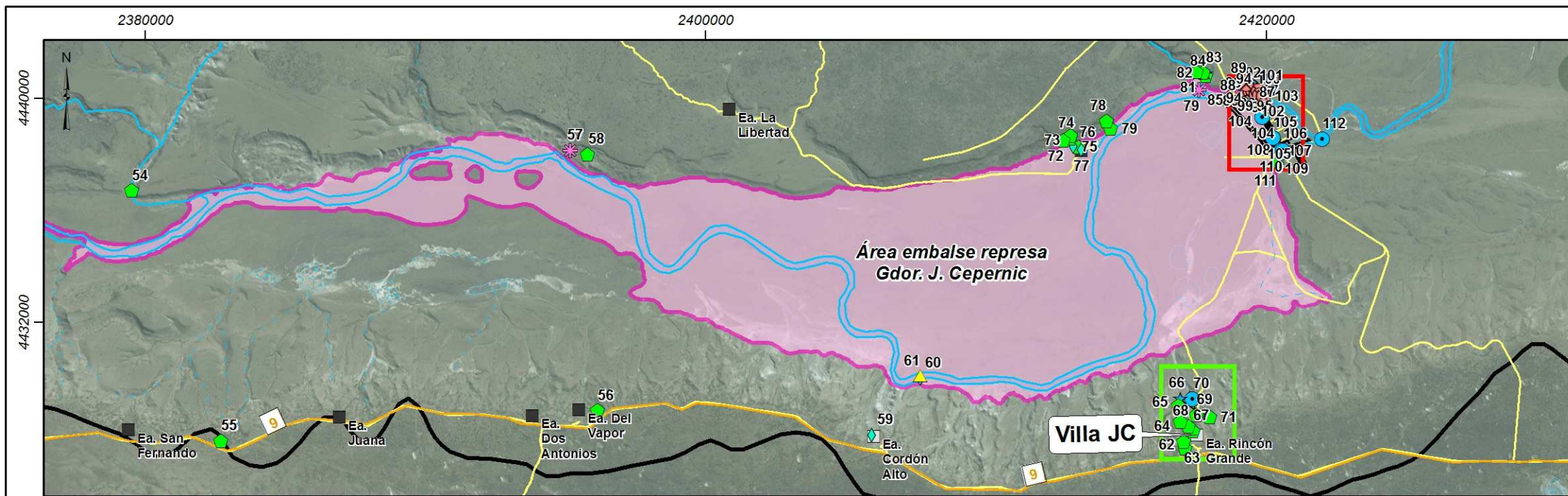
- | | |
|----------------------|--------------------------------|
| Río Santa Cruz | Hidrología |
| Vertiente o arroyo | Cursos transitorios / efímeros |
| Mallín | Cursos permanentes |
| Molino | Bajo |
| Pozo con agua | Área de embalse J. C. |
| Pozo seco/derrumbado | Área de embalse N. K. |
| Sitio de interés | Cuenca del Río Santa Cruz |
| Campamento NK | |
| Villa NK | |
| Estancias | |
| Estancias relevadas | |
| Infraestructura | |
| Caminos internos | |

2



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO REPRESAS Pte. Dr. N.KIRCHNER Y Gdor. J.CEPERNIK
Provincia de Santa Cruz

Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Ubicación de sitios relevados (Oct.-Dic. 2016) Sector represa Pte. Dr. N. Kirchner
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza	
Fecha: Diciembre 2016	Escala: Gráfica
Proyección: POSGAR 1994-Zona 2-Datum: POSGAR 1994	



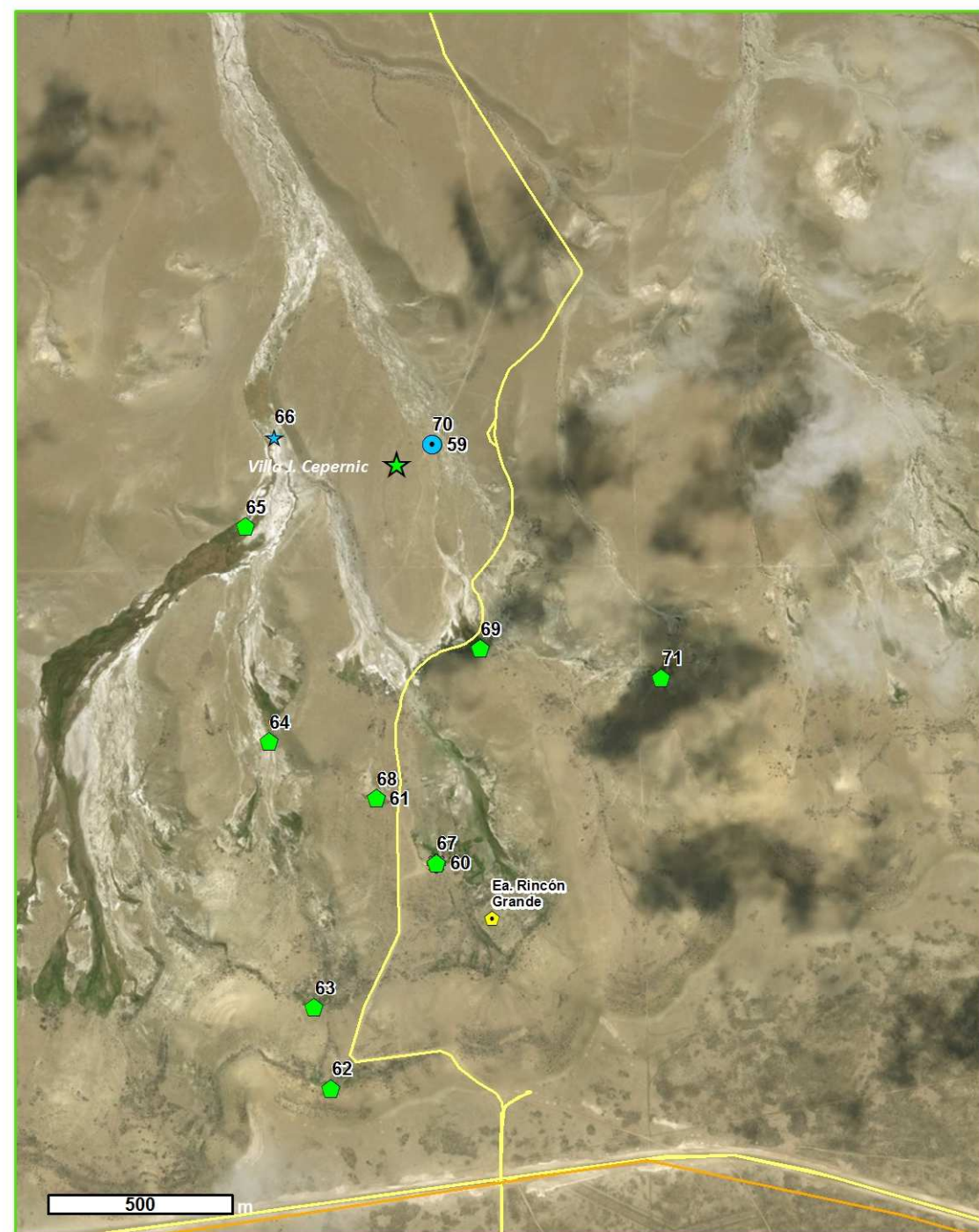
2



1

- Referencias generales**
- Ciudades
 - Ruta Nacional
 - Ruta Provincial
 - Cursos de agua principales
 - Lagos principales
 - Provincia de Santa Cruz
 - República Argentina
 - Países limítrofes

1



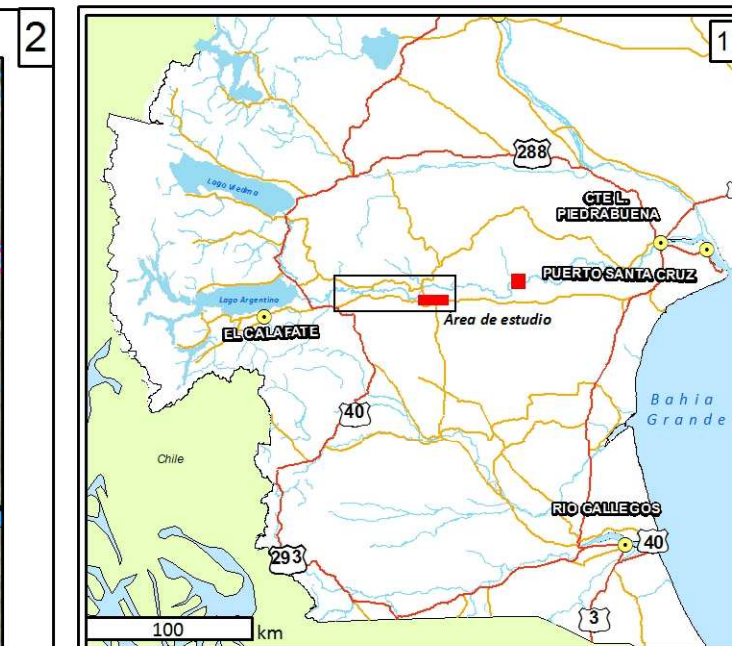
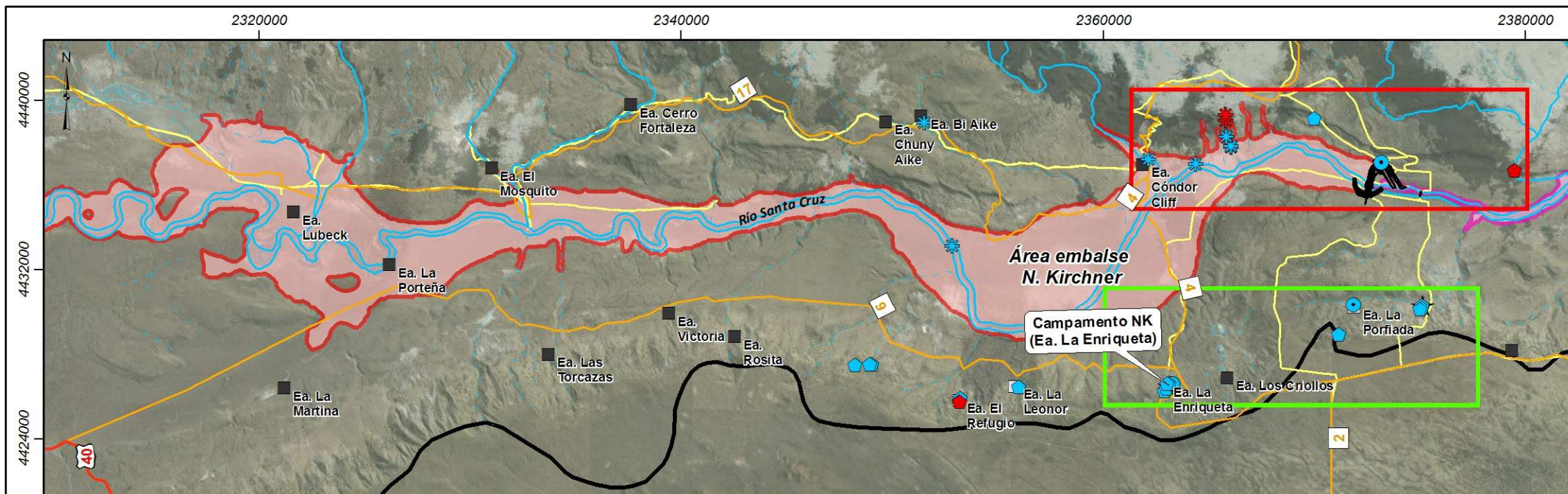
- Referencias**
- Río Santa Cruz
 - Cuerpo de Agua
 - Vertiente o arroyo
 - Mallín
 - Pozo con agua
 - Pozo seco/derrumbado
 - Sitio de interés
 - Estancias
 - Estancias relevadas
 - Villa JC
 - Infraestructura
 - Caminos internos
- Hidrología**
- Cursos transitorios / efímeros
 - Cursos permanentes
 - Bajo
 - Área de embalse J. C.
 - Cuenca del Río Santa Cruz

2

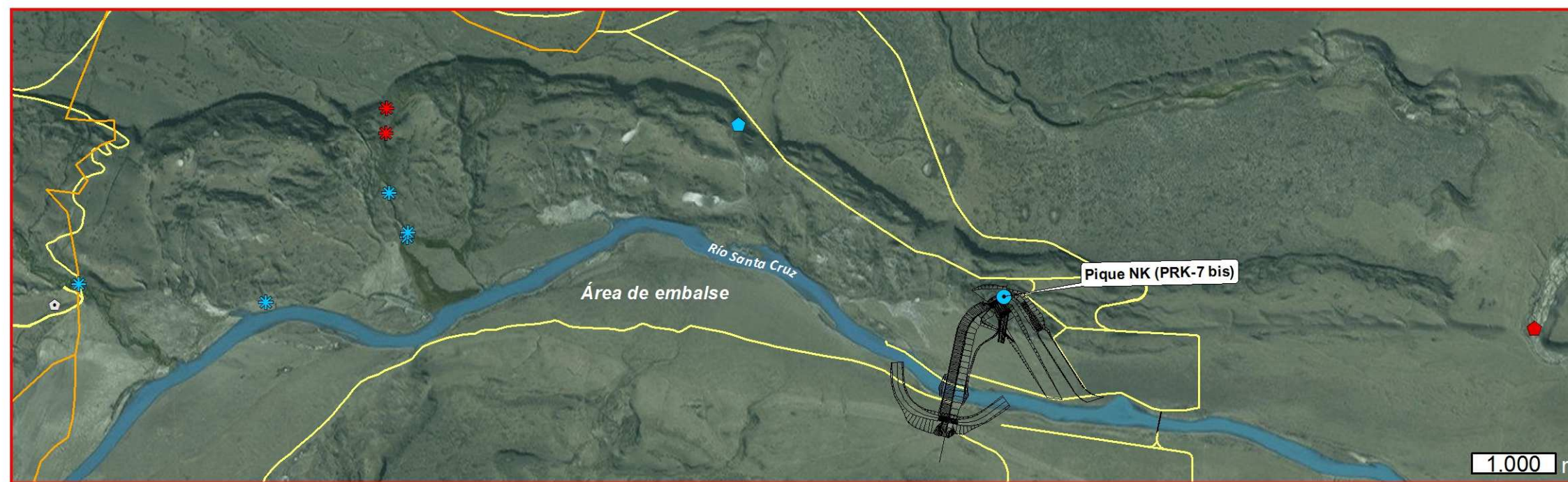
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO REPRESAS Pte. Dr. N.C. KIRCHNER Y Gdor. J. CEPERNIK
Provincia de Santa Cruz

Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Ubicación de sitios relevados (Oct.-Dic. 2016) Sector represa Gdor. J. Cepernic	
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza		
Fecha: Diciembre 2016	Escala: Gráfica	Mapa: 2b

Proyección: POSGAR 1994-Zona 2-Datum: POSGAR 1994



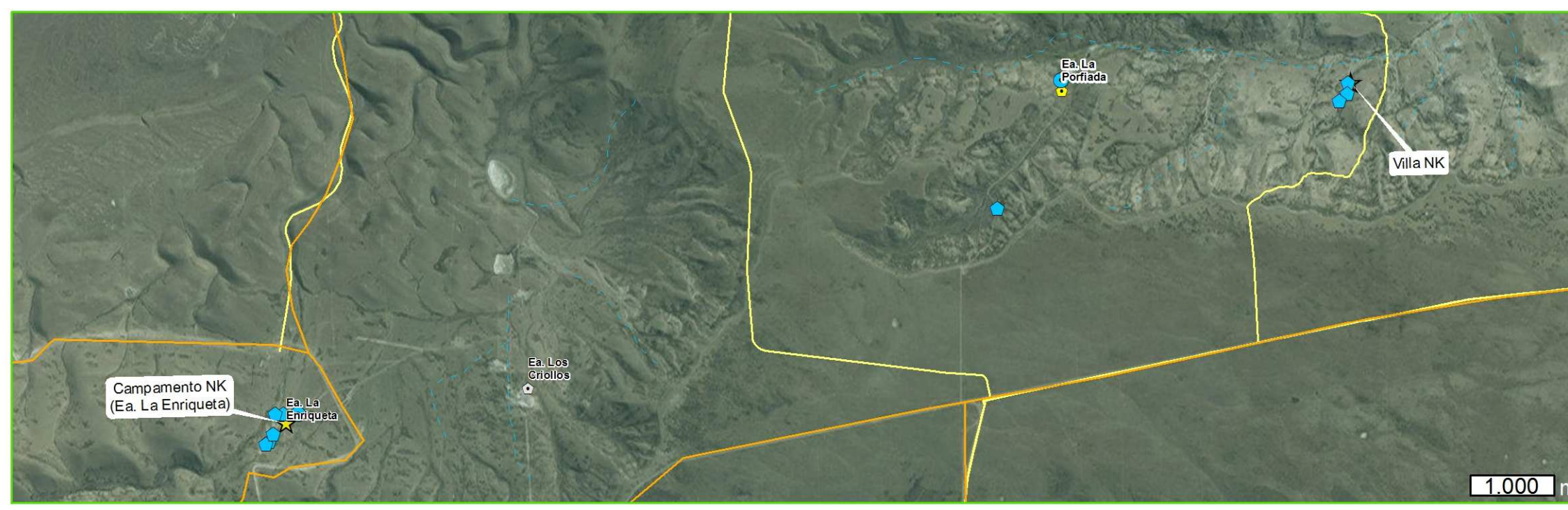
- Referencias generales**
- Ciudades
 - Ruta Nacional
 - Ruta Provincial
 - Cursos de agua principales
 - Lagos principales
 - Provincia de Santa Cruz
 - República Argentina
 - Países limítrofes



- Referencias**
- Estancias
 - Estancias relevadas
 - ★ Campamento NK
 - ★ Villa NK
 - Infraestructura

- Hidroquímica**
- ★ pH=6,5-8,5 Cursos de agua superficial (ríos, arroyos, vertientes)
 - ★ pH>8,5 Cursos de agua superficial (ríos, arroyos, vertientes)
 - ⬠ pH=6,5-8,5 Manantiales y mallines
 - ⬠ pH>8,5 Manantiales y mallines
 - pH=6,5-8,5 Pozos existentes

- Hidrología**
- Cursos transitorios / efimeros
 - Cursos permanentes
 - Caminos internos
 - Área de embalse J. C.
 - Área de embalse N. K.
 - Bajo
 - Cuenca del Río Santa Cruz

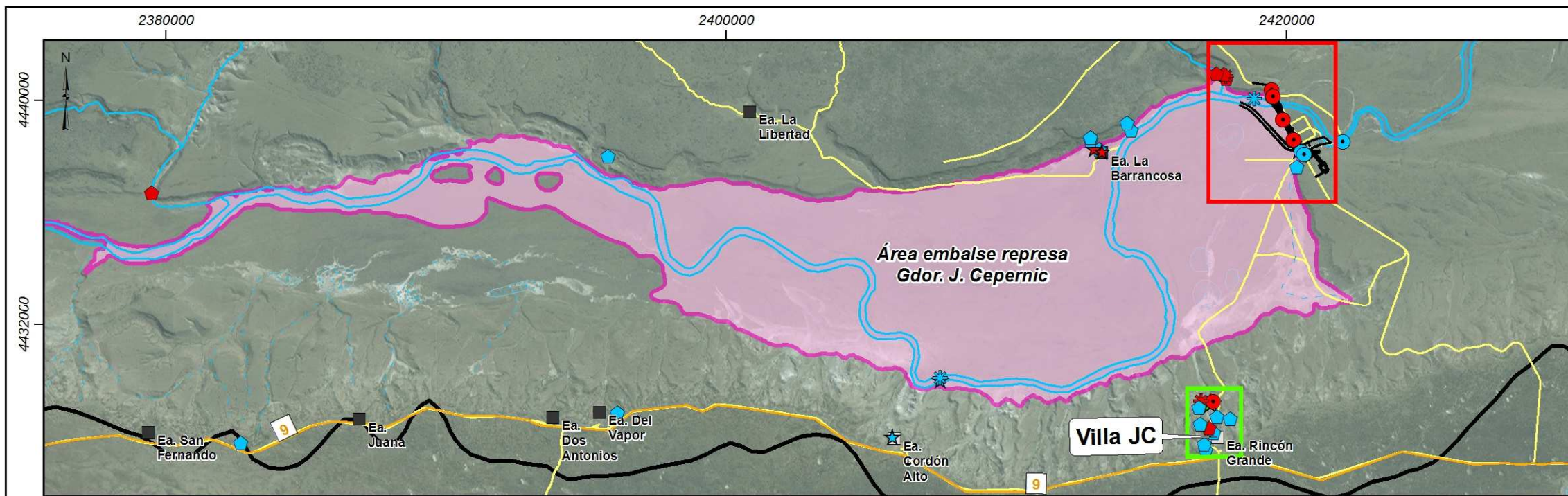


**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO
REPRESAS Pte. Dr. N.C.KIRCHNER Y Gdor. J.CEPERNIK
Provincia de Santa Cruz**

Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Relevamiento (Oct.-Dic. 2016) Parámetro físico-químico: pH Sector represa Pte. Dr. N.C.K.
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza	
Fecha: Diciembre 2016	Escala: Gráfica
	Mapa: 3a

0
18
km

Proyección: POSGAR 1994-Zona 2-Datum: POSGAR 1994



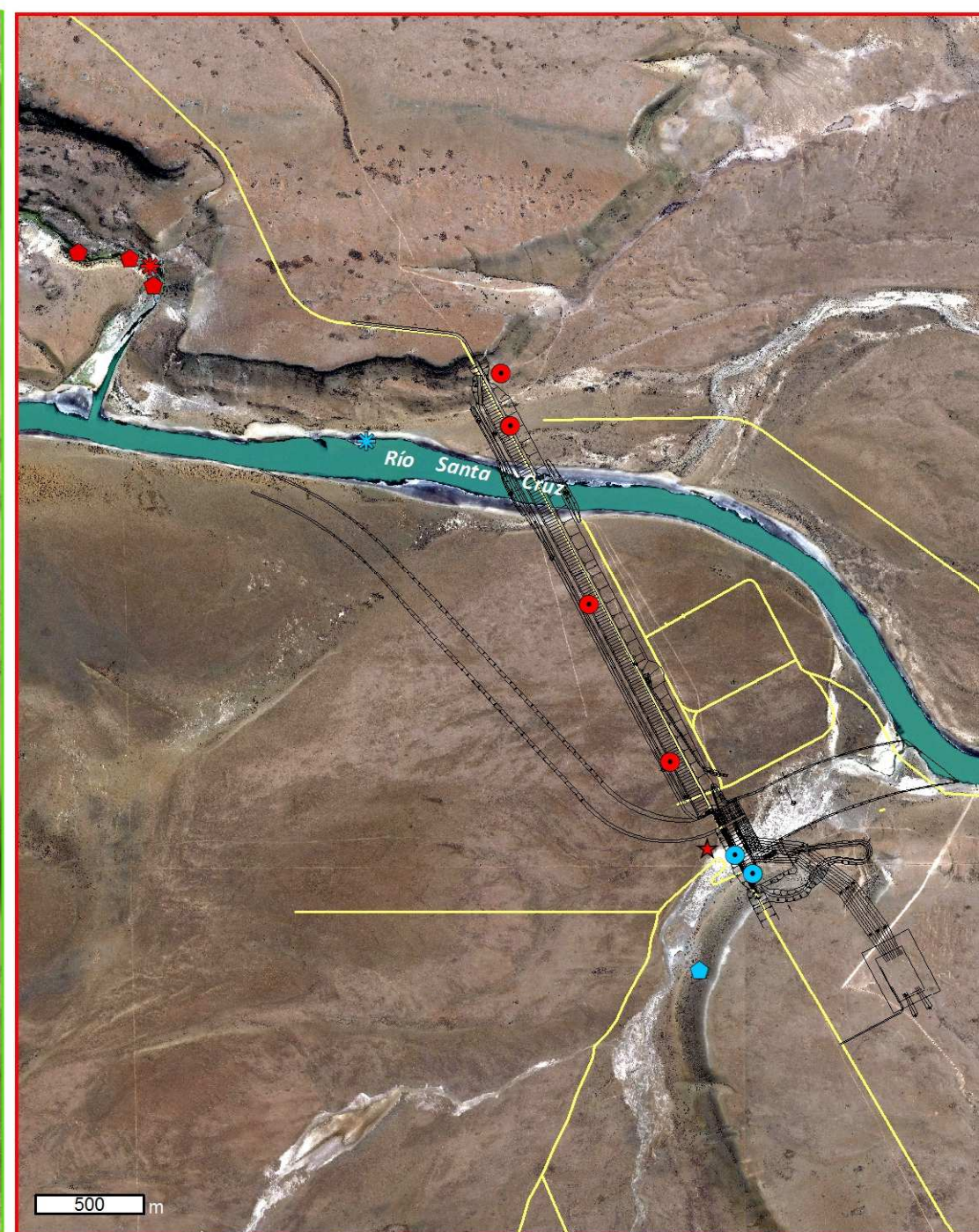
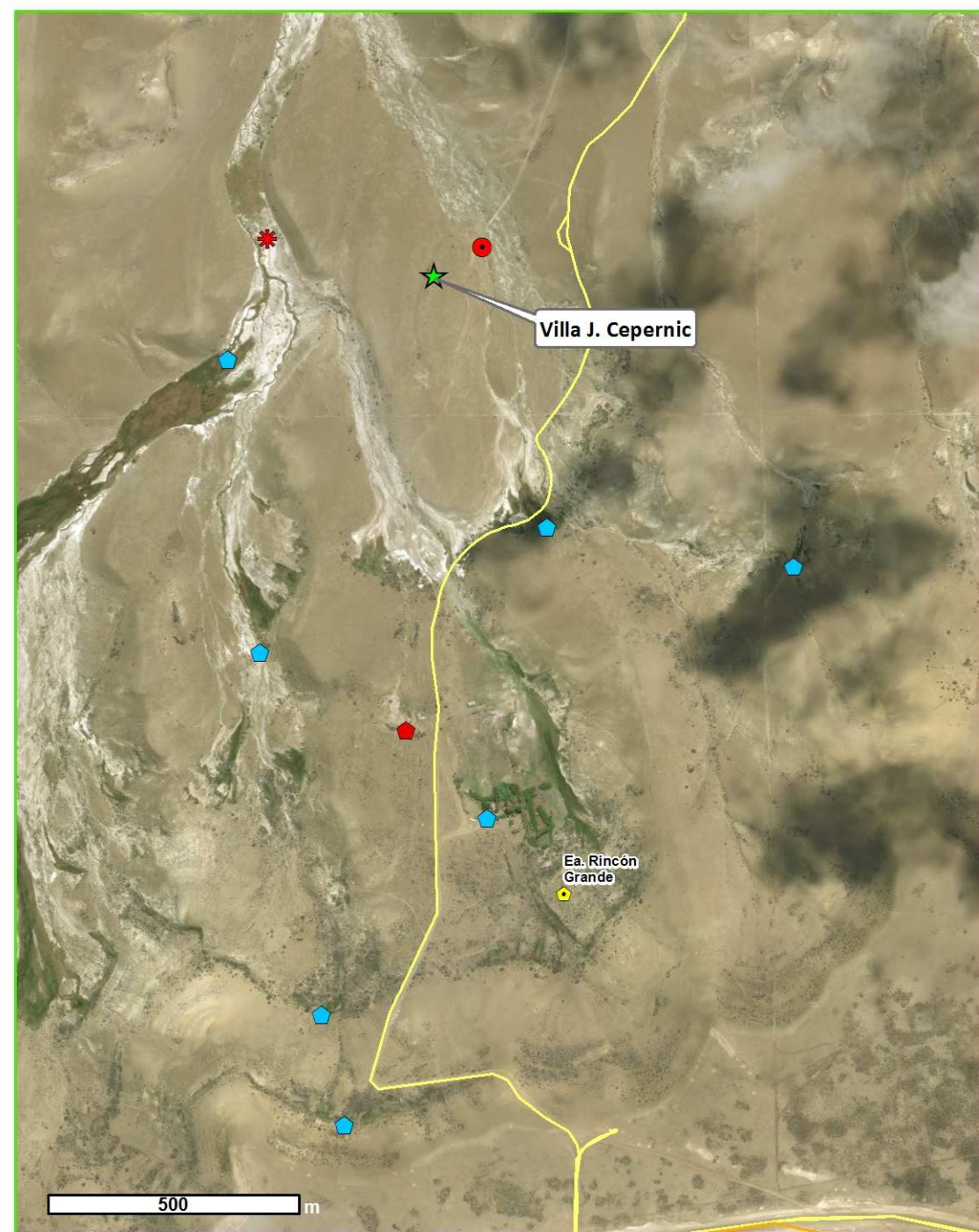
2



1

- Referencias generales**
- Ciudades
 - Ruta Nacional
 - Ruta Provincial
 - Cursos de agua principales
 - Lagos principales
 - Provincia de Santa Cruz
 - República Argentina
 - Países limítrofes

1

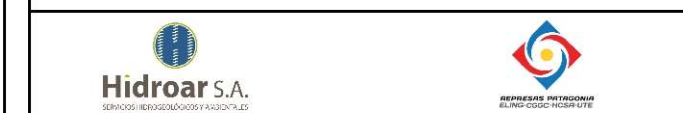


- Referencias**
- Estancias
 - Estancias relevadas
 - ★ Villa JC
 - Infraestructura

2

- Hidroquímica**
- ★ pH=6,5-8,5 Cuerpos de agua superficial (lagunas)
 - ★ pH>8,5 Cuerpos de agua superficial (lagunas)
 - ★ pH=6,5-8,5 Cursos de agua superficial (ríos, arroyos, vertientes)
 - ★ pH>8,5 Cursos de agua superficial (ríos, arroyos, vertientes)
 - ⬠ pH=6,5-8,5 Manantiales y mallines
 - ⬠ pH>8,5 Manantiales y mallines
 - pH=6,5-8,5 Pozos existentes
 - pH>8,5 Pozos existentes

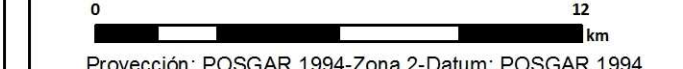
- Hidrología**
- Cursos transitorios / efímeros
 - Cursos permanentes
 - Caminos internos
 - Área de embalse J. C.
 - Bajo
 - Cuenca del Río Santa Cruz

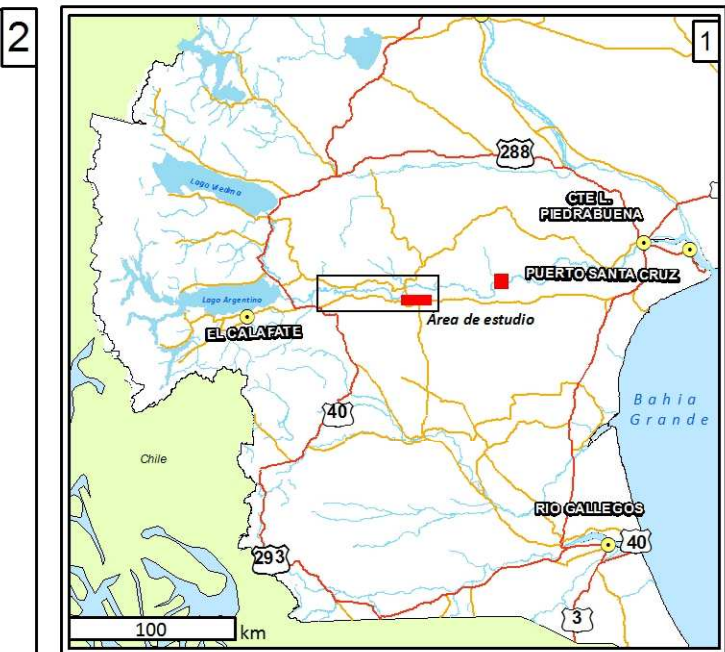
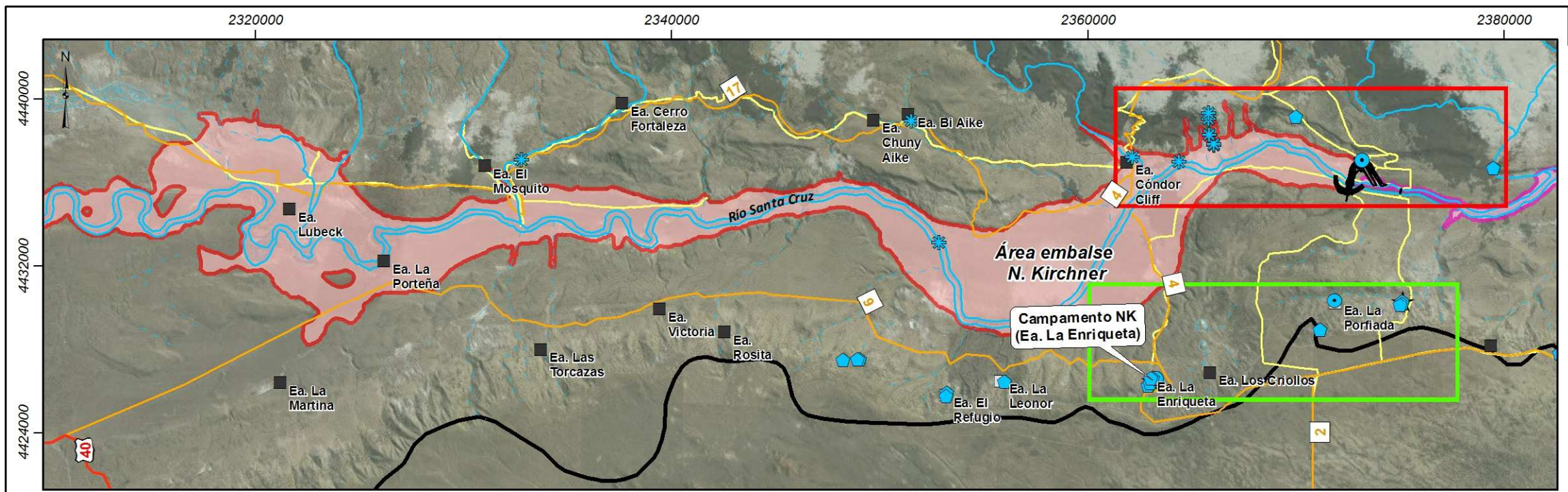


ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO REPRESAS Pte. Dr. N.C.KIRCHNER Y Gdor. J.CEPERNIC
Provincia de Santa Cruz

Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Relevamiento (Oct.-Dic- 2016) Parámetro físico-químico: pH Sector represa Gdor. J.Cepernic
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza	

Fecha: Diciembre 2016	Escala: Gráfica	Mapa: 3b
-----------------------	-----------------	----------



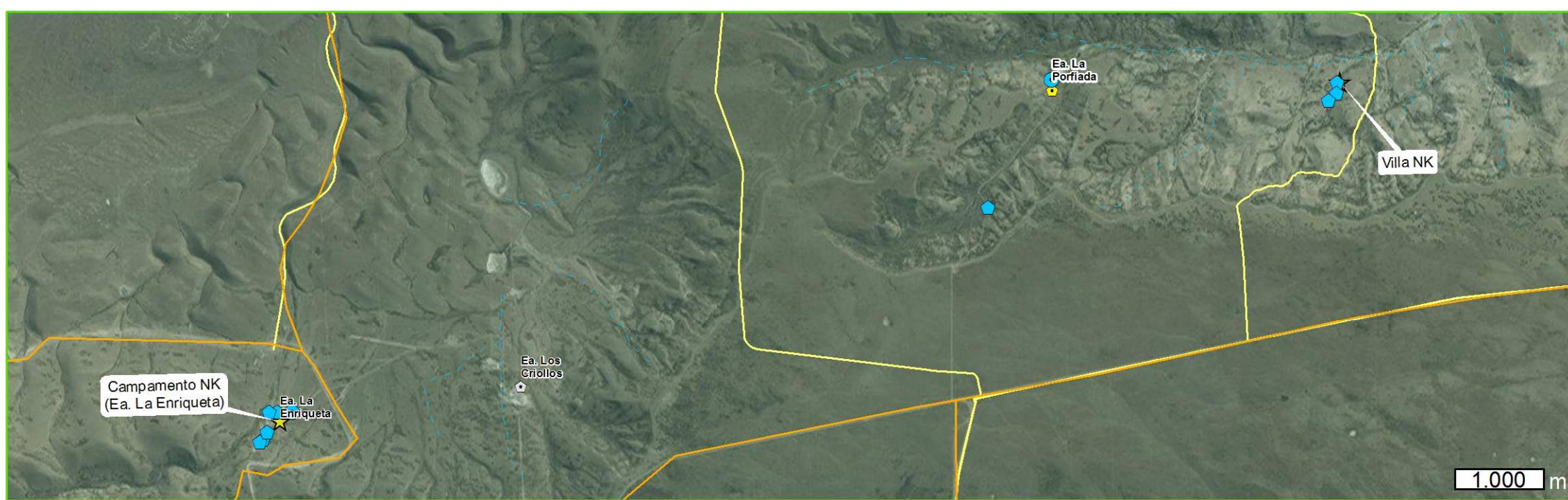
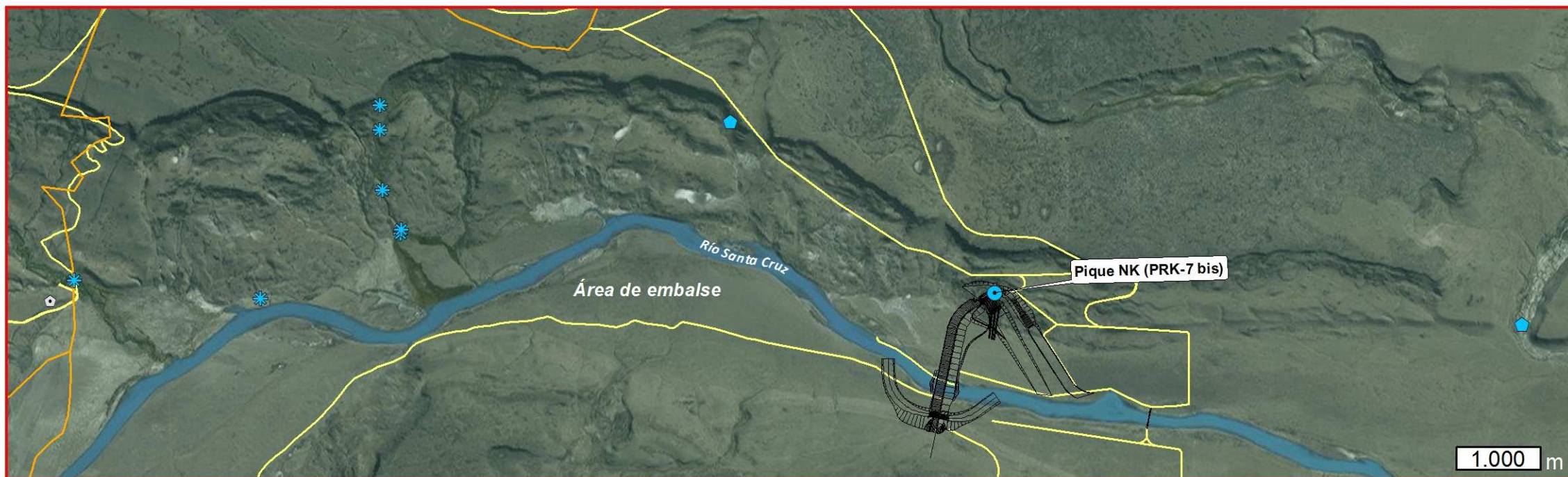


- Referencias generales**
- Ciudades
 - Ruta Nacional
 - Ruta Provincial
 - Cursos de agua principales
 - Lagos principales
 - Provincia de Santa Cruz
 - República Argentina
 - Países limítrofes

- Referencias**
- Estancias
 - Estancias relevadas
 - ★ Campamento NK
 - ★ Villa NK
 - Infraestructura

- Hidroquímica**
- ✳ C.E < 1,5 mS/cm Cursos de agua (río, arroyo, vertiente)
 - C.E < 1,5 mS/cm Manantiales
 - C.E < 1,5 mS/cm Pozos existentes

- Hidrología**
- Cursos transitorios / efímeros
 - Cursos permanentes
 - Caminos internos
 - Área de embalse J. C.
 - Área de embalse N. K.
 - Bajo
 - Cuenca del Río Santa Cruz

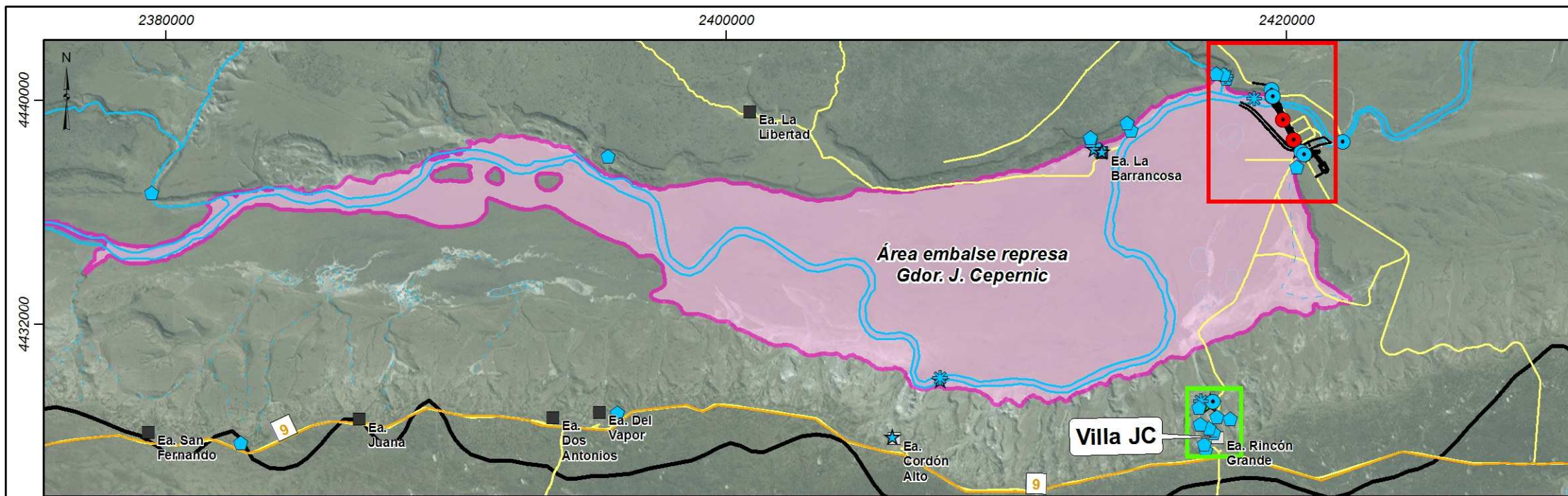


**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO
REPRESAS Pte. Dr. N.C.KIRCHNER Y Gdor. J.CEPERNIK
Provincia de Santa Cruz**

Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Relevamiento (Oct.-Dic. 2016) Parámetro físico-químico: C.E Sector represa Pte. Dr. N.C.K.
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza	

Fecha: Diciembre 2016	Escala: Gráfica	Mapa: 4a
------------------------------	------------------------	-----------------

Proyección: POSGAR 1994-Zona 2-Datum: POSGAR 1994



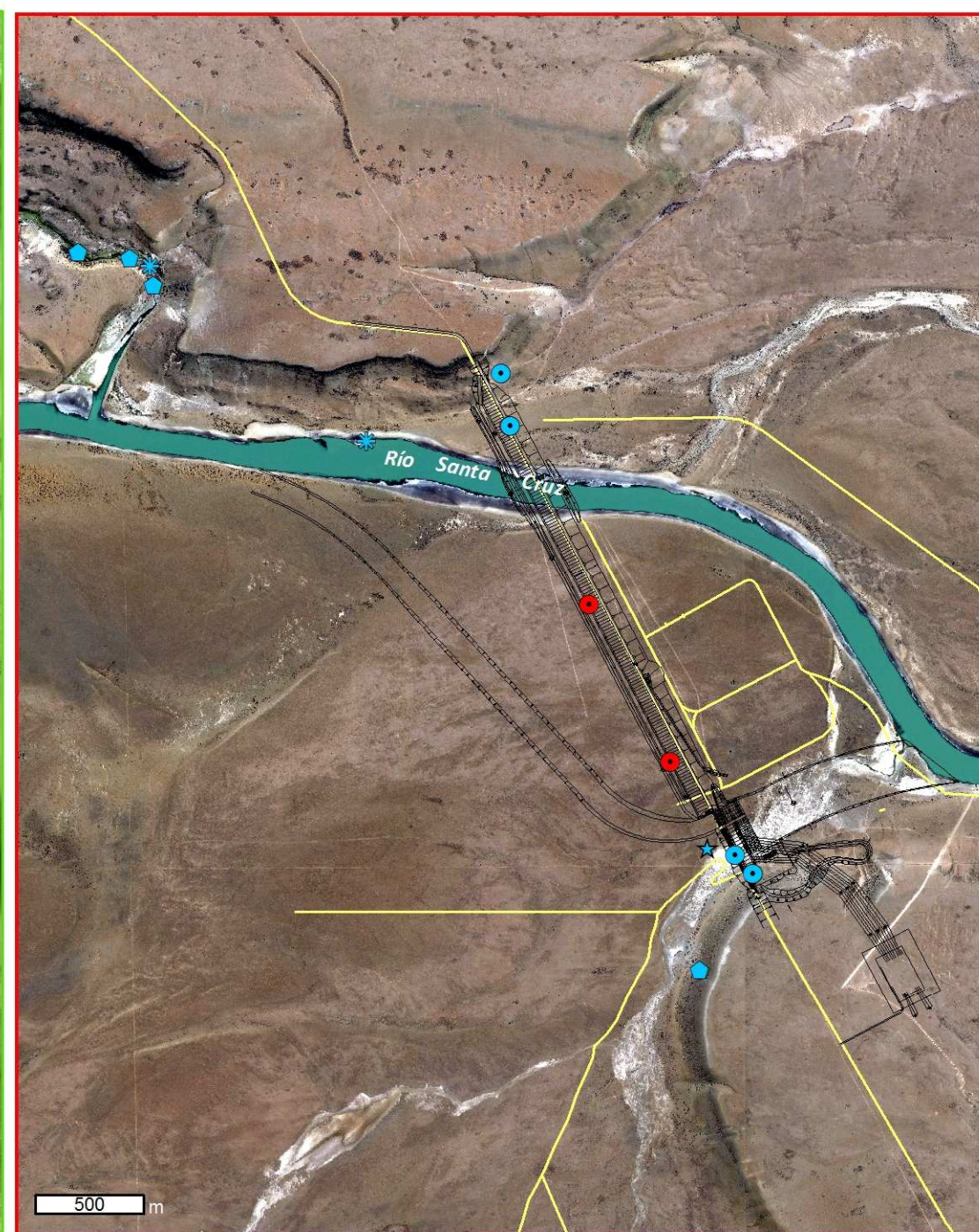
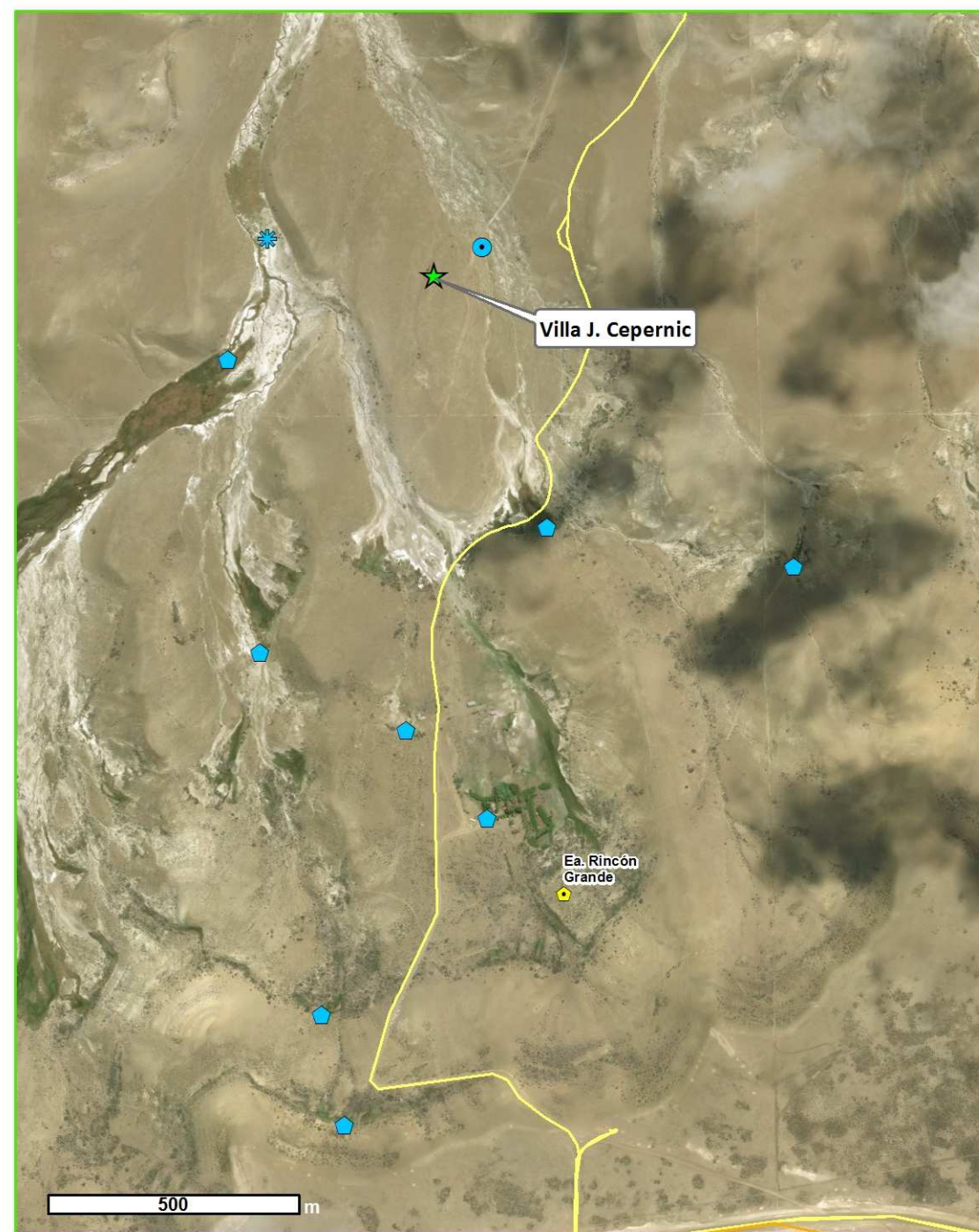
2



1

- Referencias generales**
- Ciudades
 - Ruta Nacional
 - Ruta Provincial
 - Cursos de agua principales
 - Lagos principales
 - Provincia de Santa Cruz
 - República Argentina
 - Países limítrofes

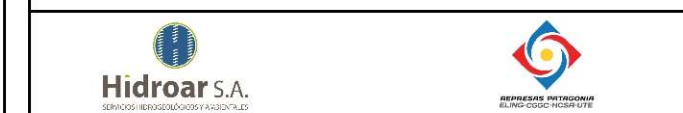
1



- Referencias**
- Estancias
 - Estancias relevadas
 - ★ Villa JC
 - Infraestructura

2

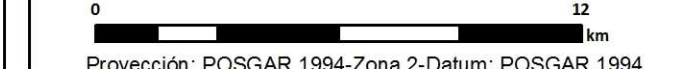
- Hidroquímica**
- ★ C.E <1,5 mS/cm Cuerpos de agua (laguna)
 - ★ C.E <1,5 mS/cm Cursos de agua (río, arroyo, vertiente)
 - C.E <1,5 mS/cm Manantiales
 - C.E <1,5 mS/cm Pozos existentes
 - C.E >1,5 mS/cm Pozos existentes
- Hidrología**
- Cursos transitorios / efímeros
 - Cursos permanentes
 - Caminos internos
 - Área de embalse J. C.
 - Bajo
 - Cuenca del Río Santa Cruz

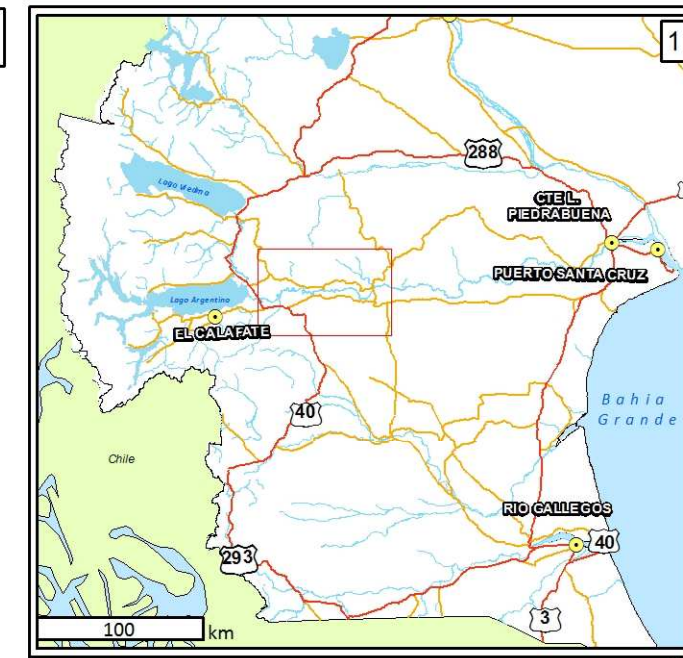
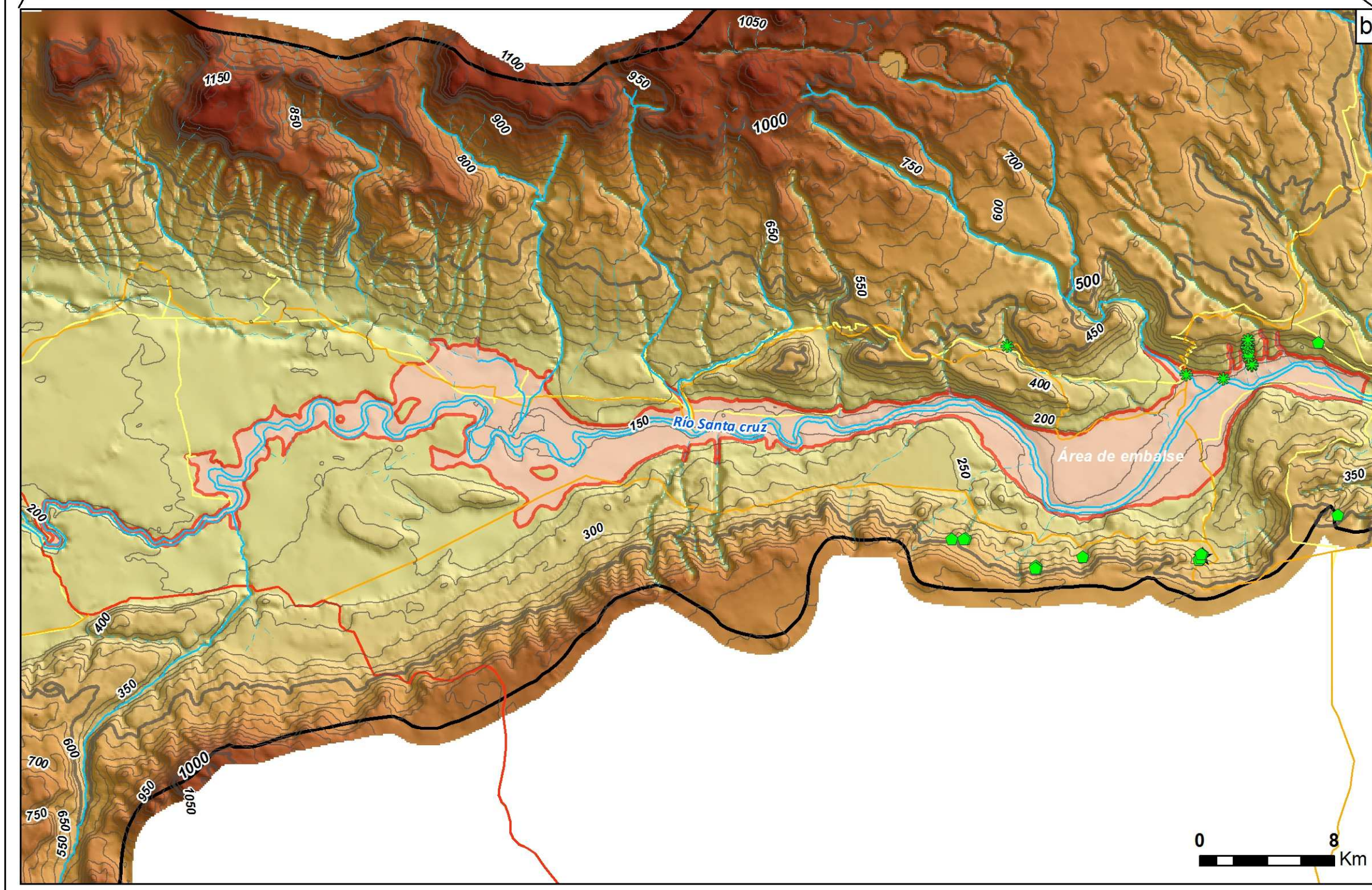
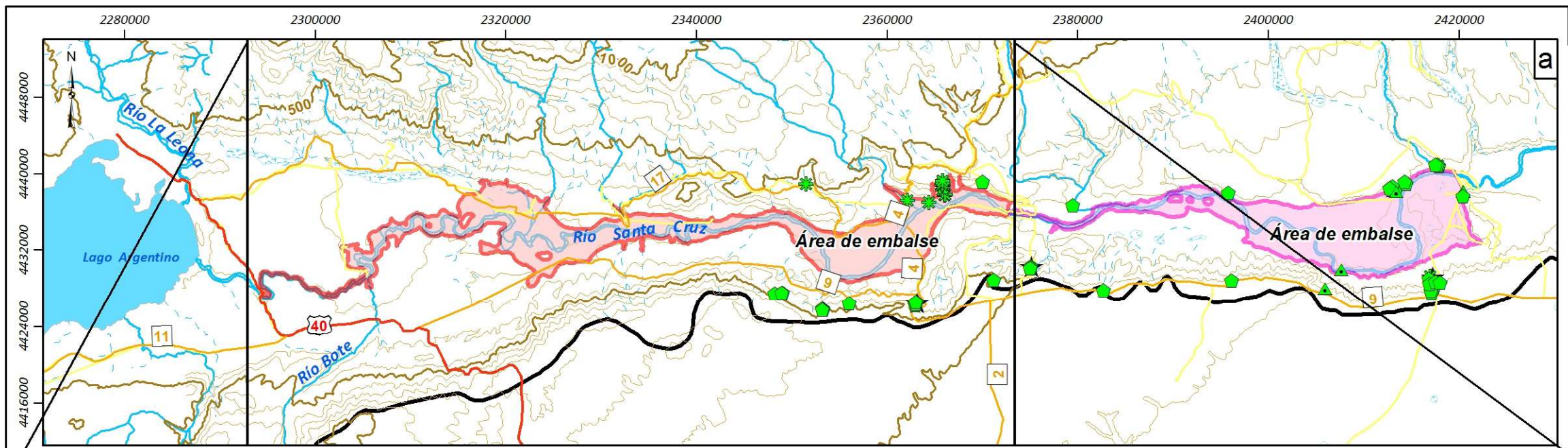


ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO REPRESAS Pte. Dr. N.C.KIRCHNER Y Gdor. J.CEPERNIC
Provincia de Santa Cruz

Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Relevamiento (Oct.-Dic. 2016) Parámetro físico-químico: C.E Sector represa Gdor. J.Cepernic
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza	

Fecha: Diciembre 2016	Escala: Gráfica	Mapa: 4b
-----------------------	-----------------	----------





Referencias generales

- Ciudades
- Ruta Nacional
- Ruta Provincial
- Cursos de agua principales
- Lagos principales
- Provincia de Santa Cruz
- República Argentina
- Países limítrofes

Referencias

- Campamento NK
- Villa JC
- Villa NK
- Cuerpo de agua
- Mallín
- Vertiente
- Caminos internos
- Embalse J.C.
- Embalse N.K.

Hidrología

- Cursos transitorios / efímeros
- Cursos permanentes
- Bajo
- Cuerpos de agua permanentes
- Cuenca del Río Santa Cruz

Curvas de nivel (IGN)

- Equidistancia 500 m
- Equidistancia 100 m

Curvas de nivel*

- Equidistancia 50 m
- Equidistancia 500 m

Modelo de elevación digital*

Rango

- Superior : 1432
- Inferior : 47,05

(*Fuente: Represa Patagonia)

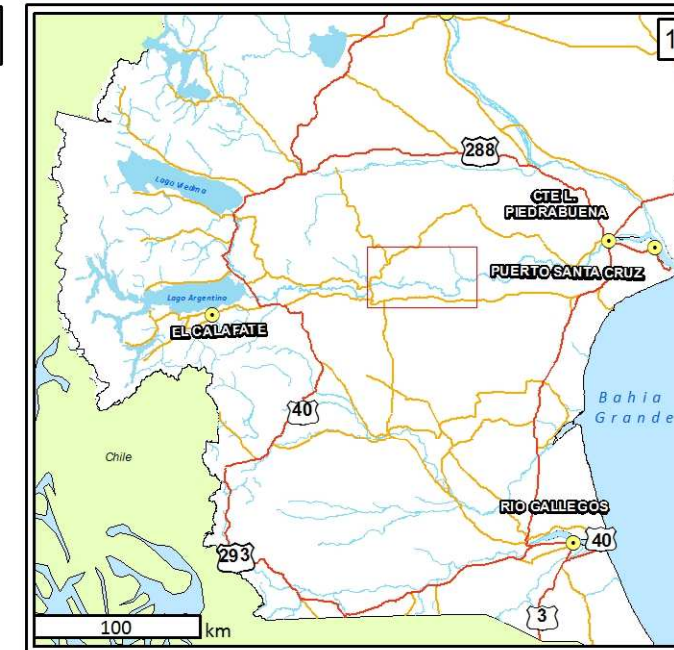
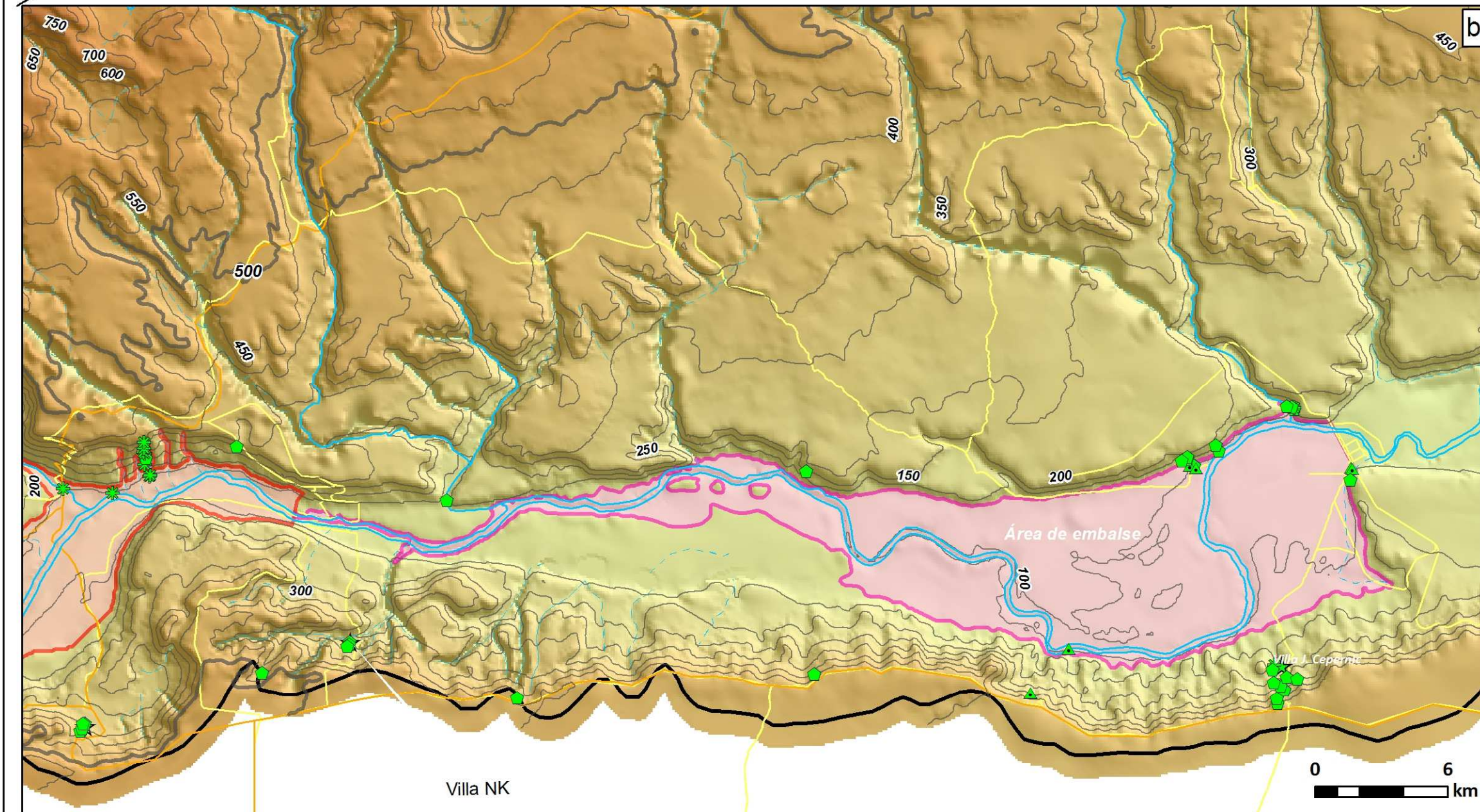
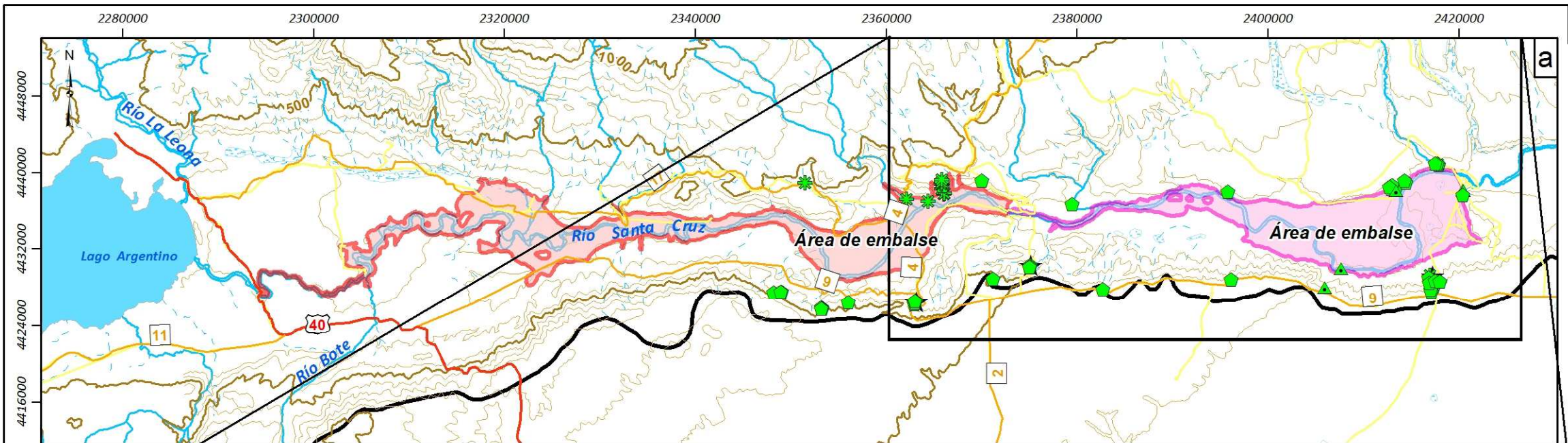
Hidroar S.A.
SERVICIOS HIDROLOGICOS Y AGUAS

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO REPRESAS Pte. Dr. N.C.KIRCHNER Y Gdor. J.CEPERNIK
Provincia de Santa Cruz

Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Manantiales vs. cota de embalse Sector represa Pte. Dr. N.C. Kirchner	
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza		
Fecha: Noviembre 2016	Escala: Gráfica	Mapa: 5

0 34 km

Proyección: POSGAR 1994-Zona 2-Datum: POSGAR 1994



- Referencias generales**
- Ciudades
 - Ruta Nacional
 - Ruta Provincial
 - Cursos de agua principales
 - Lagos principales
 - Provincia de Santa Cruz
 - República Argentina
 - Países limítrofes

- Referencias**
- Campamento NK
 - Villa JC
 - Villa NK
 - Cuerpo de agua
 - Mallín
 - Vertiente
 - Caminos internos
 - Embalse J.C.
 - Embalse N.K.
- Hidrología**
- Cursos transitorios / efímeros
 - Cursos permanentes
 - Bajo
 - Cuerpos de agua permanentes
 - Cuenca del Río Santa Cruz
- Curvas de nivel (IGN)**
- Equidistancia 500 m
 - Equidistancia 100 m

- Curvas de nivel***
- Equidistancia 50 m
 - Equidistancia 500 m
- Modelo de elevación digital***
- Rango**
- Superior : 1432
 - Inferior : 47,05
- (*Fuente: Represa Patagonia)



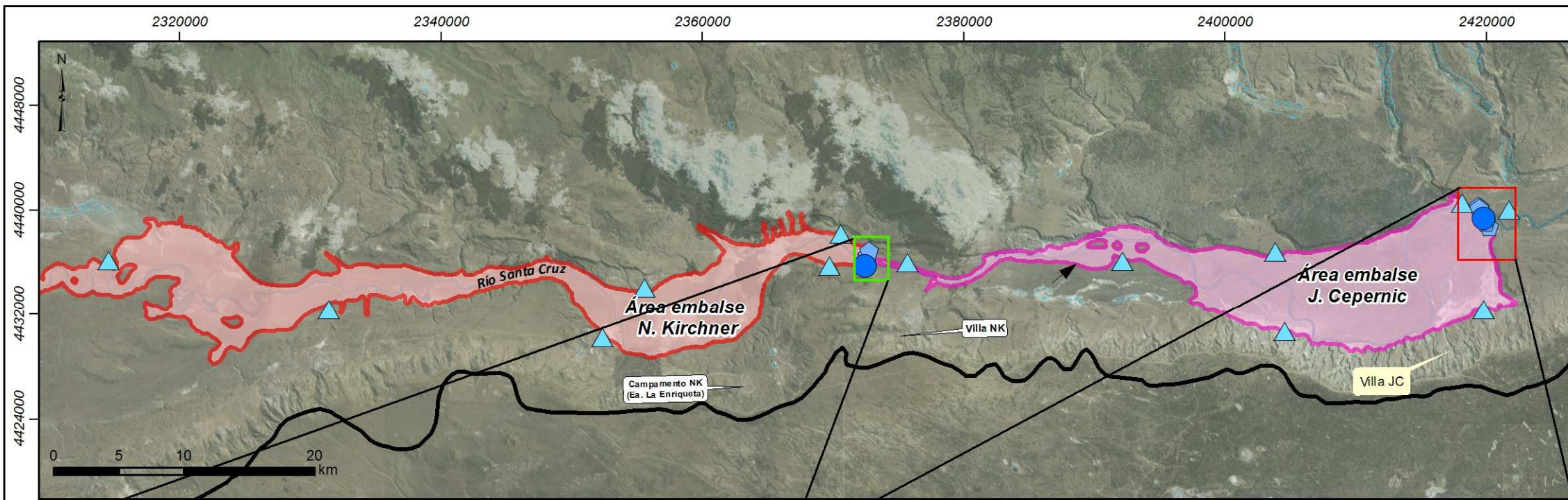

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO - PROYECTO
REPRESAS Pte. Dr. N.C.KIRCHNER Y Gdor. J.CEPERNIC
Provincia de Santa Cruz**

<p>Elaboró: Lic. Fernanda Dávila</p> <p>Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza</p>	<p>Manantiales vs cota de embalse Sector represa Gdor. J. Cepernic</p>
<p>Fecha: Diciembre 2016</p>	<p>Escala: Gráfica</p>
<p>Mapa: 6</p>	



0 34 km

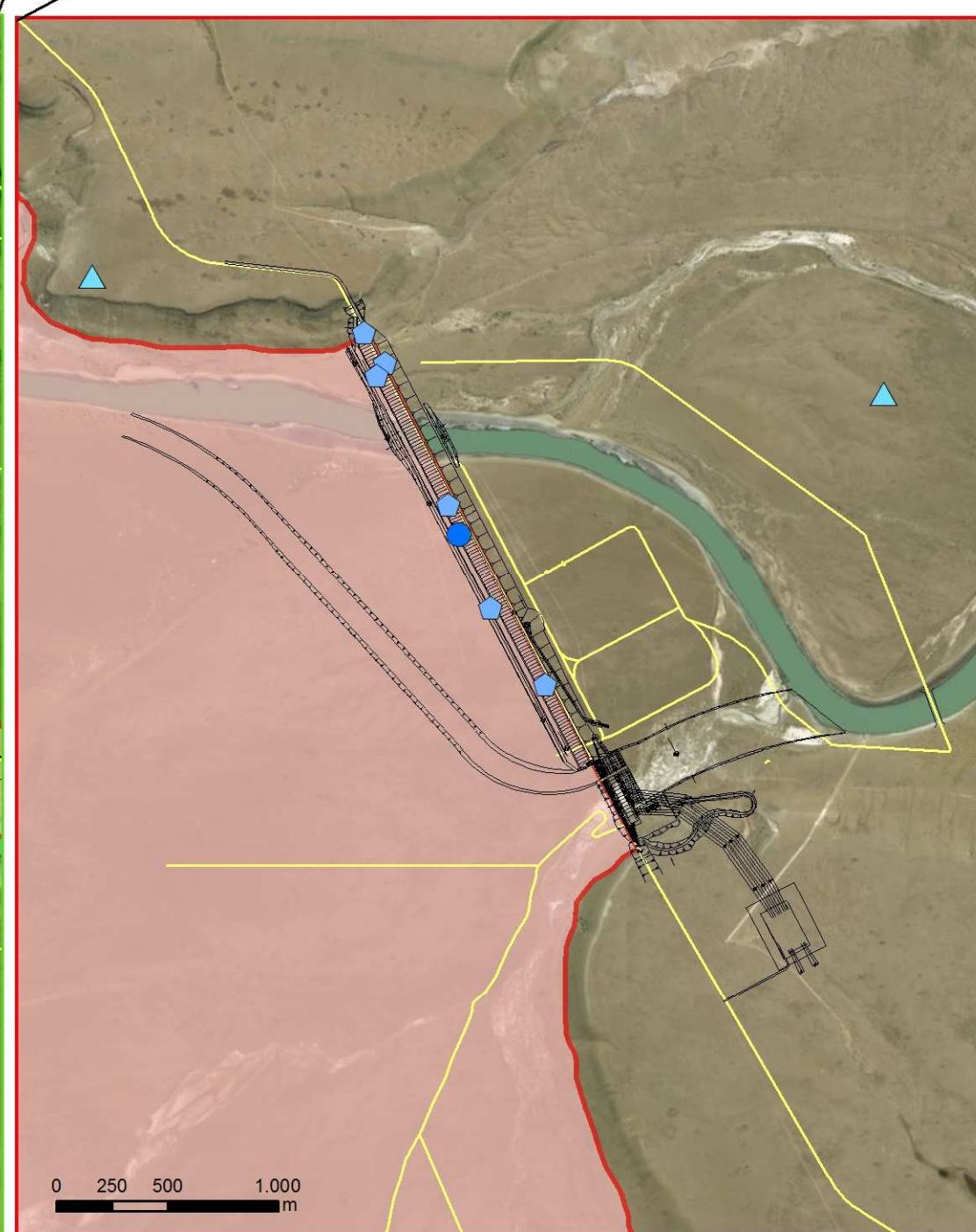
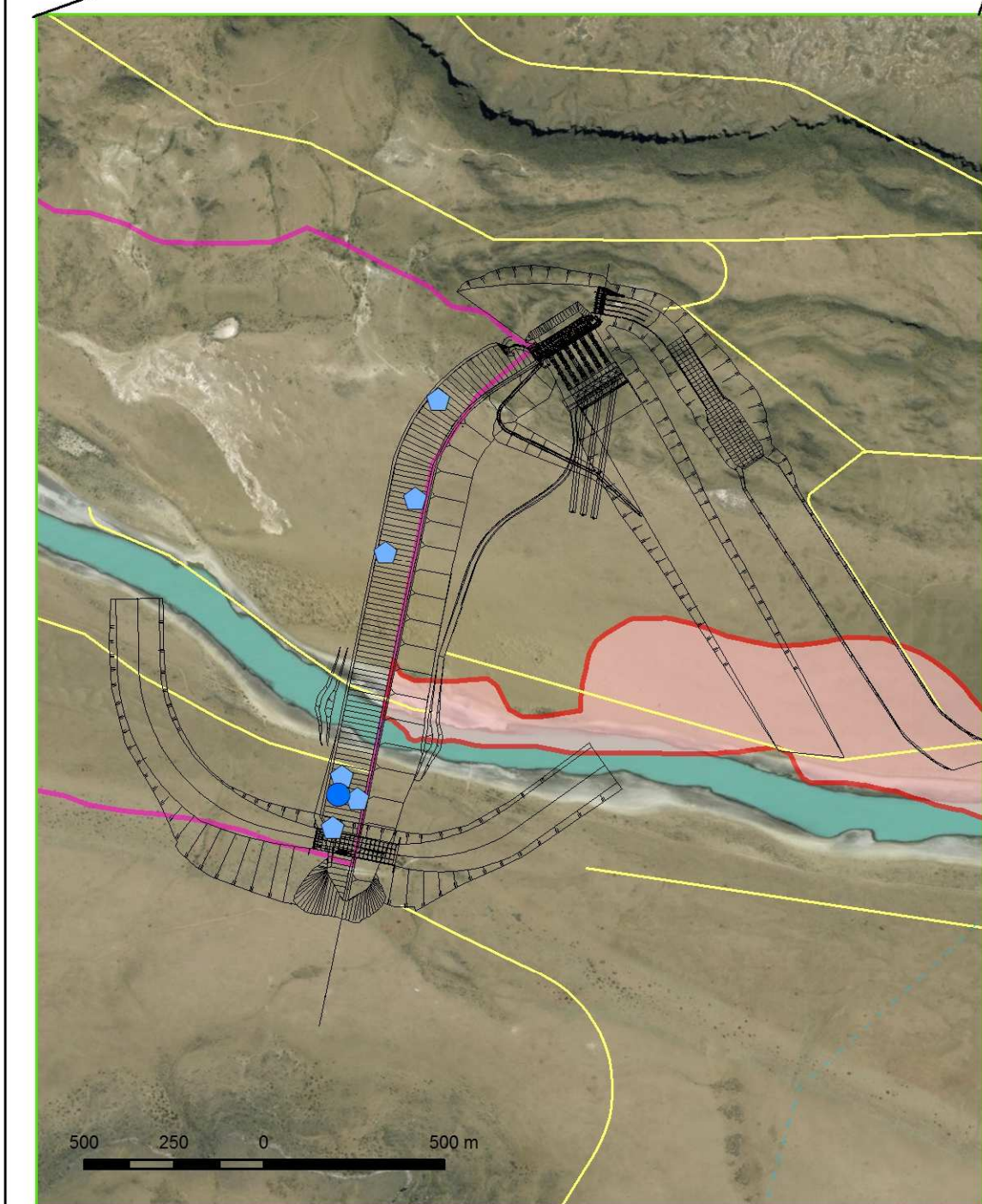
Proyección: POSGAR 1994-Zona 2-Datum: POSGAR 1994



2



1



- Referencias generales**
- Ciudades
 - Ruta Nacional
 - Ruta Provincial
 - Cursos de agua principales
 - Lagos principales
 - Provincia de Santa Cruz
 - República Argentina
 - Países limítrofes

1

- Referencias**
- ▲ Pozos de monitoreo propuestos
 - Pozos de exploración profunda propuestos
 - ◐ Pozos de exploración hidrogeológica propuestos
 - Bajo
 - Área de embalse J. C.
 - Área de embalse N. K.
 - Cuenca del Río Santa Cruz

2



Hidroar S.A.
SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS Y AMBIENTALES



REPRESAS INTEGRADAS EL NIÑO Y CODO

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO - PROYECTO REPRESAS Pte. Dr. N.KIRCHNER Y Gdor. J.CEPERNIK
Provincia de Santa Cruz

Elaboró: Lic. Fernanda Dávila	Ubicación de pozos hidrogeológicos de exploración y monitoreo	
Supervisó: Lic. Marcos Wocca Lic. Carlos Scatizza		
Fecha: Diciembre 2016	Escala: Gráfica	Mapa: 7

Proyección: POSGAR 1994-Zona 2-Datum: POSGAR 1994

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	- 1 -
2 OBJETIVOS	- 1 -
3 ÁREA DE ESTUDIO	- 2 -
4 METODOLOGIA	- 3 -
• RELEVAMIENTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO.....	- 3 -
• CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA E HIDROLÓGICA.....	- 3 -
• CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA	- 4 -
• RAZONAMIENTO CIENTÍFICO	- 4 -
5 CLIMA	- 5 -
5.1 CARACTERÍSTICAS 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 HIDROGEOLOGICOS	- 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 HIDROGEOLOGICO 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 HIDROGEOLOGICO - 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 la 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 (perilago), ampliándose la superficie de relevamiento.

De la gran extensión del valle fluvial del río Santa Cruz, dos sitios presentan características topográficas aptas para el emplazamiento de las obras de aprovechamiento hidroeléctrico. En estos dos lugares se delinearon las obras de las presas NK y JC. Ambos sitios fueron seleccionados para constituir estrechamientos naturales de los tramos del valle, que ofrecen la posibilidad de materializar presas, resultando éstas de dimensiones reducidas (del orden de 3 km) frente a la magnitud que presenta el amplio valle del río Santa Cruz en la zona (hasta 10 km), ver Figura 3.1.

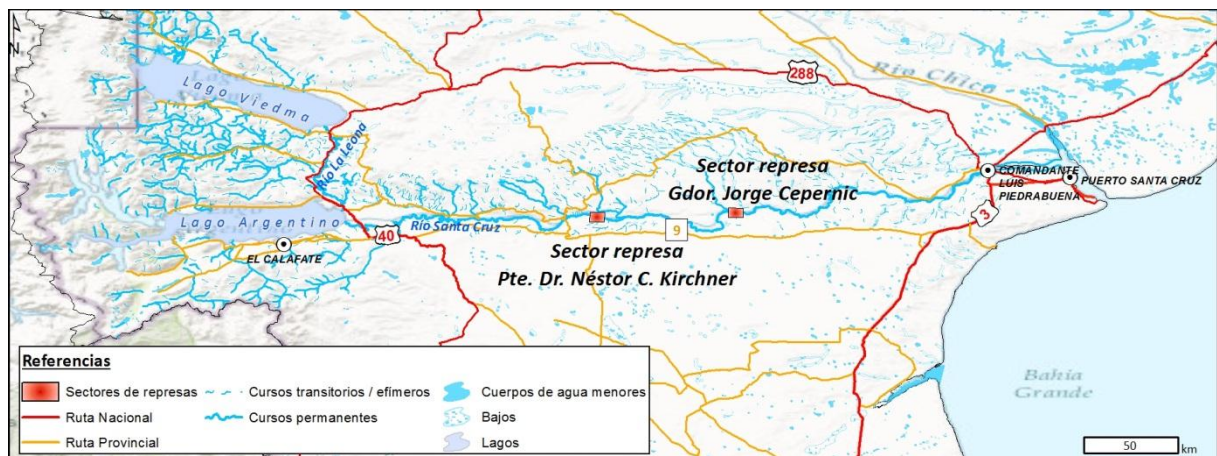


Figura 3.1. Ubicación general del área de estudio.

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

Al sur del proyecto, la RP N° 9 se conecta con la Ruta Provincial N° 2 (también de ripio), que se extiende hacia el sur hasta la localidad de Esperanza. Al norte del río Santa Cruz, se identifica la Ruta Provincial N° 17, la cual conecta la Ruta Nacional N° 288 con la Ruta Nacional N° 40. (Ver Figura 3.2 y Mapa 1 – Ubicación general del área de estudio).

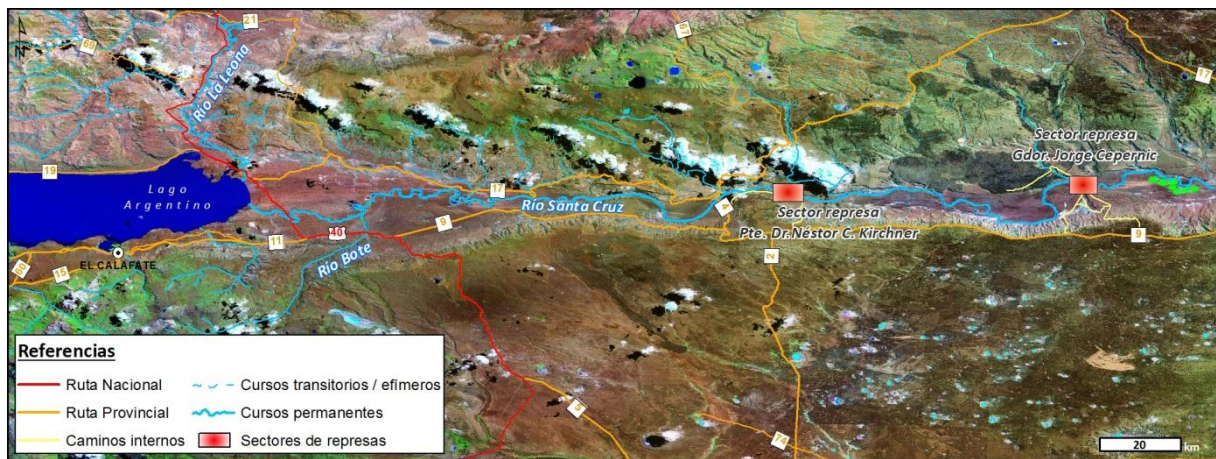


Figura 3.2. Accesos al área de estudio.

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 margen del rio 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, acuícludos, acuífugos) que permitan la transformación de las unidades geológicas en hidrogeológicas.

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

- Caracterización Hidrogeológica e Hidrológica

Con el propósito de comprender el funcionamiento hidrogeológico de manantiales y niveles de agua someros, en las zonas donde se emplazarán las futuras 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 realizara 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.
Conductímetro para
medición de campo.



Fotografía 4.3. Medidor de
pH y T° para utilizar en
campo.

Cada punto muestreado 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.

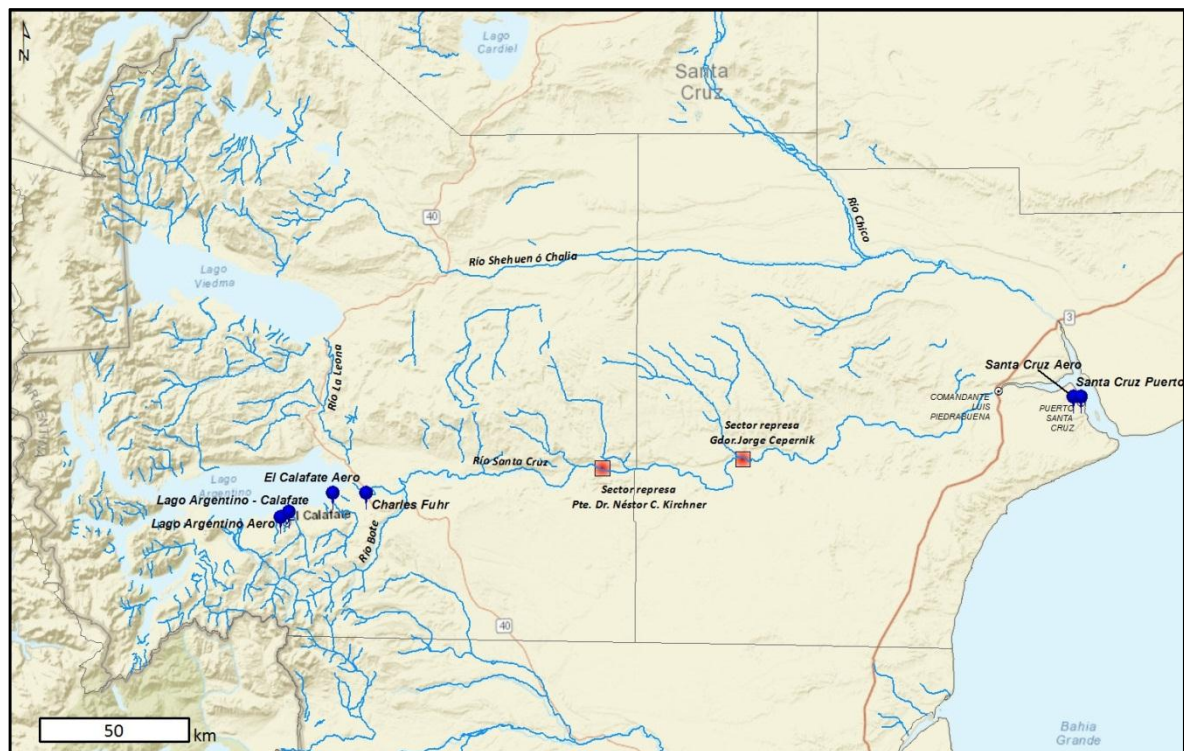


Figura 5.1. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el Estudio de impacto ambiental antecedente y presente estudio.

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

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 registrados valores medios inferiores a los -2 °C para el mes de julio y cercanas a los 9°C en el mes de enero. Estos datos son coincidentes con el rango de valores presentados en el estudio de impacto ambiental anteriormente citado.

Los promedios mensuales de la velocidad del viento medidos en la estación Lago Argentino-Calafate para el período 1993-2016 se encuentran entre los 6 km/h en el mes de Agosto y los 13 km/h en enero (ver 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).

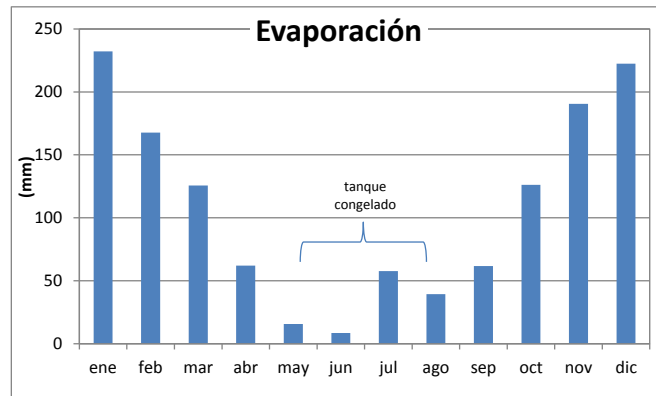


Figura 5.3. Evaporación media mensual estación Lago Argentino-Calafate (período 1993-2016).

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:

$$ETR = P - XP^2$$

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.

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

Cuadro 5.4. Calculo de ETo de referencia promedio expresada en mm/año, mediante el programa CROPWAT.

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

6 GEOLOGIA

La información mencionada en el presente capítulo fue tomada de los informes “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” e “Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015”.

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

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

Con respecto a la estratigrafía regional, la unidad basal corresponde a la Fm. Estancia 25 de Mayo (*Cuitiño y Scasso, 2010*), del Mioceno Inferior y equivalente a la Fm. Monte León. La misma se caracteriza por ser un depósito heterogéneo, estratificado y compuesto por limolitas, areniscas, areniscas tobáceas, pelitas, tobas y tufitas, con presencia de coquinas calcáreas con cementación carbonática y la presencia de fauna de invertebrados marinos, principalmente ostras de gran tamaño. Presenta colores pardos, verdosos y blanquecinos y espesores que llegan a superar los 400 m. Existen pocos afloramientos para esta Fm. en el valle del Río Santa Cruz, siendo el afloramiento más importante cercano al área de estudio el que se observa en el Cañadón El Mosquito, ver Fotografía 6.1.



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 glaciares, glacioluviales y glacialacustres depositados por una serie de glaciaciones que habrían comenzado en el Mioceno (Mercer, 1976). Estos eventos, fundamentalmente agradacionales, alternan con otros principalmente erosivos, atribuidos a períodos interglaciares 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 glaciﬂacustres
		Morenas Arroyo Verde (AV) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciﬂuviales y glaciﬂacustres
		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
	PLIOCENO - MIOCENO sup	Coladas de Basaltos pliocenas
		Terraza San Fernando y sus gravas y arenas glaciﬂuviales
		Terraza La Australasia y sus gravas y arenas glaciﬂuviales
		Morenas Pampa Alta y sus depósitos de gravas y arenas glaciﬂuviales
Terraza Cerro Cuadrado y sus gravas y arenas glaciﬂuviales		
TERCIARIO	MIOCENO	Fm Santa Cruz
	MIOCENO-EOCENO	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 conglomerádicas gradando hacia el techo a arenas medias a finas. Hacia el tope de los conjuntos aparecen ondulaciones y bioturbación de manera aislada, junto con delgados mantos de materiales finos. Si bien se dispone de manera tabular, en detalle se encontró estratificación cruzada, terminaciones cuneiformes y lenticularidad. Representa un ambiente marino submareal con

corrientes de mareas de alta energía, con momentos de quietud donde se habrían depositado los mantos pelíticos.

- Niveles heterolíticos, caracterizados por una alternancia milimétrica a centimétrica de láminas de arena fina con mantos pelíticos, donde las primeras indican un momento tractivo y los segundos un momento de decantación por baja energía. Se encontraron trazas fósiles y estructuras tractivas. Internamente pueden presentar lenticularidad o una estratofábrica en cintas ondulantes que reflejarían períodos de baja y alta energía que se habrían sucedido periódicamente. Esta unidad correspondería a un ambiente de planicie mareal con eventos de exposición subaérea, indicados por la presencia de grietas de desecación.
- Fangolitas laminadas y fangolitas macizas con niveles delgados (milimétricos) de arenas finas con ondulitas. Se disponen en estratos de menos de 1 cm con laminación paralela horizontal interna, apareciendo a veces bandas de fangolita maciza de entre 1 y 5 cm de espesor. Estos niveles presentan poca bioturbación, y reflejarían un ambiente intermareal a submareal protegido, con decantación de material fino y corrientes tractivas de baja energía.

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

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

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

con una matriz de grano muy fino. Se encuentran bioturbaciones aisladas y material muy fino como matriz.

- Alternancia de areniscas muy finas laminadas (laminación ondulítica) y pelitas dispuestas en paquetes de entre 0,3 y 1,2 m. El nivel se encuentra escasamente bioturbado. La sedimentación se habría dado por decantación en cuerpos de agua tranquila afectados periódicamente por corrientes tractivas de baja energía.

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

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

Los depósitos glaciafluviales 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 glaciafluviales previos, en capas de 20 m de espesor de rodados y bloques polimícticos de hasta 0,30 m de diámetro observando en algunos casos bancos arenosos laminados, niveles tobáceos y niveles diamictíticos con bloques de hasta 40 cm de diámetro.

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

Durante el Pleistoceno se generó una nueva glaciación, que acumuló el nivel denominado Morenas Estancia La Fructuosa y depósitos glaciafluviales, correspondientes al nivel V. Esta unidad está caracterizada por lomadas y crestas morénicas semiparalelas al valle principal, presentes sobre las dos márgenes. En margen sur, en la zona cercana a la Estancia Las Torcazas, se encontraron estos depósitos en los niveles más elevados del valle, con cotas de 800 msnm, llegando en la Estancia El Refugio a cubrir los niveles de basaltos con espesores de 20 m y con bloques de estas mismas vulcanitas de más de 2 m de diámetro. Hacia el oeste, cercano a la Estancia La Enriqueta, los depósitos pasan a cubrir zonas más bajas, alcanzando cotas de 500 msnm. En la margen norte, a cotas entre 800 y 475 msnm, esta unidad refleja dos pulsos importantes o estadiales glaciaarios 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 glaciaario.

Siguiendo el orden cronológico, una nueva glaciación habría depositado las Morenas Cerro Fortaleza y sus depósitos glaciafluviales, comprendiendo el nivel VI. Estas acumulaciones se presentan en la zona al pie del risco Las Lascas, a una cota de 220 msnm que hacia el oeste pasa a mayores

alturas. Al norte del río se observaron 5 crestas morénicas, mientras que en la margen sur se distinguieron 3 crestas morénicas subparalelas con espesores de 25 m y bloques basálticos de hasta 2 m de diámetro y matriz limosa. Hacia el valle aparecen terrazas de la misma glaciación a cotas de 200 msnm.

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

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

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

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

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

La geología local del área de estudio se presenta en la Figura 6.1.

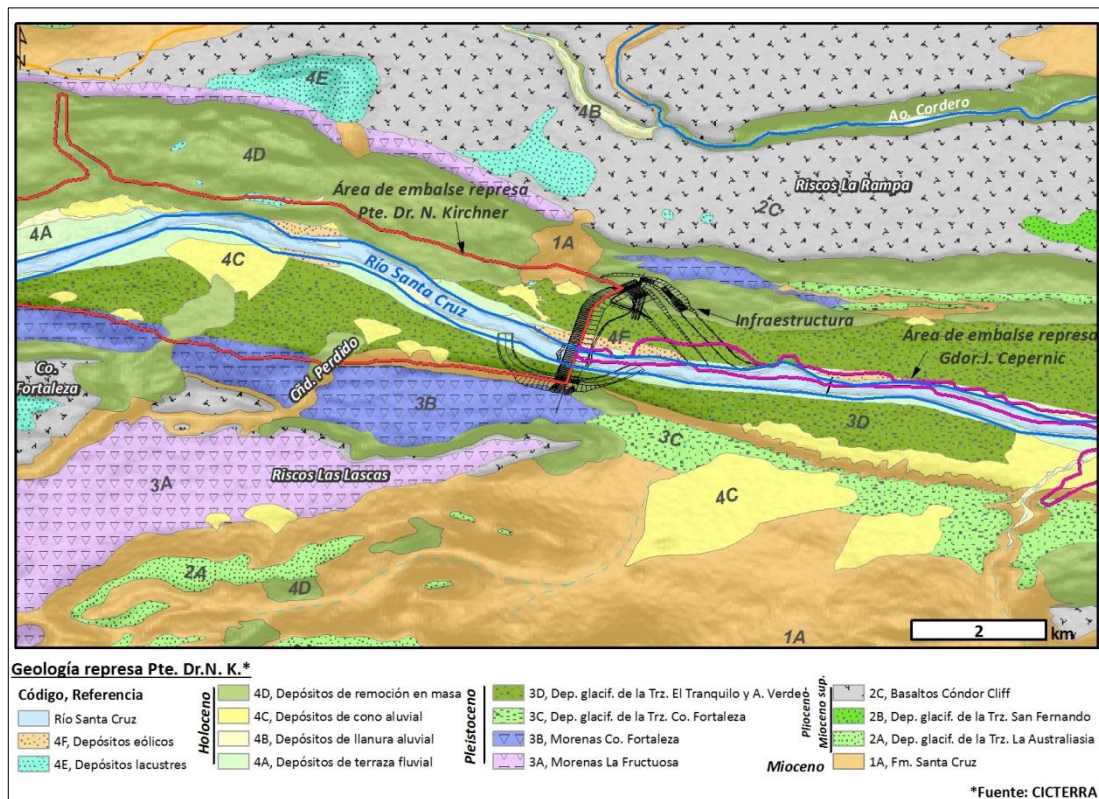


Figura 6.1. Mapa geológico de la zona de emplazamiento de la represa Pte. Dr. N. Kirchner. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015)

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

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

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

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

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

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

En las Figuras 6.2 y 6.3 pueden observarse distintos cortes transversales que reflejan las litologías atravesadas.

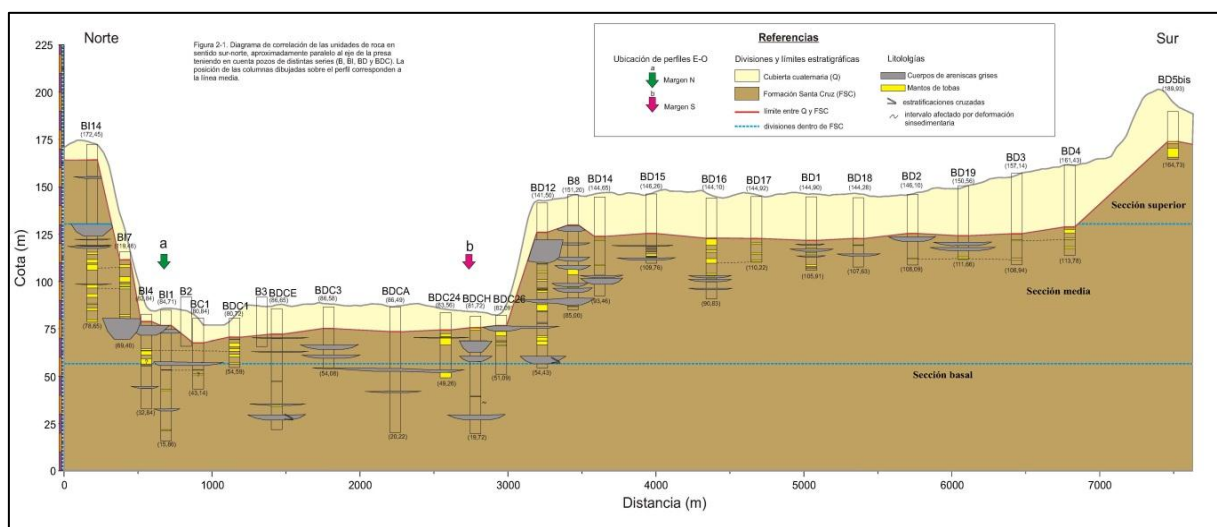


Figura 6.2. Perfil norte – sur del valle del Río Santa Cruz en la zona de emplazamiento de la presa Jorge Cepernic. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015).

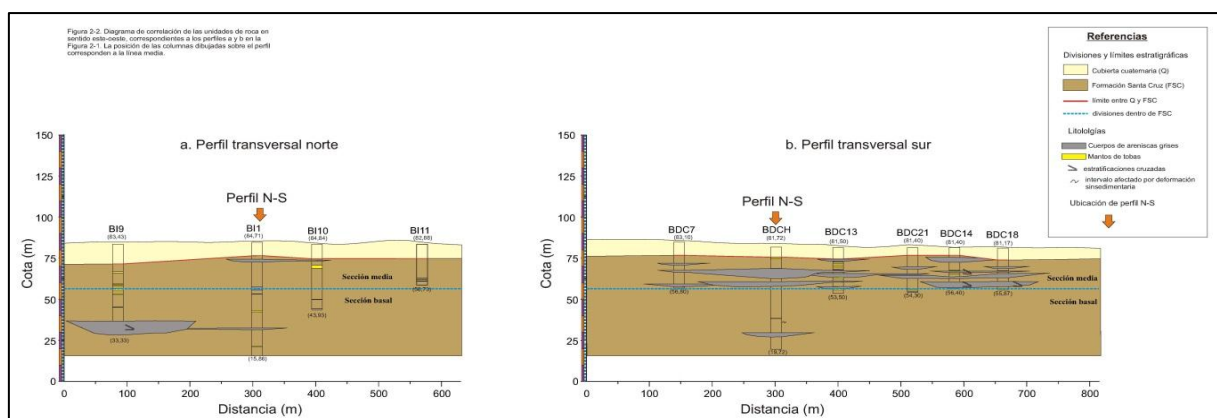


Figura 6.3. Perfiles este - oeste de la zona de emplazamiento de la presa Jorge Cepernic. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015).

Si guiendo en orden cronológico, aparecen los depósitos glaciales 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 interglacial. Al

producirse una nueva glaciación, se generó esta nueva planicie glacifluvial, que se caracteriza por depósitos de rodados de hasta 30 cm de diámetro con arenas subordinadas. Este nivel corresponde al Nivel IV de los niveles de terrazas glaciarias encontradas en la región. En el área de estudio se apoya en discordancia erosiva sobre la Fm. Santa Cruz en la margen norte, entre los 203 y 220 msnm.

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

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

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

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

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

La geología de la zona de la presa JC se puede observar en la Figura 6.4.

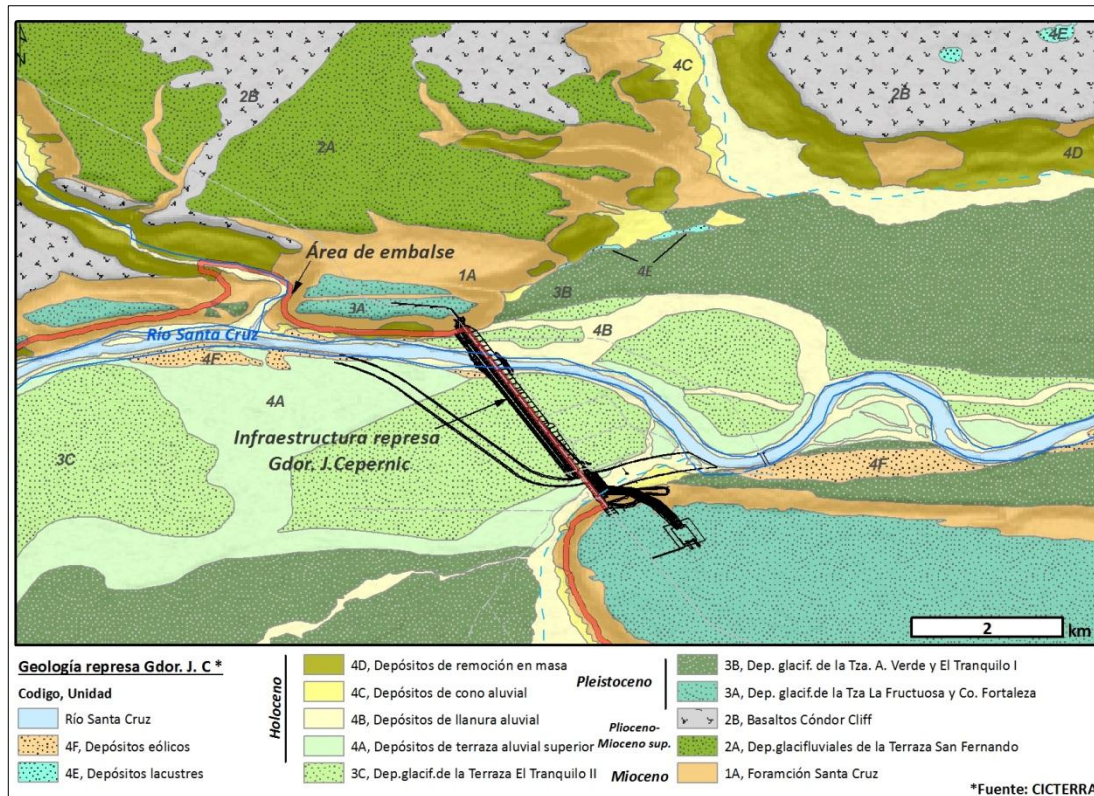


Figura 6.4. Mapa geológico de la zona de emplazamiento de la represa Gdor. Jorge Cepernic. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015)

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 monocal con algunas barras centrales muy localizadas que pueden generar pequeños tramos multicanal.

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

Existen tributarios a ambos lados del valle, con mayor desarrollo en la margen sur. Estos cursos son de régimen estacional, alimentados por las precipitaciones pluviales o por la fusión de nieve y en algunos casos por manantiales. En margen sur presentan diseño dendrítico a subdendrítico,

formando una red de densidad media a baja y llanuras de inundación pequeñas, mientras que en margen norte presentan un mínimo desarrollo ya que son cursos jóvenes, que en algunos casos no llegan a estar conectados con el Río Santa Cruz, generando un drenaje centrípeto. La excepción para este margen es el Arroyo Cordero que corresponde a un tributario del Arroyo Las Cuevas (fuera de la zona de estudio) y que presenta una llanura de inundación relativamente amplia.

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

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

Morfología glaciar

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

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

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

Morfología de remoción en masa

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

diaclasamiento, generando un talud empinado e inestable. También fueron detectados movimientos de remoción en masa complejos.

Morfología volcánica

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

Morfología Eólica

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

Morfología lacustre

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

El relevamiento geomorfológico de la zona de la presa NK se puede observar en la Figura 7.1.

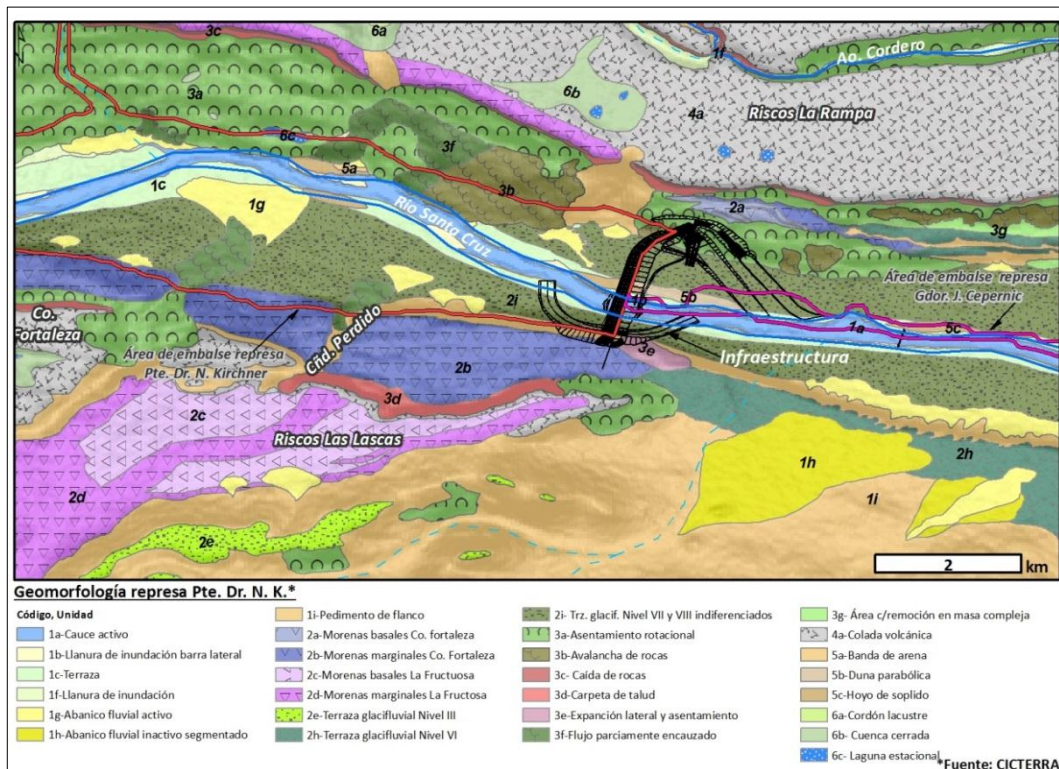


Figura 7.1. Mapa geomorfológico de la zona de emplazamiento de la represa Pte. Dr. N. Kirchner (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015)

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 glaciales, 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 glaciales 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 interglaciales, 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 glaciales en terrazas. A grandes rasgos, se podría resumir en que las terrazas indican una glaciación, mientras que los desniveles entre ellas indican un estadio interglacial.

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

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

Morfología de remoción en masa

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

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

Morfología eólica

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

Morfología lacustre

Se reconocieron dos unidades principales en el área de estudio, la primera abarca las geoformas presentes en zonas de drenaje obstruido, que presentan una cuenca de morfología elongada y que ocurren cuando los cursos provenientes de las mesetas al norte no llegan al Río Santa Cruz, porque se topan con una terraza glacial 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.

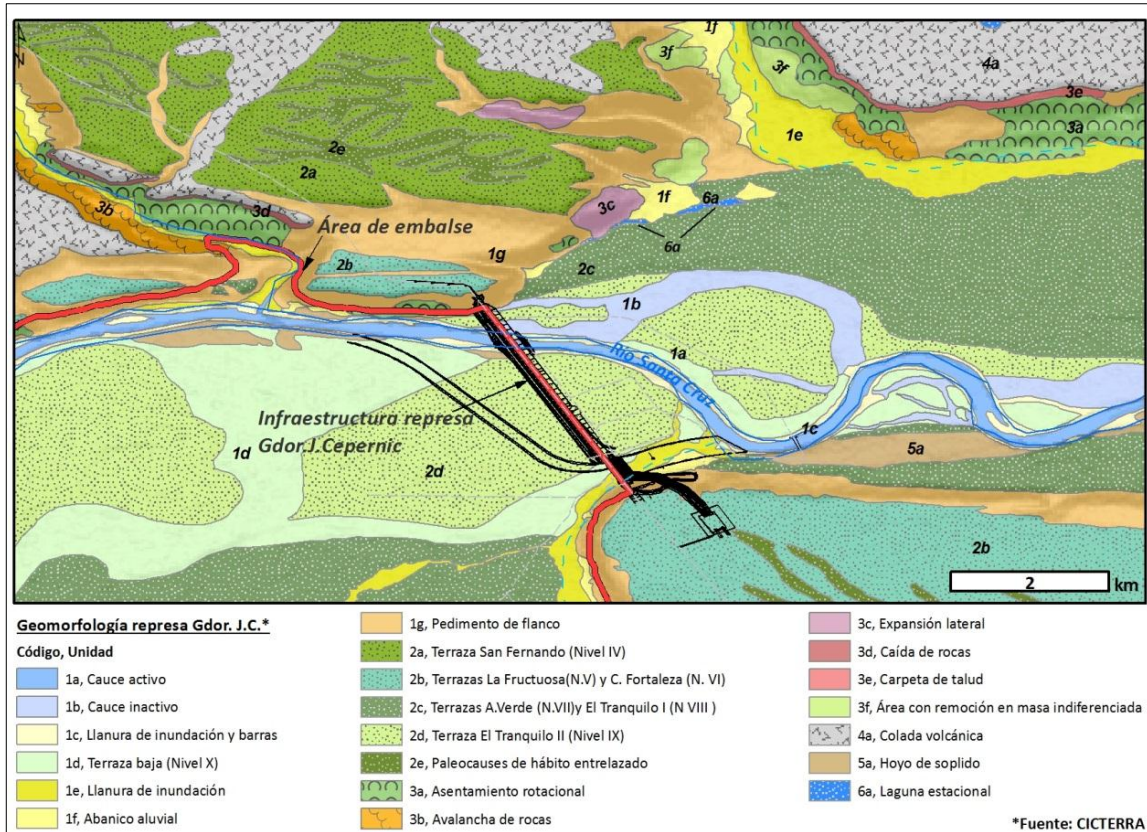


Figura 7.2. Mapa geomorfológico de la zona de emplazamiento de la represa Gdor. Jorge Cepernic. (Fuente: Investigación geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica. Valle del Río Santa Cruz - Provincia Santa Cruz – Argentina. Cuarto Informe – Octubre 2015)

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 Sotfíni, 2005), ver Figura 8.1.

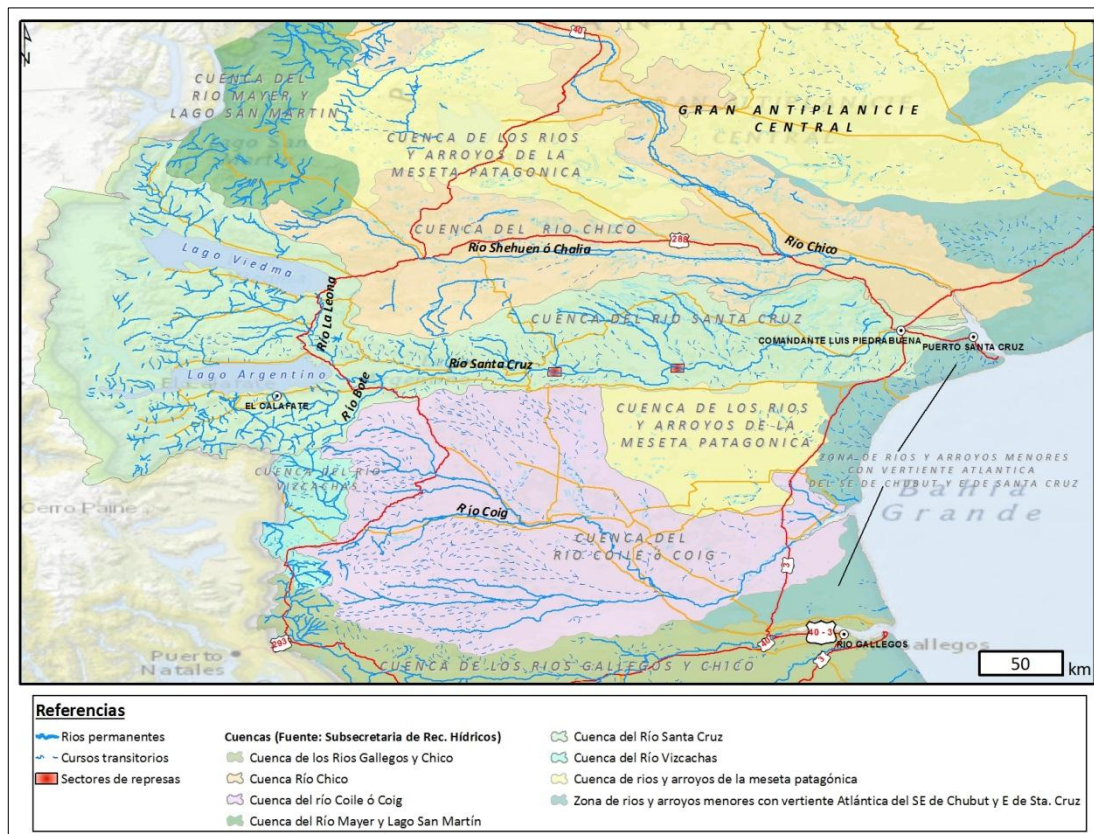


Figura 8.1. Cuenca del río Santa Cruz y aledaños.

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

Esta cuenca posee sus nacientes en el oeste, más precisamente en el Campo de Hielo Patagónico Sur, desde donde descienden lenguas glaciares y aguas de fusión que forman ríos y arroyos que aportan el recurso hídrico a los lagos Viedma y Argentino. Este último, recibe las aguas del lago Viedma, ubicado 55 km al norte del mismo, a través del río Leona. A unos 5 km al sur de la descarga del río Leona nace el río Santa Cruz, el cual recorre hasta su desembocadura en el Atlántico 383 km, (ver Figura 8.2).

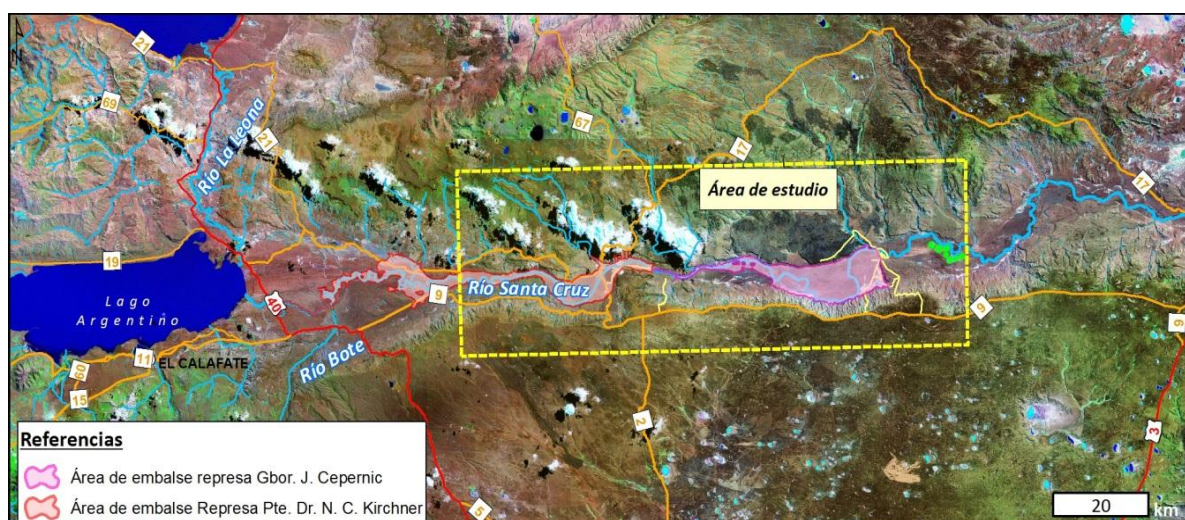


Figura 8.2. Imagen general del área general de estudio relevada, lagos y cursos hidrológicos principales.

El lago posee dos áreas morfológicamente 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 fluvioglacial. 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 a fortalecerse. En la Figura 8.6 se puede observar los aumentos del nivel del brazo previo a la ruptura.

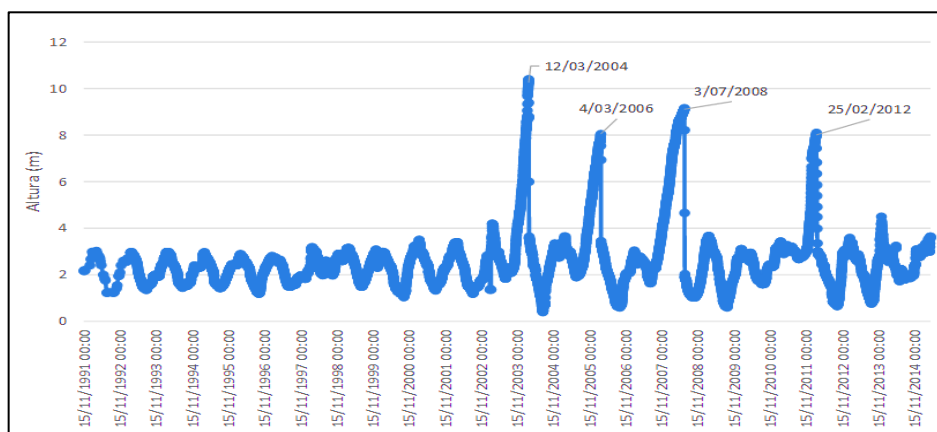


Figura 8.6. Altura del brazo Rico período 9/11/1991-29/04/2015. Estación Parque Nacional Los Glaciares (50° 25' 34,00"S -72° 44' 52,20"O). Los datos fueron tomados de la página de la Subsecretaría de Recursos Hídricos <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmFiltro.aspx>.

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 Sotfíni (2005) informan una mayor variabilidad de los niveles del lago Argentino, identificando una fluctuación entre cotas 184 y 189 msnm, según datos de IECI (1978). En la Figura 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.

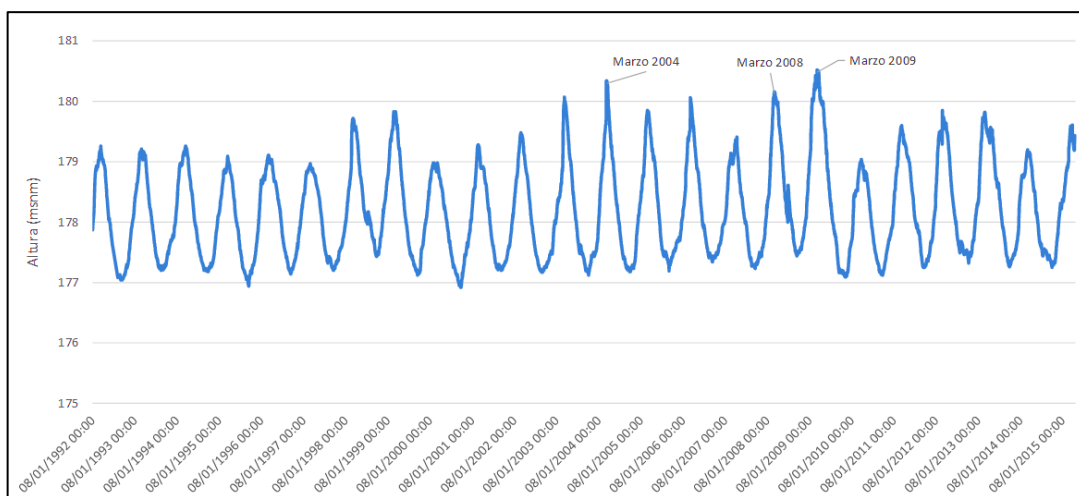


Figura 8.7. Altura del Lago Argentino período 8/01/1992-30/04/215. Estación El Calafate (50° 19' 12,00"S -72° 15' 39,60"O). Los datos fueron tomados de la página de la Subsecretaría de Recursos Hídricos. <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmFiltro.aspx>. Se consideró la altura de la estación 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.

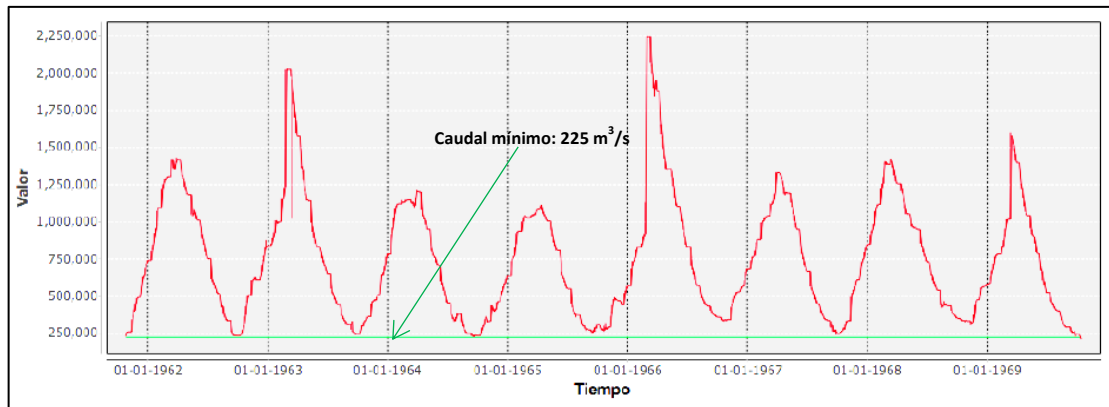


Figura 8.8a. Curvas de caudales del río Santa Cruz (lts/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

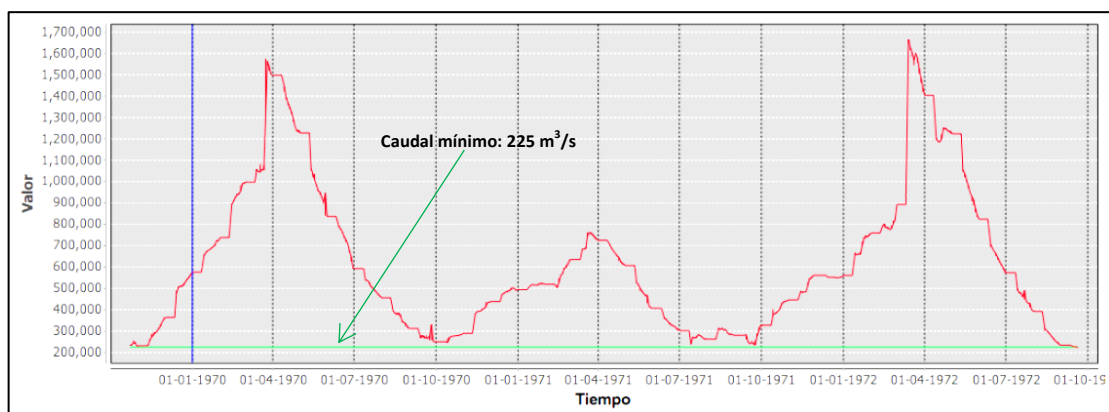


Figura 8.8b. Curvas de caudales del río Santa Cruz (lts/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

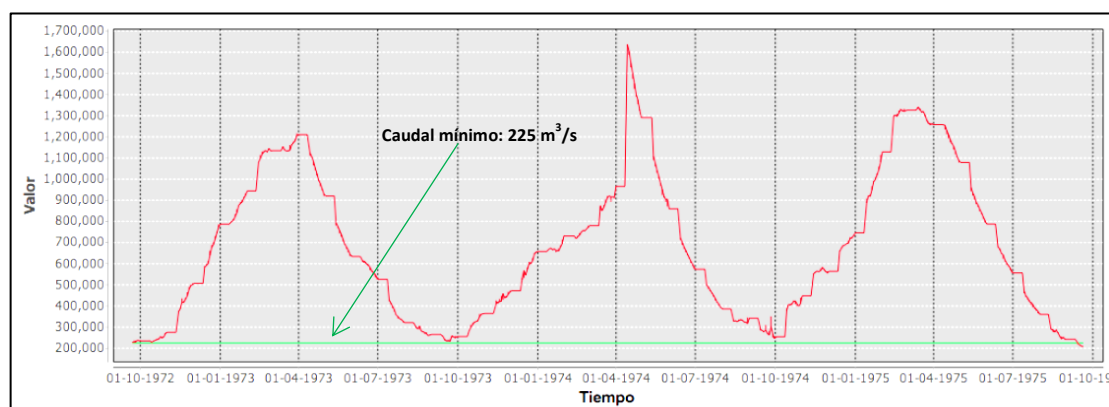


Figura 8.8c. Curvas de caudales del río Santa Cruz (lts/s). Estación Charles Fuhr (50° 15' 07,60"S - 71° 54' 28,10"O). Muestran la simetría del régimen y valores muy bajos de tensión en las limnofases y potamofases.

A partir de los datos antecedentes, se adoptó como nivel de referencia al que corresponde a un caudal mínimo de 225 m³/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° 15' 07.60"S - 71° 54' 28.10"O).

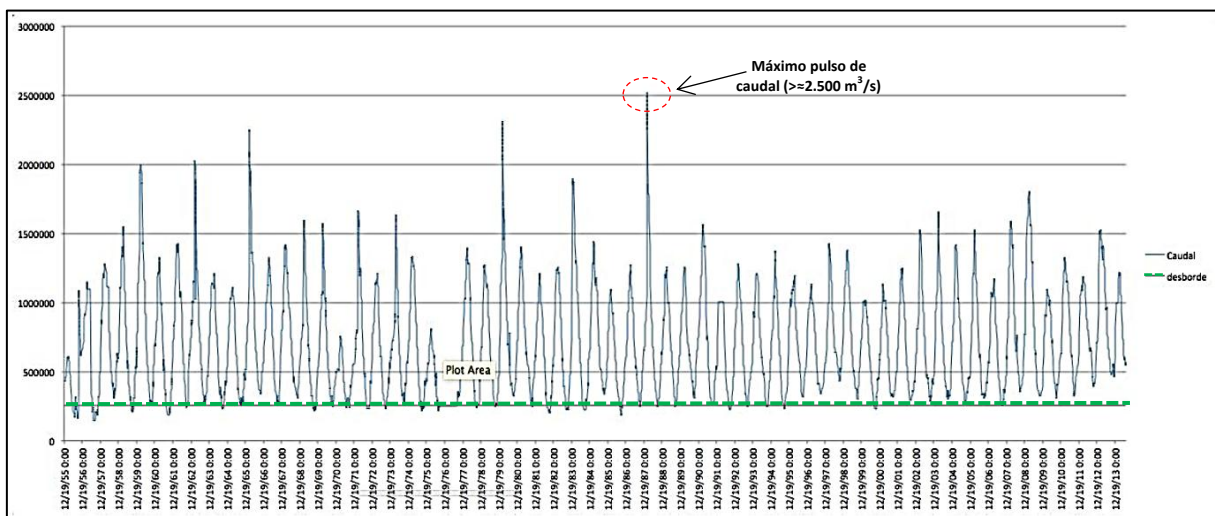


Figura 8.9. Régimen hidrológico del río Santa Cruz en Charles Fuhr (50° 15' 07.60"S - 71° 54' 28.100). Caudales expresados en lts/s. Período: 1955-2014. (Fuente: *Estudio de impacto ambiental aprovechamientos hidroeléctricos del río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), 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.

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 m³/s, siendo esto el 1,8% del módulo, magnitud que estaría indicando pérdidas en el tramo por percolación que no pueden ser compensadas por los aportes de los pequeños cursos del tramo intermedio.

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 km². Para el embalse JC, la cota de llenado será de 114 m IGN, la misma fue fijada como NAON y comprenderá un área de aproximadamente 199 km² de extensión.

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
- *Coefficiente 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 glacifluvial, cubiertas por los Basaltos fracturados (ver Figura 9.1 – gráfico A y B).

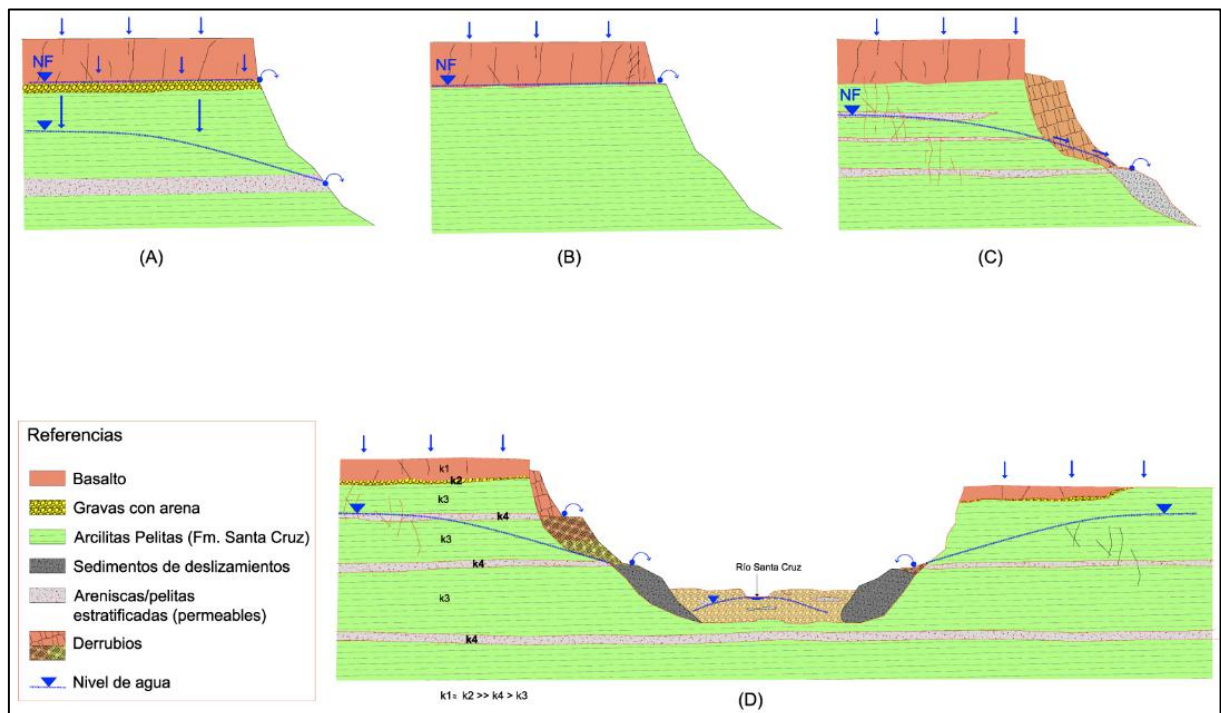


Figura 9.1. Esquema de sistema típico de acuíferos en el área de estudio.

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 sobrepuestos (basaltos y/u sedimentos cuaternarios).

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

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

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

Por ejemplo, debajo del contacto entre la base de las gravas/arenas y el techo de la Formación Santa Cruz (mayormente de textura arcillosa), se verifica la presencia de varios manantiales que indican la presencia de otros tantos niveles colgados muy locales y más profundos que la posición de la base de las gravas, los que están relacionados a la existencia de bloques que se han desplazado a favor de movimientos del tipo deslizamiento rotacional, creándose una segunda generación de niveles de agua colgados, (ver Figura 9.1 C).

9.2 Unidades hidrolíticas

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 canaliculos originados entre las partículas o sedimentos, comportándose el medio como un sistema poroso en el que el fluido transcurre entre los clastos y por ende, a esta permeabilidad se la denomina primaria.

Ya en la etapa de consolidación, una vez formadas las rocas, debido a posteriores fenómenos epigénicos tales como diaclasas, fallas, grietas o canales de disolución, se genera la denominada

permeabilidad secundaria, en virtud que se crea sobre un medio existente ya consolidado, de modo secundario.

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

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

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

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

En el cuadro 9.1 se sintetiza el comportamiento de las unidades geológicas e hidrogeológicas.

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

Cuadro 9.1. Litologías y comportamiento hidrogeológicos en el área de estudio.

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

Las coladas de basaltos (Pleistocena y Pliocena-Miocena) serían formadores de acuíferos de origen secundario, debido a la presencia de diaclasas y fracturas que permitirían el ingreso y

circulación del agua. En caso de no presentar fisuras o las mismas encontrarse rellenas, se comportarían como acuífugos.

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

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

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

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).

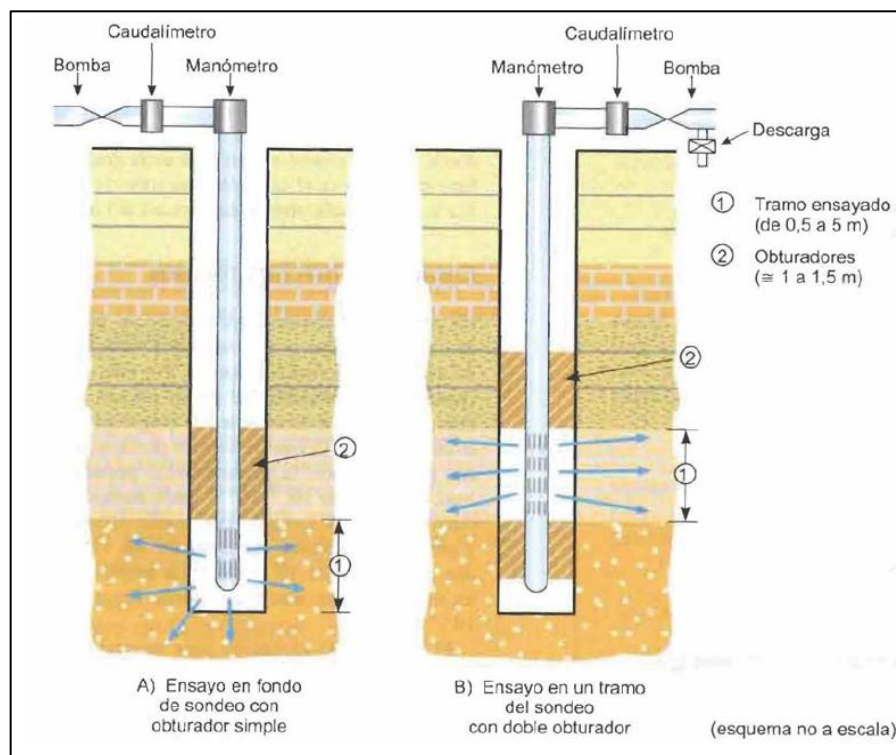


Figura 9.2. Esquema de ensayo de tipo Lugeon en un sondeo con uno o dos obturadores (González de Vallejo, et al., 2002, modif.).

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.

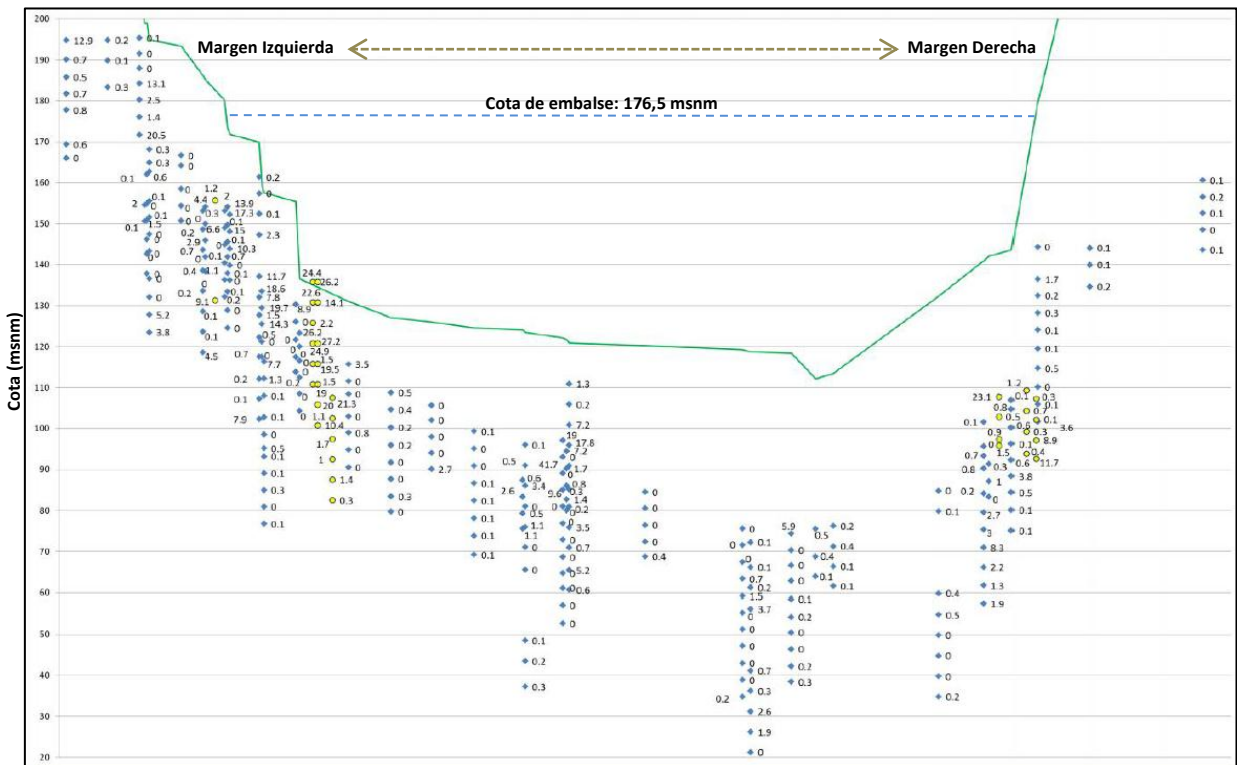


Figura 9.3. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon ejecutados en el sector de cierre de la futura presa NK.

En la Figura 9.4 se muestra el mismo croquis pero se representan únicamente los ensayos que arrojaron valores mayores a 5 UL ($K \approx 0,04$ 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.

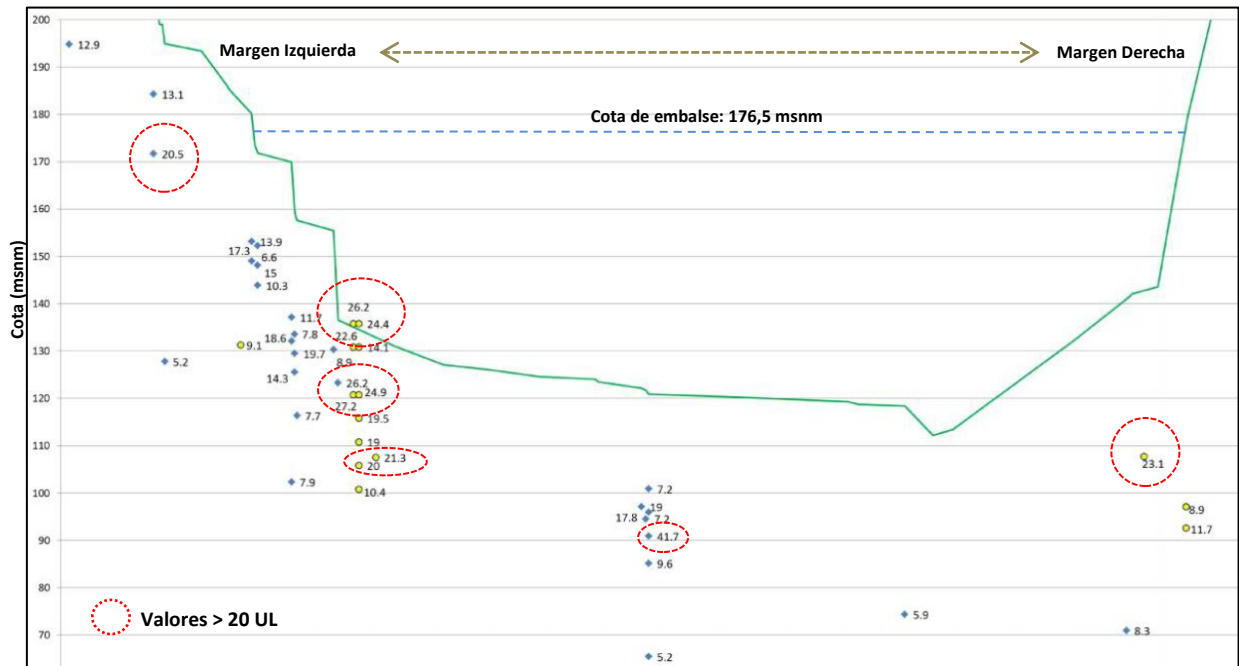


Figura 9.4. Croquis de ubicación de ensayos Lugeon en eje NK, cuyos valores son mayores a 5 UL.

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 izquierda a margen derecha, 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.

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, recurriéndose en esta oportunidad a la comparación con otras áreas cercanas de similares características geológicas e hidrogeológicas, debido a la insuficiente información hidrogeológica de los acuíferos existentes (falta de pozos hidrogeológicos, exigüos 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 litologías del subálveo.

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



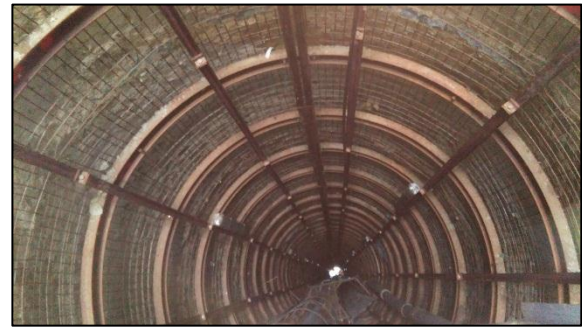
Fotografía 9.2. Medición de profundidad del nivel de agua en Molinos de Estancias.



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



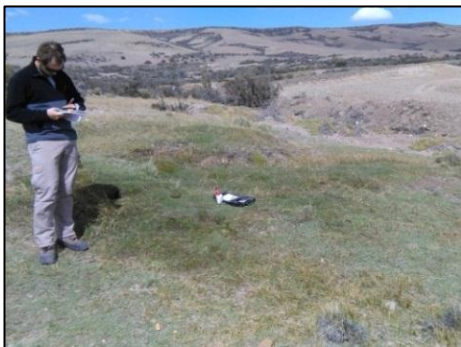
Fotografía 9.4. Relevamiento de pozos de geotécnicos con agua en margen izquierda de JC.



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

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

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

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

➤ Área NK

En el Cuadro 9.3 se presentan los resultados de los parámetros in situ correspondientes al pH, CE y Tº de agua de pozos relevados por Hidroar S.A., donde se aprecia que casi la totalidad de los mismos se hallaban derrumbados o cegados y únicamente se pudieron obtener tres valores representativos, entre los cuales se halla el pique NK ubicado sobre la margen izquierda en el sector del cierre.

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

Cuadro 9.3. Pozos relevados por Hidroar S.A. sector NK.

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

➤ Área JC

Los puntos identificados en el Cuadro 9.4 como Nº 94a, 104, 104bis, 105, 105bis presentan elevada CE y pH atribuible a restos de fluidos (aditivos) de perforación que elevan estos parámetros.

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

Cuadro 9.4. Pozos relevados por Hidroar S.A. sector JC.

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

9.5.2 Mallines/vertientes

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

➤ **Área NK**

En el Cuadro 9.5, se exponen los manantiales relevados, presentando valores medios del agua con CE baja (0,44 mS/cm), pH medio levemente alcalino (8,1) y Tª media igual a 12,7 °C.

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

Cuadro 9.5. Mallines/vertientes relevados por Hidroar S.A. sector NK.

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

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

➤ Área JC

En el cuadro 9.6, se expone los mallines/vertientes relevados, donde el agua presenta CE media baja (0,69 mS/cm), pH medio levemente alcalino (8,4) y T° media igual a 16,0 °C.

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

Cuadro 9.6. Mallines/vertientes relevados por Hidroar S.A. sector JC.

Al igual que para el sector NK, en el área de JC tanto la CE y pH presentan contrastes entre los valores mínimos y máximos, exhibiendo los máximos de CE en el punto identificado en el Mapa como 66 (1,04 mS/cm) y los mayores valores de pH se registraron en el punto Nº 75 aledaño a la Ea. La Barrancosa (ver Mapa 3 y 4). En cuanto a los valores mínimos de CE (0,390 mS/cm), se hallaron en el sitio denominado en el Mapa como Nº 111 en la naciente de un mallín situado en la margen derecha del río Santa Cruz. El pH más bajo de muestreó en los puntos Nº 58, 59, 64 y 71, con valores igual a 7,9.

9.5.3 Cursos de agua superficial (río, lagos)

➤ **Área NK**

En el Cuadro 9.7 se presentan los resultados de los parámetros in situ correspondientes a cursos de agua superficial, donde el agua presenta CE media baja (0,81 mS/cm), pH levemente alcalino (8,0) y Tº media igual a 10,9 ºC.

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

Cuadro 9.7. Cursos superficiales relevados por Hidroar S.A. sector NK.

En cuanto a las mediciones de CE, el valor máximo de CE se registró en el punto identificado en el Mapa como Nº 2 (1,134 mS/cm) posiblemente a la escasa velocidad de circulación del agua en el cañadón El Mosquito y presencia de sedimentos en suspensión. En cuanto a los valores mínimos de CE (0,50 mS/cm), se hallaron en el sitio denominado en el Mapa como Nº 5 correspondiente al río Santa Cruz, ver Mapa 4. Respecto al pH, también se aprecian diferencias entre los valores máximos y mínimos, ver Mapa 3.

➤ **Área JC**

En el Cuadro 9.8 se exhiben los resultados de los parámetros in situ correspondientes a cursos de agua superficial, donde el agua muestreada, presenta valores medios de CE bajos (0,08 mS/cm), pH alcalino (8,4) y Tº media igual a 13,7 °C.

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

Cuadro 9.8. Cursos superficiales relevados por Hidroar S.A. en sector JC.

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

A modo de síntesis, en el Cuadro 9.9 se muestra un resumen de los valores medios de los parámetros in situ medidos (CE, pH y Tº) correspondientes a 1) pozos existentes, 2) mallines/vertientes y 3) cursos de agua superficiales (río, lagos).

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

Cuadro 9.9. Resumen de valores medios de parámetros in situ medidos (CE, pH y Tº).

Como se aprecia en el cuadro 9.9, se puede establecer una relación en cuanto a la CE y pH entre el agua superficial y subterránea, debido a que ambas presentan bajos valores medios de CE (<1 mS/cm), y los valores medios de pH son levemente alcalinos. Se debe contemplar que para comparar la relación entre aguas superficiales y subterráneas se deberá abordar a un estudio hidroquímico de mayor envergadura, que contenga mínimamente el análisis de diferentes sitios de muestreo de los cationes y aniones mayoritarios.

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 xerófito. Estas especies están preparadas para obtener únicamente agua para subsistencia, sin generar evapotranspiración real, ya que su adaptación especializada hizo que carezcan de estomas y presenten adaptaciones especiales como lo son las espinas, cutículas, succulencias, flores efímeras, etc, minimizando toda posibilidad de evapotranspiración. El agua infiltrada de las precipitaciones es en parte absorbida por las plantas aunque en su mínima expresión, pasando el resto al dominio de las aguas subterráneas.

b) Infiltración rápida: Este proceso es habitual ante la presencia de suelos generalmente de alta permeabilidad (Ej. rodados patagónicos o rocas con alta fracturación), la baja o nula retención de los suelos, y la superficie freática profunda (Hernández et al. 2002).

c) Concentración rápida: Las zonas elevadas existentes en la zona del proyecto, permiten un rápido escurrimiento, favorecidos por el tipo de litología rocosa (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 coalescente y complementaria, potenciándose así la posibilidad de la recarga a tal punto que permite el desarrollo de áreas con diversos objetivos sean ellos ganaderos, mineros, agropecuarios, poblacionales u otros. Para el caso del proyecto de las 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 xerófila, 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 hídrica sobre la margen izquierda del río Santa Cruz comprendida entre el futuro cierre de NK y la Ea. Bi Aike (situada al Oeste del cierre), ver Figura 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 \approx a 17.500 m³/día ó 730 m³/h.

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

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

Ejemplo de lo mencionado en el párrafo anterior, se evidenció durante el aforo del sitio denominado en el Mapa 2a como 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.

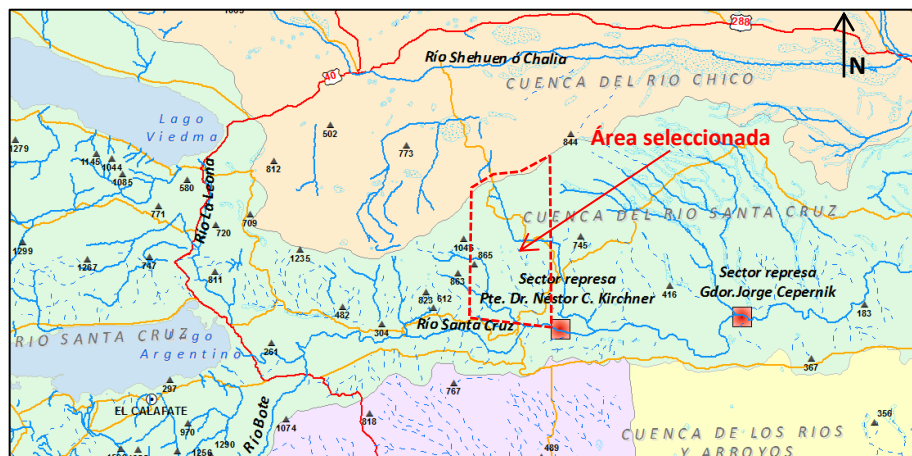


Figura 11.1. Área de la cuenca del río Santa Cruz comprendida entre el futuro cierre de NK y la Ea. Bi Aike.

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 HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL PRELIMINAR (MHCP)

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

La zona de **circulación** estaría vinculada desde la zona de recarga al oeste del área de estudio hacia el este de la cuenca del río Santa Cruz, a través de las diferentes litologías (gravas, arenas y limos) que conforman geformas tales como pedimentos, bajadas, terrazas y valles fluviales. En la cuenca del río Santa Cruz el movimiento del agua superficial es en dirección oeste-este y se estima que la dirección de flujo del agua subterránea presente en el **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 (Tº), 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 pié 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 pié 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 ocasionará 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 perilago, en coincidencia con la cota de inundación (cambio de nivel de base del acuífero).

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

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

Los dos embalses con una superficie total del orden de 440 Km^2 , estarán sometidos a altas pérdidas por evaporación (equivalentes a $14 \text{ m}^3/\text{seg}$), e infiltración al subsuelo (difícil de cuantificar), las que deberán contemplarse en los balances y la operación de las 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 acuífero.

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.

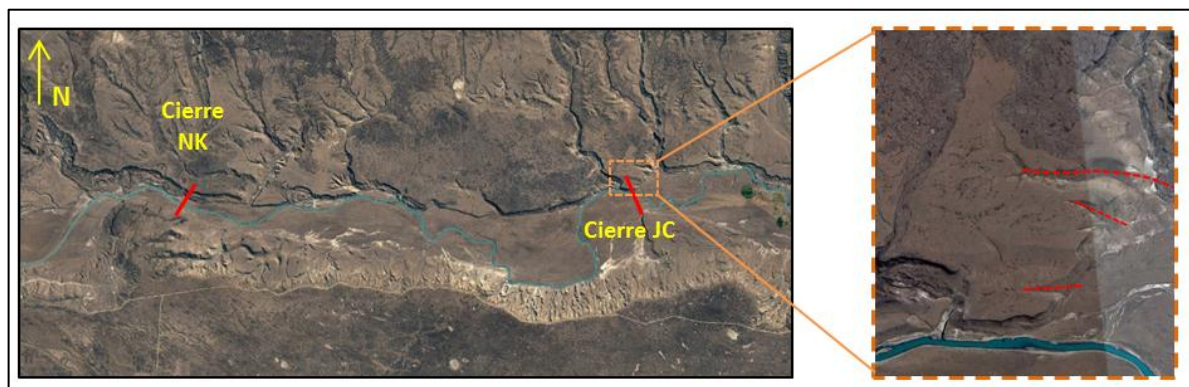


Figura 13.1. Zona a estudiar con mayor detalle en zona izquierda del eje de JC, (líneas punteadas color rojo).

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 embales. 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 subcúea. 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 perilago 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 perilago), originando amplias superficies de terreno que quedan al descubierto durante algunos meses (dependiendo de las condiciones hídricas y/o de operación de la represas), 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

- ✚ Según los datos de la estación Lago Argentino-Calafate (1993 – 2016), la precipitación anual media es de 154,8 mm, valor similar a los obtenidos de la estación Charles Fuhr (142 mm/año) para el período 1955 - 2014.
- ✚ Los promedios mensuales de la velocidad del viento se encuentran entre los 6 km/h en el mes de Agosto y los 13 km/h en enero, siendo la velocidad anual media del viento de 9,3 km/h.
- ✚ 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 glacial, 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 glacial, serían formadores de acuitardos y acuíferos pobres debido a la presencia de granulometría fina que presentan en la matriz (arcillas y limos).
- ✚ Las coladas de basaltos (Pleistocena y Pliocena-Miocena) serían formadores de acuíferos de origen secundario, debido a la presencia de diaclasas y fracturas que permitirían el ingreso y circulación del agua. En caso de no presentar fisuras o las mismas encontrarse rellenas, se comportarían como acuífugos.

- ✚ Los depósitos correspondientes a la época Pliocena-Miocena superior, formarían acuíferos primarios y en el caso de las morenas Pampa Alta posibles acuitardos.
- ✚ La Fm. Santa Cruz y 25 de Mayo correspondiente al período Terciario, se comporta mayormente como acuitardos (cederían agua con cierta dificultad) o Acuícludos (en caso de encontrarse la fracción arcillosa compactada por acción glacial). 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 subálveo. Las litologías Pliocenas – Miocenas formarían el sistema hidrogeológico denominado acuíferos de meseta, y las litología del período terciario (Fm. Santa Cruz y 25 de Mayo) se comportarían generalmente como hidroapoyo, debido a su baja permeabilidad.
- ✚ En base a los ensayos Lugeon antecedentes, las mayores permeabilidades se observan en el 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 las 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 los largo de la sección del valle.
- ✚ En el ámbito de estudio se distinguen dos tipos de flujos subterráneos, el que transcurre en el medio poroso (Ej: gravas, arenas) y el que corresponde al medio de fisuras (Ej: basaltos y menos significativo pero no menos importante en el caso de las Fm Terciarias).
- ✚ Según lo apreciado en campo, tanto el grado de interconexión como la densidad en la fracturación poseen importantes variaciones en sentido vertical y horizontal, hecho reflejado por la disparidad entre los caudales y niveles hidráulicos observados de vertientes y mallines.
- ✚ Las limitaciones ante la ausencia de pozos de monitoreo, no permiten establecer las características detalladas del movimiento del flujo subterráneo, recurriéndose en esta oportunidad a la extrapolación con otras áreas cercanas de similares características geológicas e hidrogeológicas.
- ✚ Para el acuífero de subálveo se asume un sentido de flujo Oeste – Este subparalelo al río Santa Cruz, coincidiendo con la topografía general de la zona de estudio. La descarga ocurre en sectores bajos dentro de la llanura aluvial (evaporación) o finalmente aguas abajo en el mar.
- ✚ Para el acuífero de terrazas la componente sería de Norte a Sur para la margen izquierda y Sur Norte para la margen derecha del río santa Cruz. La descarga se produce en las bardas a partir de mallines o manantiales (utilizados en muchos casos como fuente de agua de estancias), o subterráneamente hacia acuíferos profundos (Terciarios).
- ✚ En general la calidad del agua subterránea dulce y alcalina. Para el sector NK, los parámetros in situ (pH, CE y 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 subálveo), es aportado por el comportamiento influente del río Santa Cruz y demás cursos menores, los cuales son principalmente abastecidos del agua que proviene de los hielos patagónicos y en menor medida de las precipitaciones.
- ✚ La recarga en los acuíferos de terraza se genera por procesos de infiltración a partir de agua de deshielo y precipitaciones, principalmente en zonas donde las rocas aflorantes se encuentran fracturadas (basaltos) y en zonas de sedimentos con textura gruesa (grava-arena).
- ✚ La zona de descarga de agua superficial se efectúa hacia el este de la cuenca, hasta desembocar en el océano atlántico y se estima que regionalmente el agua subterránea presenta el mismo comportamiento.

- ✚ Existen a lo largo del perfil longitudinal del río Santa Cruz intercalaciones de sedimentos con grava-arena-limo-arcilla, donde las arcillitas/pelitas y/o areniscas de la Fm Santa Cruz y/o 25 de Mayo actuarían como acuitardos o hidroapoyo de los sistemas más superficiales.
- ✚ En profundidad esta unidad terciaria genera niveles inferiores de acuíferos semiconfinados / confinados, tanto en el subálveo del río, como en sectores de terrazas. Este comportamiento es de tipo preliminar y se deberán realizar mayores estudios específicos para comprender la dinámica del modelo hidrogeológico conceptual.
- ✚ El ascenso de los niveles de agua en el área de ambos embalse “perilago” inundará la mayoría de los de subálveo, quedando estos por debajo del propio espejo de agua, o bien acotados a sectores muy reducidos.
- ✚ Para los acuíferos de meseta y los manantiales asociados a ellos, no es de esperarse que sufran modificaciones. Esta conclusión surge ante la diferencias de cotas que existen entre la cota de inundación prevista para la 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 acuífero.
- ✚ 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 embales. 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 subácuea. Las

descargas de acuíferos libres, alcanzarán una nueva condición de equilibrio, en coincidencia con el nivel del embalse.

- ✚ No es de esperarse modificaciones en la calidad química de las aguas subterráneas de los actuales manantiales, vertientes o mallines asociados a los acuíferos de terraza, ya que los mismos no están influenciados por las 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 las represas NK y JC y posteriormente se deberá continuar con un muestreo periódico.
- ✚ El impacto de las represas está ligado a la creación de un embalse y a la modificación del régimen hídrico del río, por lo cual se debe enfatizar estudios específicos sobre el control de fluctuaciones del nivel del agua del acuífero libre en las inmediaciones de ambos márgenes y lejanías de ambos embalses (aguas arriba y abajo de las 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>.



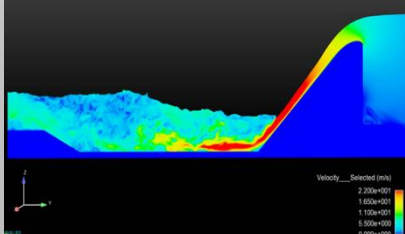
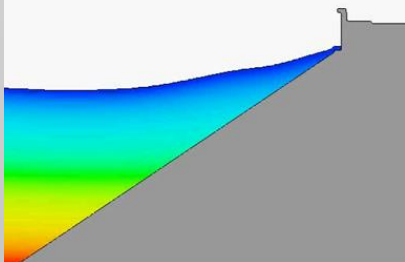
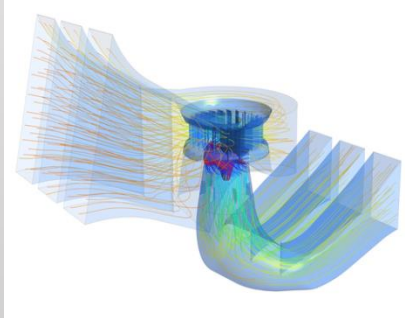
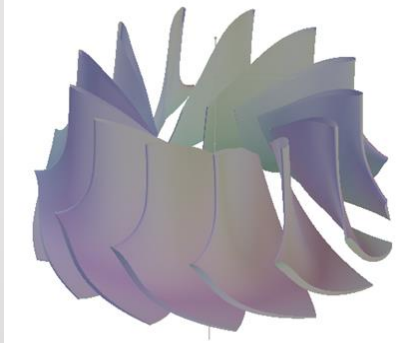
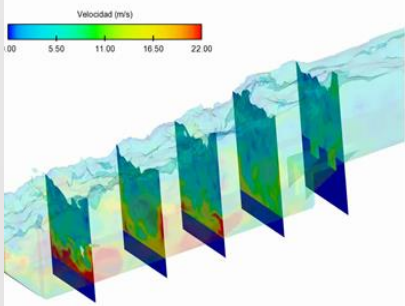
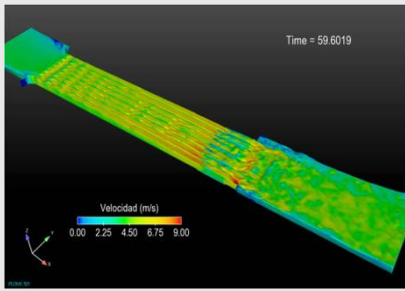
INSPECCIÓN
Aprovechamiento Hidroeléctrico
Del Río Santa Cruz
Presas N. Kirchner-J. Cepernic



Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ingeniería
Departamento de Hidráulica



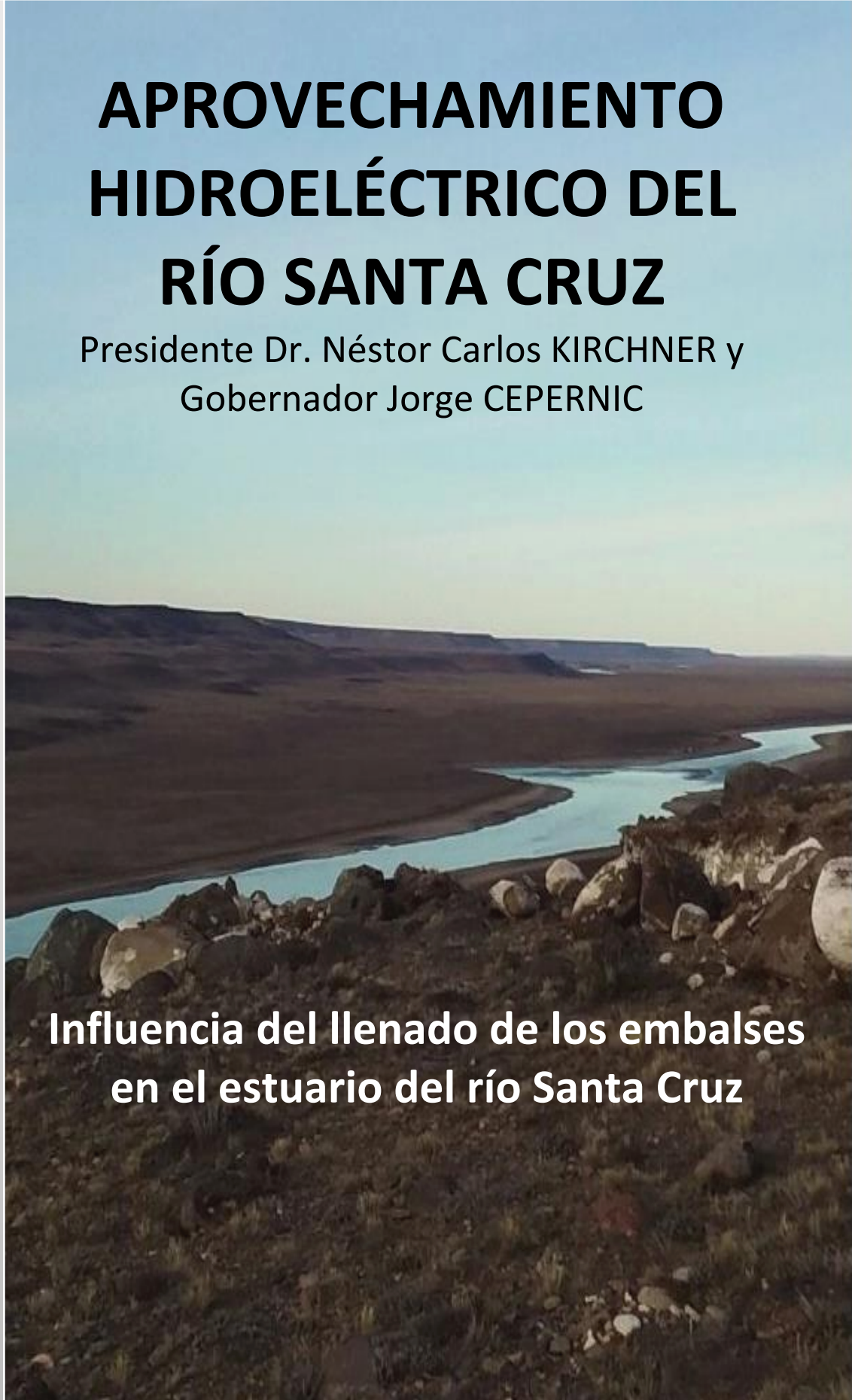
Ministerio de Energía y Minería
Secretaría de Energía Eléctrica
Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica
Presidencia de la Nación



APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DEL RÍO SANTA CRUZ

Presidente Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y
Gobernador Jorge CEPERNIC

**Influencia del llenado de los embalses
en el estuario del río Santa Cruz**





MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Obra: “APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ PRESIDENTE DR. NESTOR CARLOS KIRCHNER Y GOBERNADOR JORGE CÉPERNIC”.-

Expte: S01:0146922/2012

Influencia del llenado de los embalses en el estuario del río Santa Cruz
Abril 2017



INSPECCIÓN

Aprovechamiento Hidroeléctrico
del Río Santa Cruz
Presas N. Kirchner-J. Cepernic

Universidad Nacional de La Plata



Dirección:

Ing. Sergio O. Liscia

Autores:

Ings.

Mariano de Dios

Federico Zabaleta

Paula Consoli

Abril 2017



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
2	OBJETIVOS	4
3	CONFIGURACIÓN DEL MODELO	4
4	RESULTADOS.....	5
1.1.	Niveles	5
1.2.	Salinidad	9
1.3.	Efectos de la marea en la IADS	12
1.4.	Comportamiento natural del estuario.....	14
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	16



INFLUENCIA DEL LLENADO DE LOS EMBALSES EN EL ESTUARIO DEL RÍO SANTA CRUZ

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene su origen en el contrato realizado entre la Universidad Nacional de La Plata y el Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina, para la Inspección del Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz, Presas N. Kirchner (NK) y J. Cepernic (JC). El mismo fue realizado en el Laboratorio de Hidromecánica del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería.

En el proyecto de las presas, es necesario analizar los impactos que tendrán en su entorno, y particularmente en el río Santa Cruz. En este estudio se analizó el impacto de las variables hidráulicas de la construcción y puesta en funcionamiento las presas NK y JC en el estuario del río Santa Cruz y la interfase Río Santa Cruz, Río Chico y el estuario. Particularmente, en este informe se presentan los resultados de las modelaciones del mes de julio, época del año en la que el Macá Tobiano reside en el estuario.

2 OBJETIVOS

Para entender la problemática a estudiar, se simularan dos escenarios, siendo el escenario base el estado natural del Río Santa Cruz y el escenario modificado el que se realiza con la operación de las obras implantadas en el Río Santa Cruz, principalmente la represa J. Cepernic y en el momento de su llenado.

El objetivo de este trabajo es analizar la influencia de una reducción, temporal y parcial, de caudal en el Río Santa Cruz (producto del llenado del embalse de JC), en el comportamiento hidrodinámico del estuario del Río Santa Cruz. Se analizará la variación de los niveles, zonas de secado y mojado, y salinidad.

3 CONFIGURACIÓN DEL MODELO

Para evaluar los escenarios con y sin obras, se realizarán simulaciones del comportamiento hidrodinámico con un software de la especialidad, cuyo nombre es Delft3D, desarrollado por la DELTARES Holanda, que representen adecuadamente dichas situaciones. Las mismas simularán desde el 01/07/2016 hasta el 31/07/2016.

Las forzantes fluviales del modelo son los caudales del río Santa Cruz y del Río Chico, mientras que las forzantes oceánicas son las variaciones del nivel del agua producto de las mareas. El caudal del Río Chico y los niveles de las mareas son idénticos para ambos escenarios. El llenado del embalse de JC implicará, temporalmente, una reducción en el caudal natural del Río Santa Cruz durante el mes de julio, la diferencia entre ambos escenarios radicaré en una disminución del mismo. Se asumirá para julio un caudal medio de $550 \text{ m}^3/\text{s}$, y para el llenado un caudal extremo de $200 \text{ m}^3/\text{s}$, con el fin de analizar la respuesta del estuario ante una situación extrema. Si bien los caudales naturales y los de llenado varían a lo largo del mes de julio, su variación es prácticamente insignificante ante la variación de las mareas. Por este motivo, se optó por simularlos como constantes durante todo el mes.

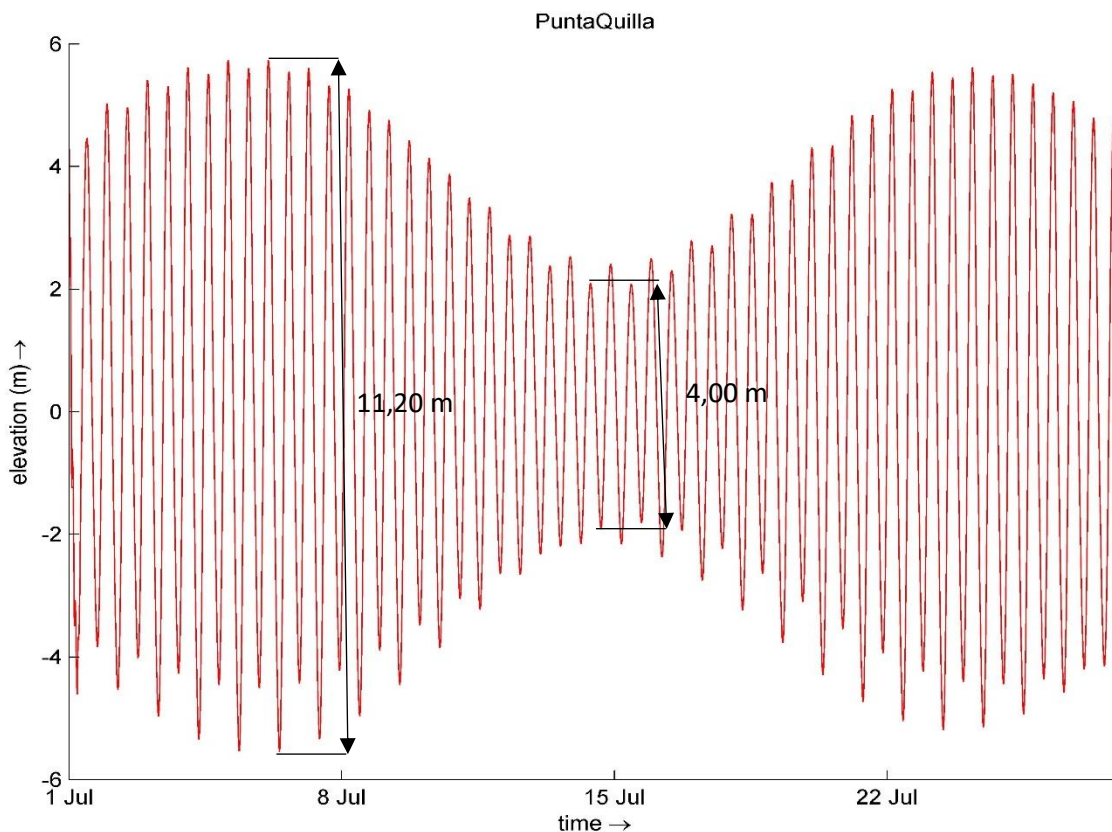


Figura 3.1: Variación de niveles en Punta Quilla para el mes de Julio del 2016

4 RESULTADOS

Durante julio de 2016, las mareas tienen amplitudes que varían desde 4,00 m hasta 11,20 m (Figura 3.1). En este análisis será de interés estudiar las mareas máximas y mínimas. Esto se justifica en el hecho que mareas intermedias darán como resultado condiciones en el estuario que se ubican entre las de generadas por las mareas extremas.

1.1. Niveles

En las Figura 4.1 a las Figura 4.8 se pueden ver los niveles de la superficie libre del agua respecto al nivel medio del mar. Fueron representados los niveles en pleamar y bajamar para las mareas extremas del mes de Julio del 2016 (es decir, 11.20 m y 4.00 m de amplitud). Dado que las mareas extremas generan situaciones de niveles y salinidad máximos y mínimos en el estuario, el análisis de estos puntos permite entender al estuario en sus condiciones límites. Por otro lado, los efectos de mareas de amplitudes intermedias en el estuario serán intermedios entre los generados en mareas extremas.

En todas las situaciones representadas no se detectan modificaciones apreciables en los niveles, ni en las zonas de mojado y secado. Esto significa que una reducción de caudal del río Santa Cruz no implicaría que zonas que antes se inundaban queden secas, o viceversa. Además, garantiza que se respeten los ciclos de mojado y secado naturales en las playas.



Estos resultados son producto de la gran influencia que tienen las mareas en los niveles del estuario, en comparación con la influencia que ejercen los ríos. La amplitud media de las mareas en esta zona es de 8.00 m, mientras que las variaciones de nivel por variaciones de caudal suelen ser del orden de centímetros. Es por este motivo que es de esperar que una variación de caudal no genere impactos en los niveles del estuario.

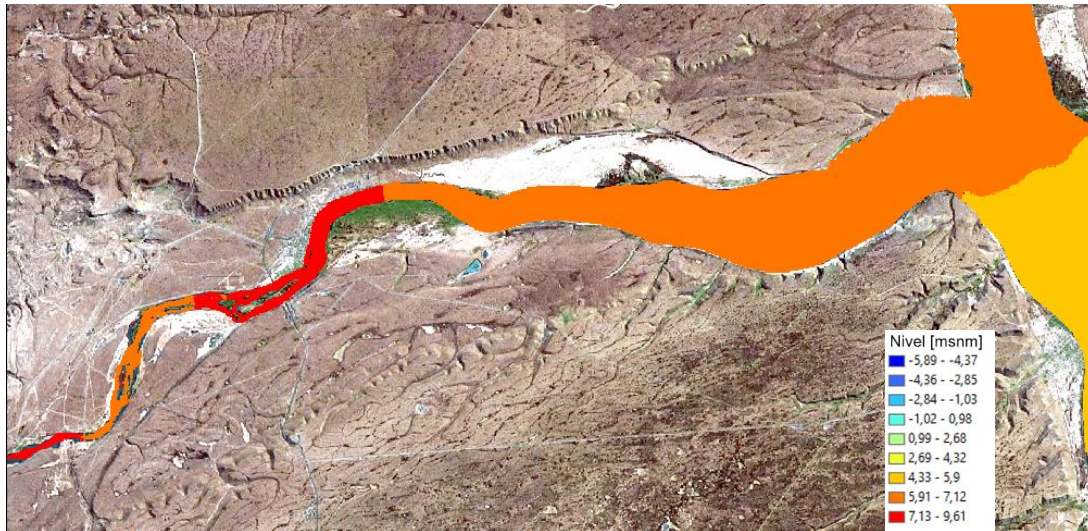


Figura 4.1: Nivel de la superficie libre en pleamar para escenario de $Q_{sc}=550\text{m}^3/\text{s}$ y $\Delta H=11,20\text{ m}$.



Figura 4.2: Nivel de la superficie libre en pleamar para escenario de $Q_{sc}=200\text{m}^3/\text{s}$ y $\Delta H=11,20\text{ m}$.

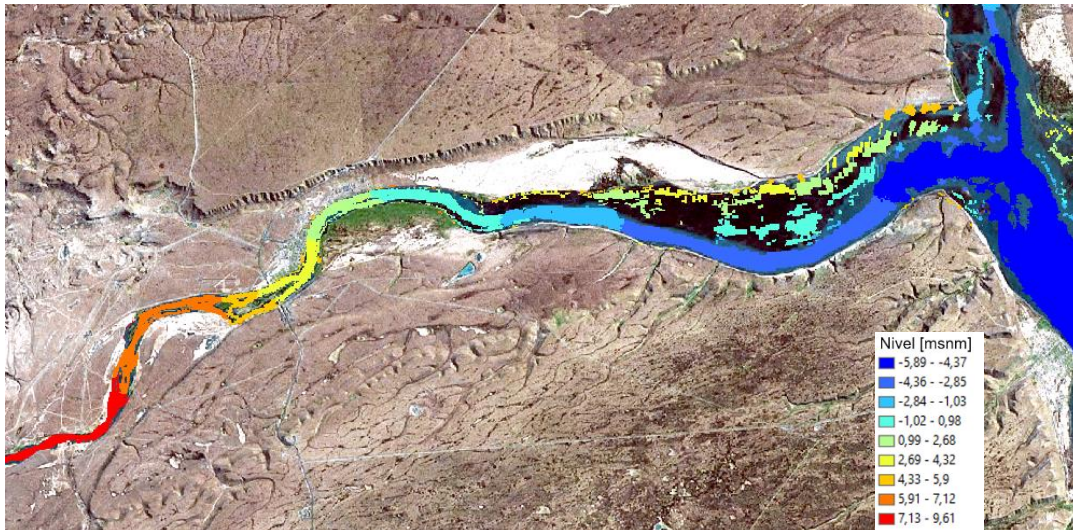


Figura 4.3: Nivel de la superficie libre en bajamar para escenario de $Q_{sc}=550m^3/s$ y $\Delta H=11,20$ m.

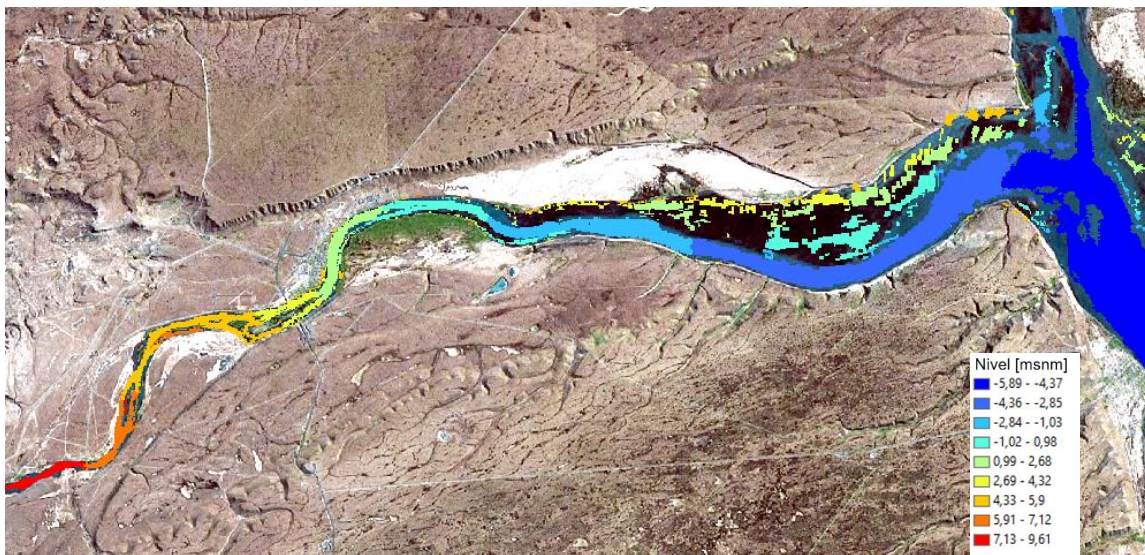


Figura 4.4: Nivel de la superficie libre en bajamar para escenario de $Q_{sc}=200m^3/s$ y $\Delta H=11,20$ m.

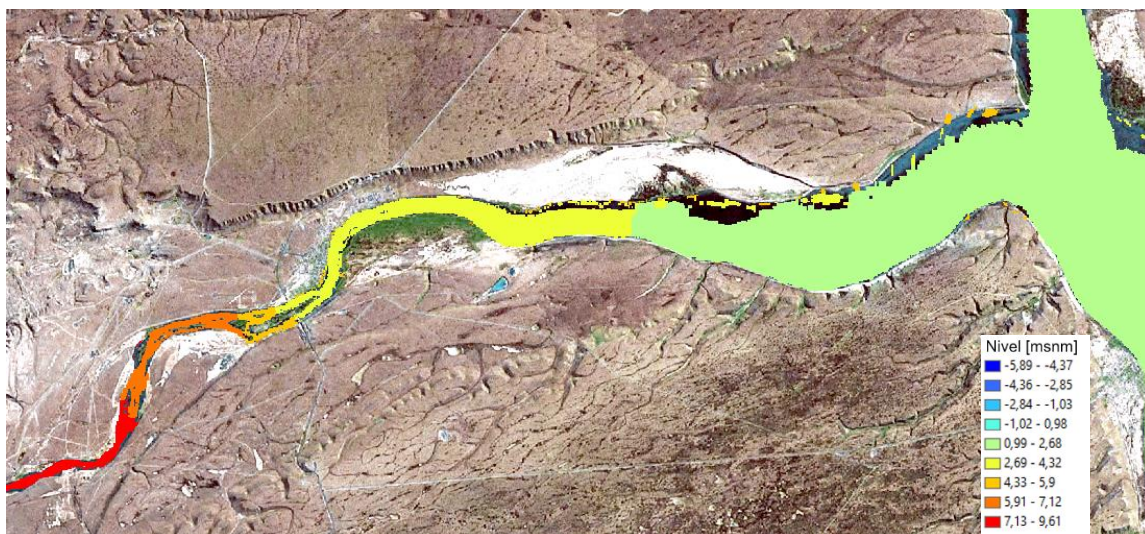


Figura 4.5: Nivel de la superficie libre en pleamar para escenario de $Q_{sc}=550m^3/s$ y $\Delta H=4,00$ m.

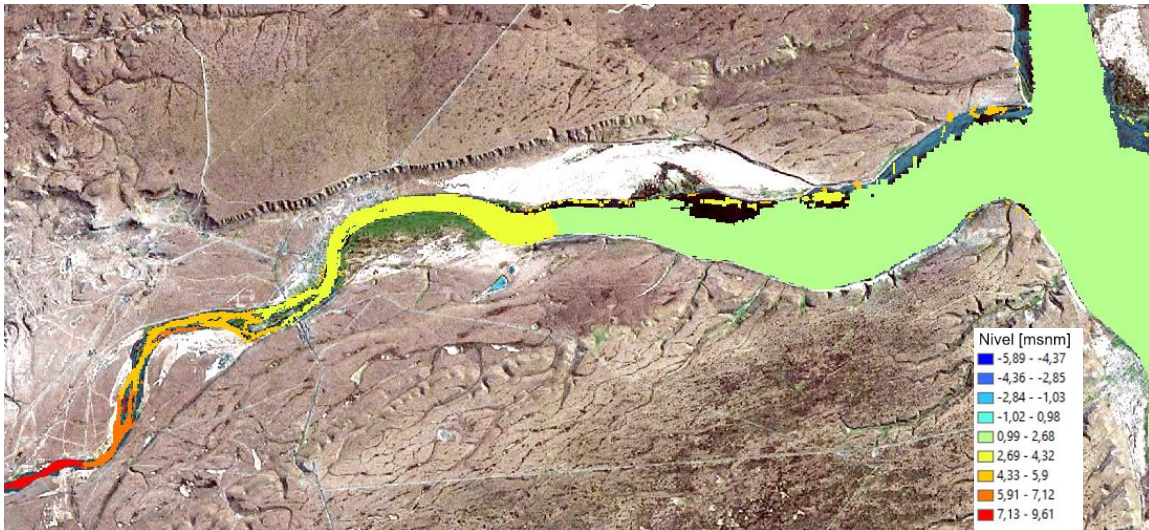


Figura 4.6: Nivel de la superficie libre en pleamar para escenario de $Q_{SC}=200m^3/s$ y $\Delta H=4,00$ m.

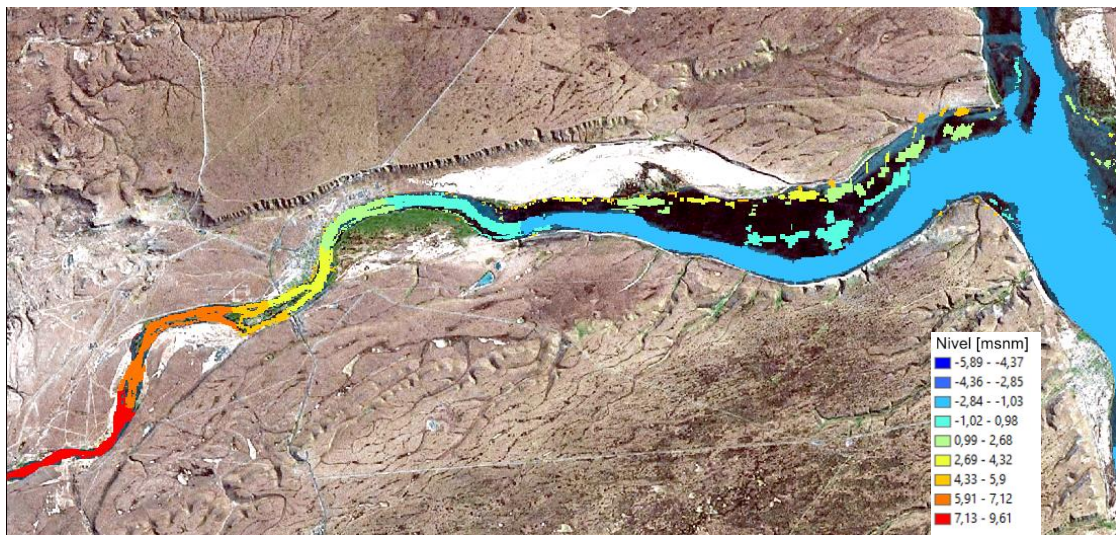


Figura 4.7: Nivel de la superficie libre en bajamar para escenario de $Q_{SC}=550m^3/s$ y $\Delta H=4,00$ m.



Figura 4.8: Nivel de la superficie libre en bajamar para escenario de $Q_{SC}=200m^3/s$ y $\Delta H=4,00$ m.



1.2. Salinidad

En las Figura 4.9 a la Figura 4.16 se pueden ver los niveles de la superficie libre del agua respecto al nivel medio del mar. Fueron representados los niveles en pleamar y bajamar para las mareas extremas del mes de julio del 2016 (es decir, 11.20 m y 4.00 m de amplitud). Durante las pleamares, la Interfaz entre Agua Dulce y Salada (IADS) sube hacia aguas arriba del río Santa Cruz, mientras que durante bajamar la misma baja hasta alcanzar zonas cercanas a la confluencia de los ríos Santa Cruz y Chico. Los escenarios de mareas máximas representan las posiciones extremas de la IADS, mientras que mareas de amplitud intermedia generan posiciones de la IADS que se ubican entre las extremas.

Para todos los casos representados, se puede apreciar que una reducción de caudal hace que la IADS se desplace aguas arriba del río Santa Cruz. Este desplazamiento será de longitud variable en función de las mareas. Este resultado se condice con la física del problema, ya que al reducir el caudal del río Santa Cruz se reduce la fuente de agua dulce, y por ende el agua salada proveniente del océano tiene más capacidad de entrar en el estuario.



Figura 4.9: Salinidad en pleamar para escenario de $Q_{SC}=550m^3/s$ y $\Delta H=11,20$ m.



Figura 4.10: Salinidad en pleamar para escenario de $Q_{SC}=200m^3/s$ y $\Delta H=11,20$ m.

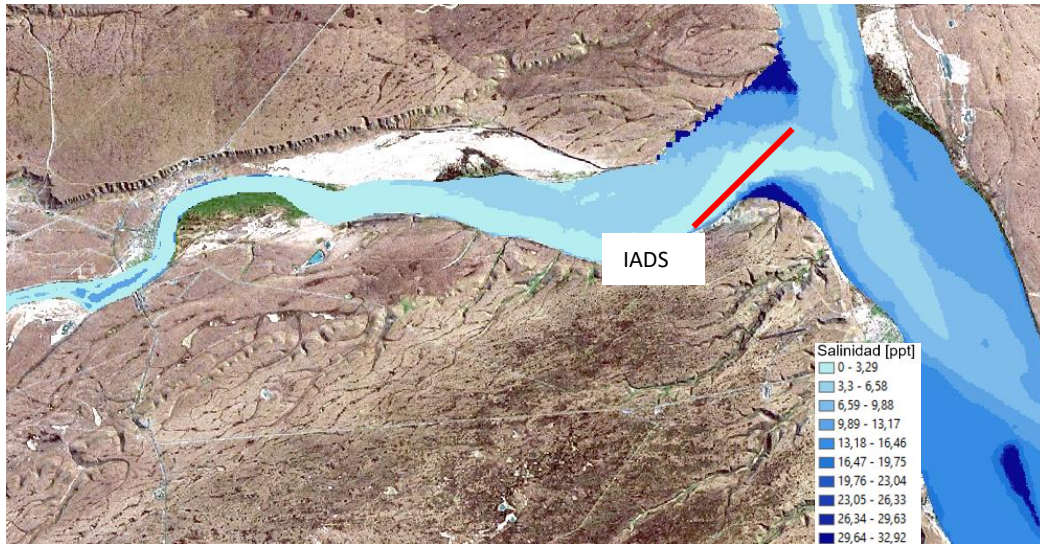


Figura 4.11: Salinidad en bajamar para escenario de $Q_{SC}=550m^3/s$ y $\Delta H=11,20 m$.



Figura 4.12: Salinidad en bajamar para escenario de $Q_{SC}=200m^3/s$ y $\Delta H=11,20 m$.

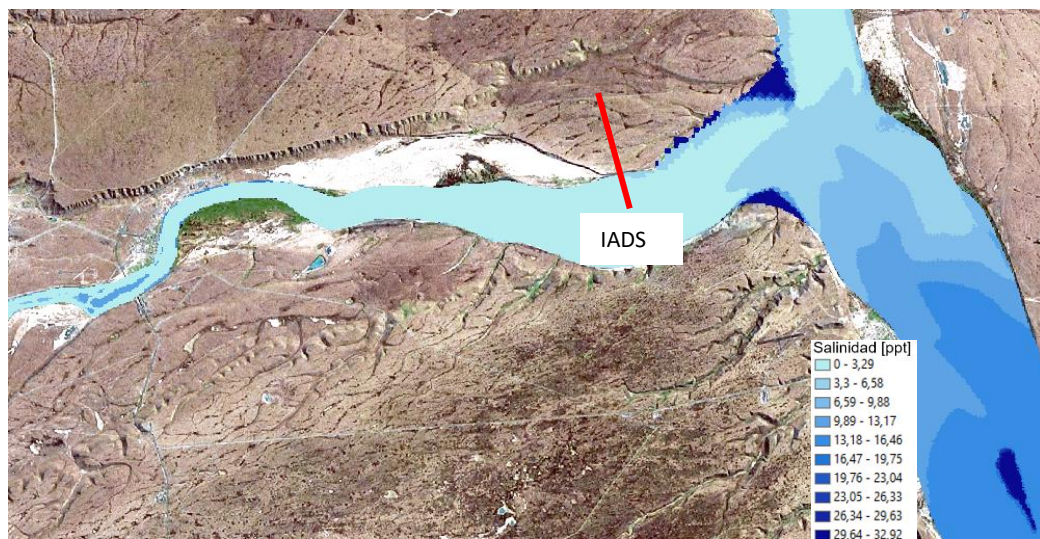


Figura 4.13: Salinidad en pleamar para escenario de $Q_{SC}=550m^3/s$ y $\Delta H=4,00 m$.

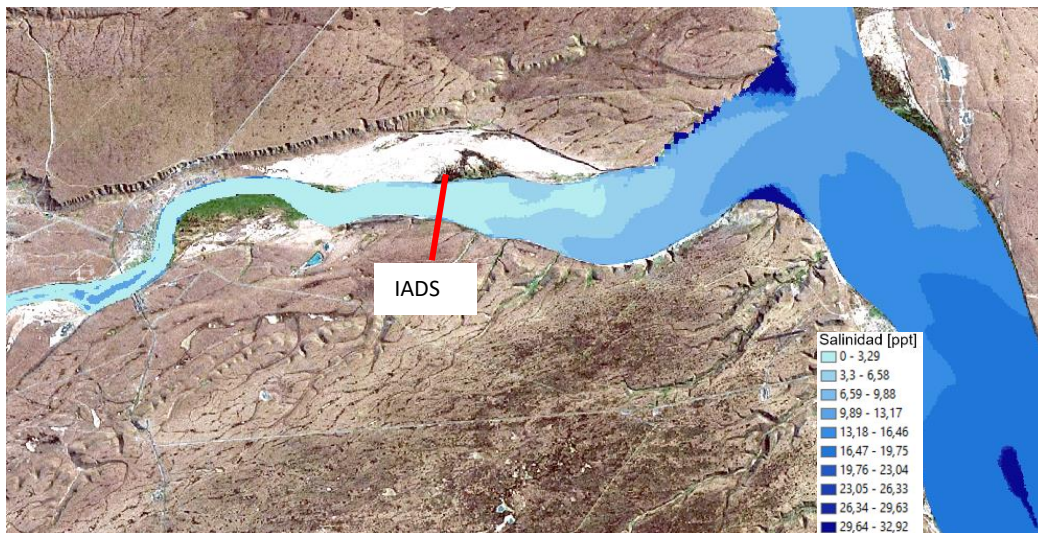


Figura 4.14: Salinidad en pleamar para escenario de $Q_{SC}=200m^3/s$ y $\Delta H=4,00$ m.

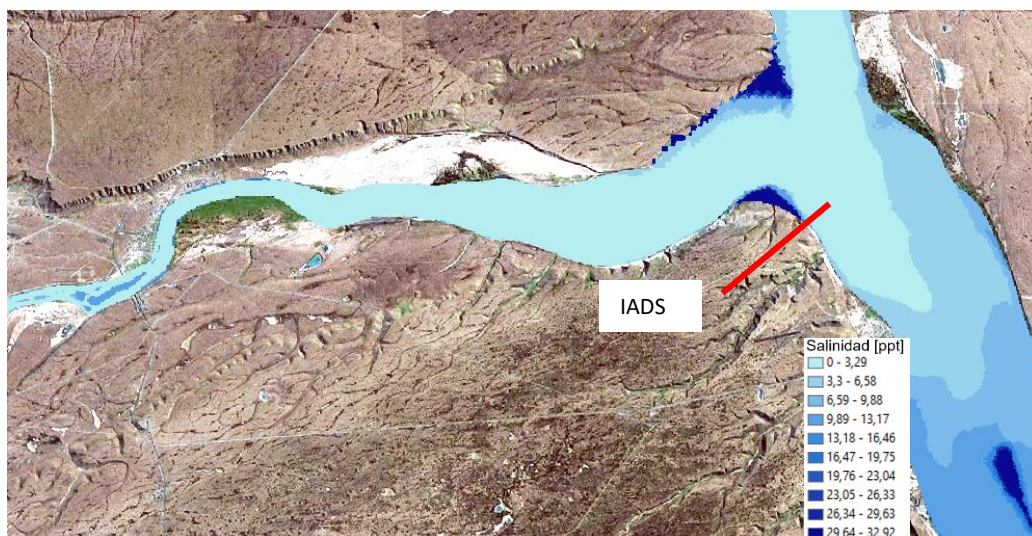


Figura 4.15: Salinidad en bajamar para escenario de $Q_{SC}=550m^3/s$ y $\Delta H=4,00$ m.

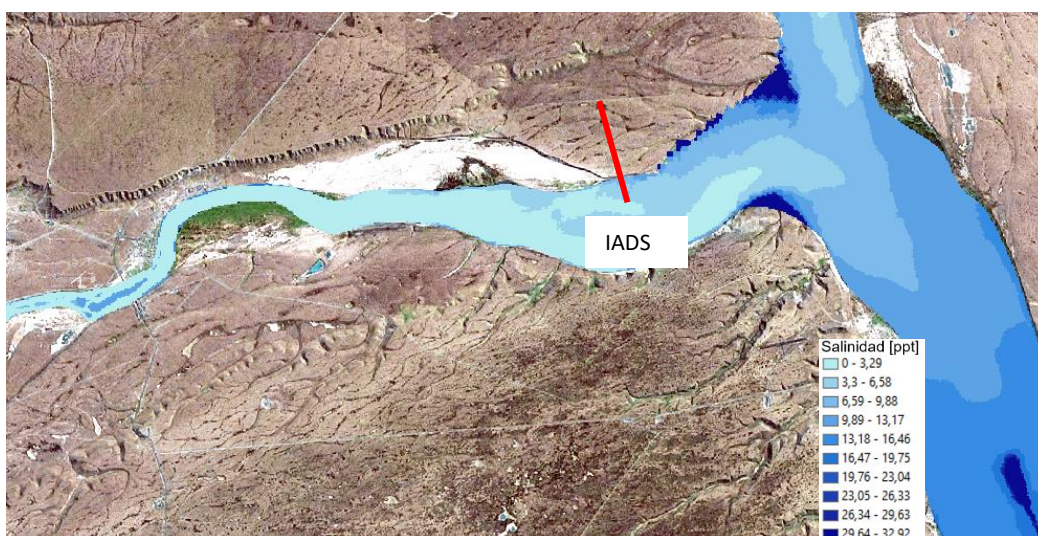


Figura 4.16: Salinidad en bajamar para escenario de $Q_{SC}=200m^3/s$ y $\Delta H=4,00$ m.



1.3. Efectos de la marea en la IADS

Habiéndose presentado las alteraciones que el llenado puede inducir en los caudales del Río Santa Cruz, no debe perderse de vista que en el área estudiada tienen lugar fluctuaciones semidiurnas de amplitud no despreciable de las variables monitoreadas, cuyo forzante son las oscilaciones de marea gobernadas por los astros. Es indispensable interpretar los resultados ya presentados teniendo en consideración las variaciones que ocurren de manera natural en las amplitudes de marea.

La sensibilidad de los resultados a los niveles de marea puede cuantificarse comparando la variación de la posición de la IADS durante un ciclo de marea. Dada la modulación de las amplitudes de marea astronómica, es pertinente contemplar los escenarios extremos del mes, correspondientes a los días en que se registraron las mareas de mayor y menor amplitud, tal como se presentan en la Figura 4.17. En el primer caso, cuando la amplitud de mareas es máxima y alcanza 11.20 m, la IADS se ubica en la posición *a* en pleamar y se desplaza 20 km aguas abajo hasta *b* en bajamar. En el segundo caso, cuando la amplitud de mareas es de 4.00 m, la forzante de las mareas ve reducido su efecto y el río es capaz de adveccionar la IADS hacia aguas abajo. En tal caso, la IADS se desplaza 9 km en un ciclo de marea, entre las posiciones *c* y *d*. Según se desprende de la Figura 4.18, en el mes de Julio de 2016 la IADS se posicionó entre el punto *a* en el Río Santa Cruz y el punto *d* aguas abajo de la confluencia de los ríos Santa Cruz y Chico, abarcando un desplazamiento total de unos 25 km.

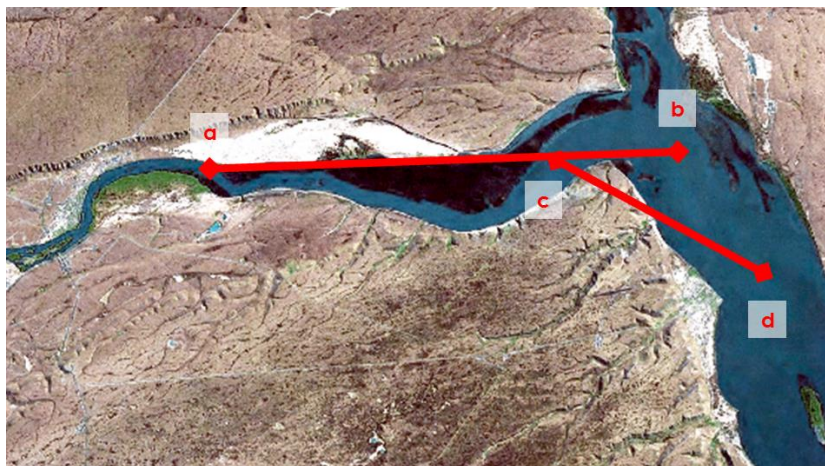


Figura 4.17. Desplazamiento en un ciclo de marea de la IADS durante las mareas extremas del mes de julio de 2016. Para una variación de niveles de 11.20 m, la posición de la IADS se situó durante pleamar en *a* y se desplazó hasta *b* en bajamar; mientras que cuando la amplitud fue de 4.00 m lo propio ocurrió desde *c* hasta *d*.

Considérese para el mismo período un escenario supuesto en que la presa se está llenando y se eroga hacia el río Santa Cruz un caudal de 200 m³/s. El mismo análisis revela que a lo largo de todo el mes las posiciones extremas de la IADS están dadas por los puntos *a'* y *d'* de la Figura 4.18. La reducción de los caudales del Río Santa Cruz disminuye la capacidad de adveccionar el agua salada con respecto a la situación original, y resulta en un desplazamiento de la IADS unos 3 km hacia aguas arriba en el río, y alrededor de 7 km en el estuario. Si bien a priori la ubicación de la IADS para julio de 2016 presenta diferencias con y sin obra, aún resta interpretar este resultado en el contexto de mareas astronómicas cuya amplitud es diferente para mismos períodos de otros años.

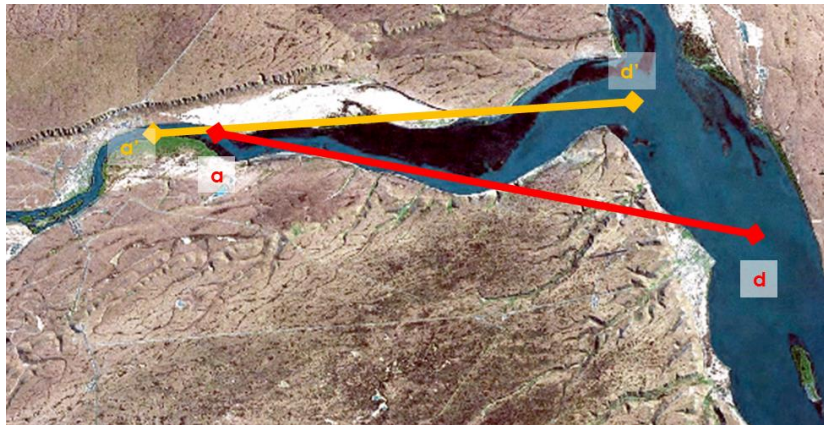


Figura 4.18. Posiciones extremas de la IADS durante el mes de julio de 2016. En un escenario sin presa, la IADS se desplaza entre a y d ; mientras que de producirse el llenado de la presa las posiciones extremas de la IADS son a' y d' .

La fluctuación de mareas astronómicas según el año considerado puede apreciarse en la Figura 4.19, donde se compara para el mes de julio de los años 2016 y 2017. Para el año 2016, tal como se había descrito en la Figura 3.1, se aprecia una modulación de las amplitudes que provoca una oscilación semidiurna de niveles cuyos valores máximo y mínimo son 11.20 m y 4.00 m respectivamente. No obstante, si el período considerado es durante el año 2017, la diferencia de niveles entre mareas extremas se reduce, quedando éstas caracterizadas por variaciones diarias de cotas de entre 5.90 m y 8.70 m.

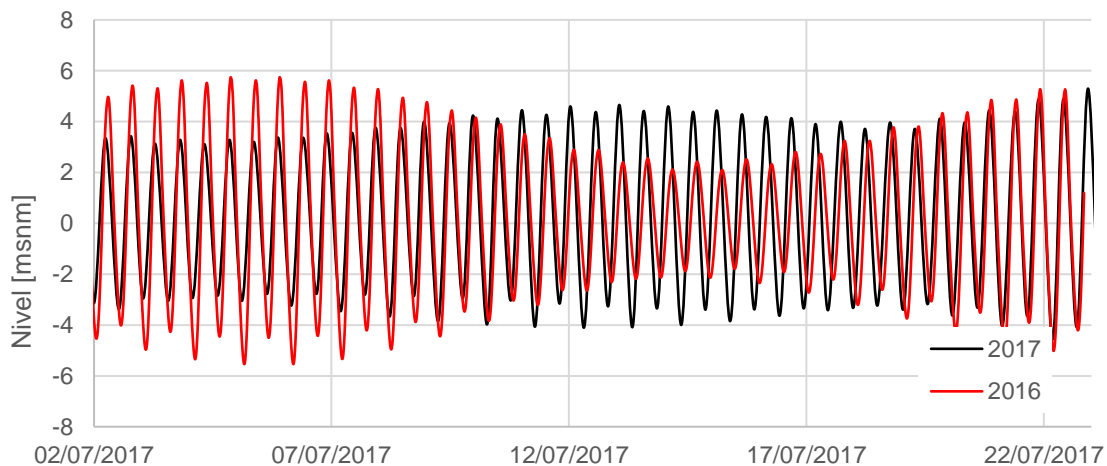


Figura 4.19. Evolución temporal de los niveles en Punta Quilla durante el mes de julio, para dos años diferentes.

La repetición del análisis de posiciones extremas de la IADS durante el mes de julio de 2017 es, por tanto, diferente a la presentada para el año 2016. Repitiendo el análisis previo, los resultados se vuelcan en la Figura 4.20. Los puntos e y f , correspondientes a las IADS extremas para Junio de 2017, están separados por una distancia menor que los desplazamientos entre a y d observados en 2016. En 2017 la menor amplitud de mareas resulta en que la posición extrema durante bajamar se ubica más aguas arriba (comparar f y d), mientras que la salinidad se introduce menos en el río (a y e). Para completar el análisis, se contempla el llenado del embalse durante Julio de 2017, representado por los puntos e' y f' . Llegado este punto es sumamente importante destacar que si bien el tramo ocupado por la IADS $e'-f'$ se ubica aguas arriba respecto del $e-f$ sin obras, la intrusión del agua salina en el río durante el llenado del embalse en 2017 no alcanza posiciones que hubiesen permanecido en situación actual durante el mismo mes del año anterior.

Se desprende que para valorar si el llenado puede provocar configuraciones que no se darían naturalmente con relativa recurrencia, es necesario presentar un diagnóstico que abarque las posiciones extremas de la IADS para el mes de julio a lo largo de algunos años.

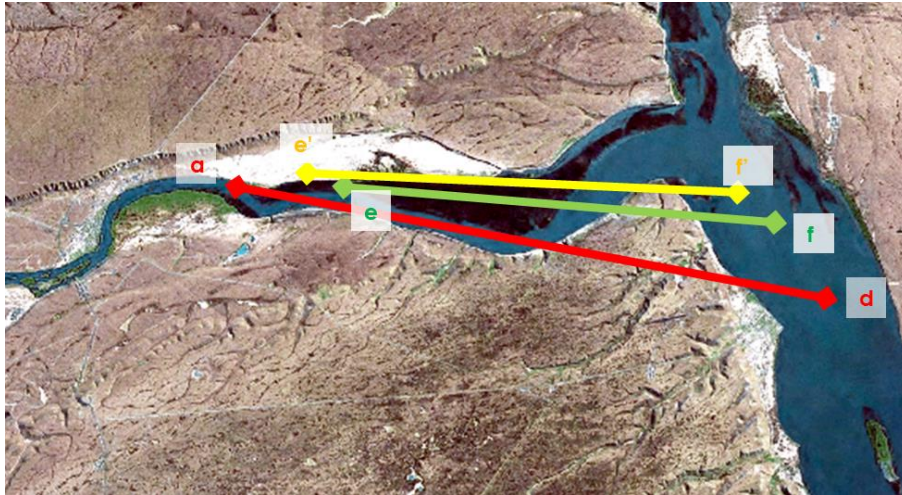


Figura 4.20. Posiciones extremas de la IADS para el mes de julio en diferentes años y escenarios. En situación sin intervención, la IADS se ubica entre a y d para el año 2016, entre f y g para 2017, y entre g y h para un año extremo. En caso de que el llenado del embalse ocurriese en 2017, la IADS se ubicaría entre e' y f'.

1.4. Comportamiento natural del estuario

Debido a lo dicho anteriormente, es claro que un año aislado no representa el movimiento natural de la IADS. Un año con mareas extremas hará que la IADS tenga una variación de posición apreciablemente mayor que uno con mareas medias. Esto hace que sea necesario analizar una serie de julios de varios años consecutivos, para poder hacer una descripción precisa de la variación de la posición de la IADS. Para esto haremos uso de un mes modelo que denominaremos Julio Extremo Natural.

Definimos al julio Extremo Natural (JEN) como un Julio en que las mareas toman valores extremos máximos y mínimos. Estos valores extremos tendrán una frecuencia de ocurrencia tal que no alteren el funcionamiento natural del estuario, ni de la biota que allí reside. Esta frecuencia deberá ser definida por un panel de expertos. En el JEN se podrá definir cuál es el rango normal de desplazamiento de la IADS mediante una simulación numérica, y a su vez esta podrá definir cuál serán los escenarios en los que la IADS se saldría de su posición normal.

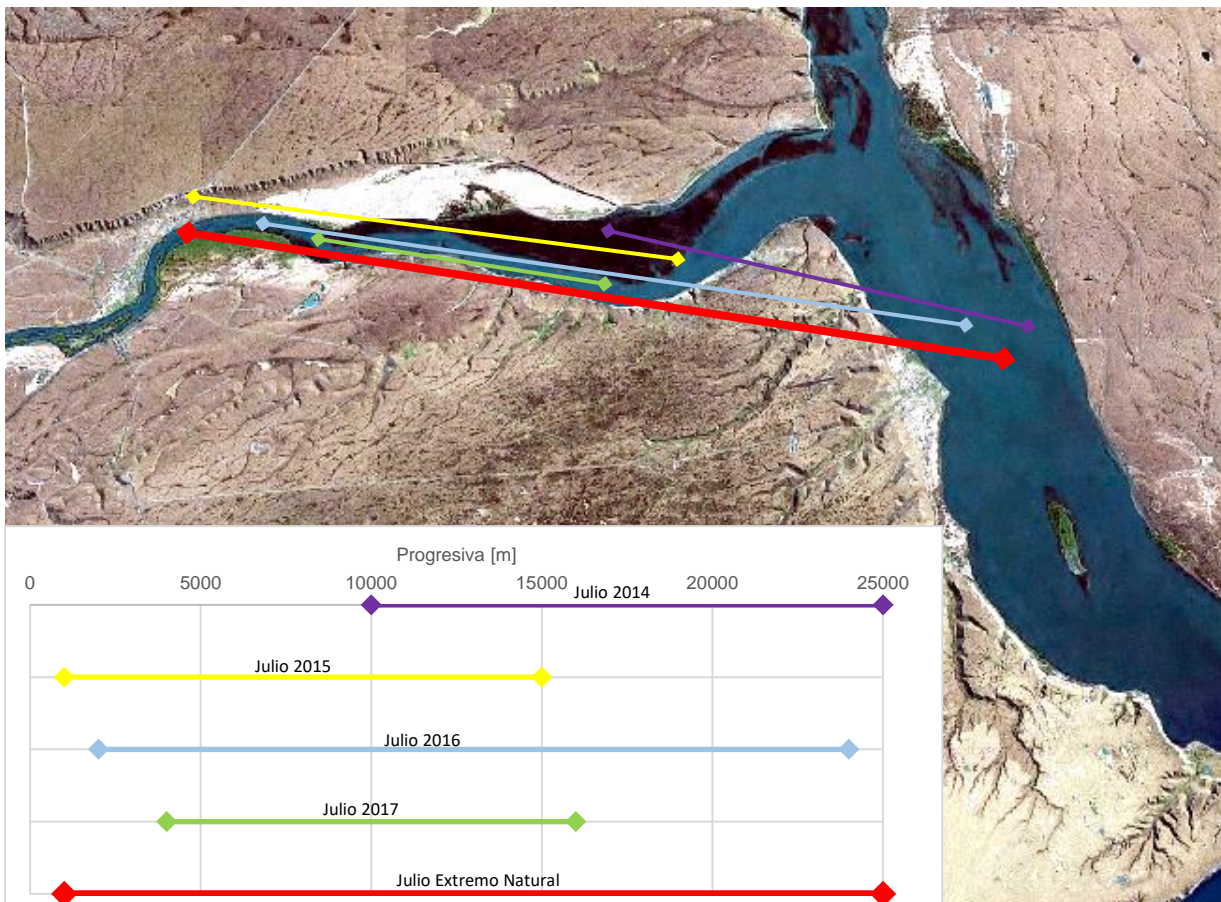


Figura 4.21: Variación de posición de la IADS durante los meses de julio en los años 2014 a 2017, y durante un JEN.

En la Figura 4.21 se puede ver la variación de posición de la IADS durante los meses de Julio en los años 2014 a 2017¹, y durante un JEN. Se puede ver que a lo largo de los años, la IADS toma distintas posiciones y varía en distintos rangos. Por ejemplo, en el 2014 la misma se encuentra en la zona baja del río Santa Cruz mientras que en el 2015 en la zona alta. En julio del 2016 la IADS varía su posición en un rango mucho mayor que en los otros años, mientras que en el 2017 se encuentra más acotada. En base a esto, es posible definir el Julio Extremo Natural como la envolvente de todos estos resultados. En dicho mes, la IADS tomaría todas las posiciones que naturalmente tomaría durante una serie de años consecutivos.

Considerando entonces un escenario con un amplitud de mareas correspondiente a un JEN, se obtienen los resultados presentados en la Figura 4.22. Comparando la situación natural ($g-h$) con la de llenado de los embalses ($g'-h'$), se observa un desplazamiento de la IADS hacia aguas arriba. En situación de bajamar con amplitud mínima, la IADS h' se ubica dentro del sector que ocuparía naturalmente durante el mes de Julio, por lo que no implicaría una afectación en el comportamiento natural de la IADS. En cuanto al evento de pleamar g' , se observa una intrusión de la salinidad algo mayor. Este comportamiento difiere del normalmente encontrado en el estuario, dado que en condiciones normales la IADS alcanza intrusiones máximas que alcanzan el punto g . Esta situación se daría únicamente a lo largo de unos pocos días en que la amplitud de mareas es máxima, siendo insuficiente el caudal del río para contrarrestar las corrientes inducidas por la marea. No obstante, esta alteración de la situación normal puede revertirse si los caudales del río fuesen mayores, los suficientes para desplazar la IADS hasta g .

¹ El único año modelado es el 2016. Los años 2014, 2015 y 2017 son asumidos en función de las amplitudes de mareas de dichos años, y están ilustrados con el único propósito de ilustrar el concepto de Julio Extremo Natural.

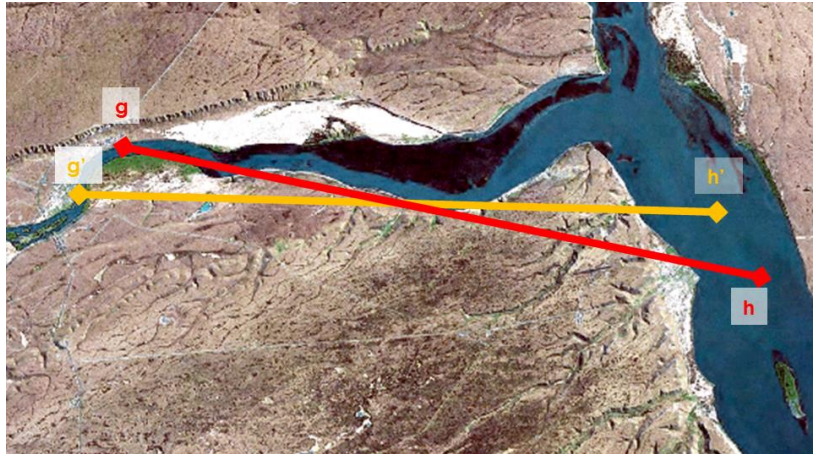


Figura 4.22. Posiciones extremas de la IADS para el mes de julio considerando un período de 4 años. Situación actual g-h y durante el llenado g'-h'.

Si el llenado se efectuase en un año en que ocurriesen mareas astronómicas de amplitud extrema (cuya ocurrencia es fácilmente predecible, con más de un año de anticipación), para mantener la posición de la IADS dentro del sector que ocupa naturalmente bastaría con planificar la erogación de un caudal algo mayor durante unos pocos días. Cabe mencionar que si bien el ejemplo presentado corresponde a 4 años, queda a criterio de los expertos revisar el número de años a considerar para definir qué amplitudes extremas de marea pueden considerarse normales para las especies potencialmente afectadas.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se modeló el estuario del río Santa Cruz durante el mes de julio de 2016 para caudales del $550 \text{ m}^3/\text{s}$ y $200 \text{ m}^3/\text{s}$. A partir de esta modelación fue posible tener una mejor comprensión del funcionamiento del mismo, y especialmente del comportamiento de la salinidad. Además, se permitió ver la influencia de la marea y el caudal en el comportamiento de la IADS.

A partir de los resultados se concluye que para la mayoría de los escenarios de marea no habría un impacto apreciable en el movimiento natural de la salinidad en el estuario. Esto es debido a que la mayor fuerza de movilización de la salinidad dentro del estuario es la marea, que tiene una magnitud muy superior a la del río.

Únicamente para condiciones de marea extrema, una reducción de caudal producto del llenado podría generar un ingreso de la IADS levemente mayor a la actual, cuyo efecto sobre la biota del estuario habría que estudiar.

En base a los resultados obtenidos este estudio se recomienda realizar el análisis de una mayor cantidad de años, para poder describir con precisión cuál es la posición normal de la IADS y así poder definir una condición de Julio Extremo Normal. Los resultados obtenidos hasta el momento, permiten predecir el comportamiento de manera general, y hacer una descripción de las posibles modificaciones en el funcionamiento en el estuario, pero no pueden cuantificarlos.

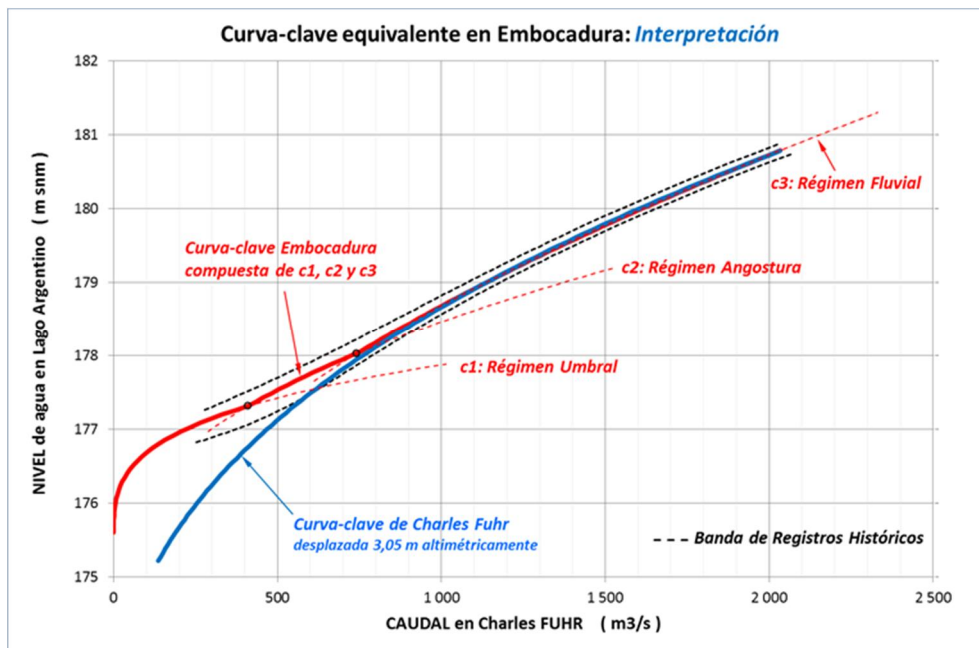
En caso de que se detecte que hay una afectación, los pasos recomendados a seguir serán:

1. Analizar con al menos un año de anticipación si hay mareas extremas durante el llenado del embalse.
2. En caso de que no haya mareas extremas, el estuario no restringirá el régimen de llenado.



3. En caso de que haya mareas extremas, será necesario modificar la fecha o ritmo de llenado con el propósito de erogar un caudal suficiente para evitar la afectación del río Santa Cruz.

Evaluación de la influencia del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner sobre los niveles de agua del Lago Argentino



Ascensio LARA; 1° de Julio 2016

***Evaluación de la influencia
del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner
sobre los niveles de agua del Lago Argentino***

Indice

1. Objetivos del Estudio
2. Datos disponibles
3. Metodología del Estudio
4. Análisis de los Datos Hidrométricos Existentes
 - 4.1. Estación limnimétrica Charles Fuhr
 - 4.1.1 Lecturas diarias de nivel de agua
 - 4.1.2 Aforos líquidos
 - 4.1.3 Curva-clave CHF
 - 4.1.4 Caudales diarios
 - 4.2 Estación Calafate del Lago Argentino
 - 4.2.1 Serie de lecturas diarias de nivel de agua
 - 4.2.2 Curva-clave de la embocadura
 - 4.2.3 Análisis del funcionamiento hidráulico de la embocadura
 - 4.2.4 Régimen fluvial en la embocadura
 - 4.2.5 Valores adoptados
5. Características del P.H.N.K.
6. Curvas de Remanso
 - 6.1 Conceptos
 - 6.2 Métodos de cálculo
 - 6.3 Cálculo de la curva de remanso de la U.N.L.P.
 - 6.4 Cálculo de la curva de remanso de la U.T.E.
 - 6.5 Resumen de resultados de los dos estudios
 - 6.6 Evaluación de los resultados de los dos estudios
 - 6.7 Cálculo del efecto de remanso por el método local
 - 6.7.1 Introducción
 - 6.7.2 Determinación del factor ω y validación del método
 - 6.7.3 Análisis del anegamiento de la sección Embocadura
 - 6.7.4 Estudio de sensibilidad a los valores del factor ω
 - 6.7.5 Efecto de remanso durante crecidas mayores
 - 6.7.6 Conclusiones del estudio de remanso con el método local
7. Conclusiones
8. Recomendaciones

Abreviaturas:

ARG	:	Escala limnimétrica Calafate, en el Lago Argentino
CHF	:	Escala limnimétrica Charles Fuhr, en el Río Santa Cruz
EMB	:	Sección Embocadura, sita a la salida del Lago Argentino
LARG	:	Lago Argentino
m snm	:	metros sobre el nivel del mar (sistema IGN de la República Argentina)
NAMO	:	nivel de agua máximo ordinario (en un embalse)
NAME	:	nivel de agua máximo extraordinario (en un embalse)
PHNK	:	Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner
UNLP	:	Universidad Nacional de La Plata
UTE	:	Unión Temporaria de Empresas [<i>Represas Patagonia, ELING-CGGC-HCSA.UTE</i>]
SPACCD	:	Secretaría de Política Ambiental, Cambio Climático y Desarrollo Sustentable
SSEH	:	Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica de la Nación
SSRH	:	Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

Figuras:

01. Cuenca del Río Santa Cruz y emplazamiento de las escalas ARG y CHF
02. Emplazamiento de las escalas limnimétricas ARG y CHF
03. Emplazamiento de la escala limnimétrica CHF (detalle)
04. Nomenclatura
05. Serie histórica de lecturas de escala en CHF
06. Curva de duración de lecturas de escala en CHF, por decenios
07. Relación funcional Cota-Caudal
08. Datos crudos de aforos en CHF desde Enero 1958 hasta Enero 2016
09. Datos de los aforos en CHF presentados en los estudios [4] y [5]
10. Datos crudos de aforos en CHF con símbolos de menor tamaño

11. Aforos posteriores a 1977
12. Aforos anteriores a 1976
13. Cantidad y oportunidad de los aforos en CHF
14. Causa posible del desdoblamiento de los datos en dos grupos
15. Evidencias de un posible cambio del cero de la escala limnimétrica
16. Puente Charles Fuhr
17. Sucesivas curvas-clave en Charles Fuhr
18. Curvas-clave de algunos años singulares
19. Duración de caudales del Río Santa Cruz en Charles Fuhr
20. Registros diarios de nivel de agua en Lago Argentino

21. Niveles de agua en años con rotura del Glaciar Perito Moreno
22. Estacionalidad de niveles de agua en el Lago Argentino
23. Duración de niveles de agua en el Lago Argentino
24. Curva-clave EMB: aforos CHF con niveles ARG
25. Ajuste de curvas-clave EMB presentadas en los estudios [4] y [5]
26. Curva-clave EMB: ajuste de funciones
27. Configuración de la sección de salida del lago
28. Explicación de la curva-clave en la embocadura
29. Forma de la curva-clave Embocadura
30. Curva-clave Embocadura

31. Interpretación de la curva-clave Embocadura
32. Curvas-clave adoptadas
33. Resumen de datos hidrométricos del Lago Argentino
34. Corte de la cresta del vertedero
35. Capacidad de descarga del vertedero
36. Curvas de remanso – Conceptos
37. Influencia de la variación del nivel del embalse, para una posición dada
38. Influencia de la posición del observador, para un nivel dado de embalse
39. Remanso: método regional, descripción
40. Remanso: método local, descripción

41. Resultados del estudio de la UNLP
42. Resultados del cálculo 3D de la UNLP para condiciones naturales
43. Resultados del cálculo 3D de la UNLP, con el PHNK a la cota 176,5
44. Resultados del estudio de remanso de la UTE
45. Resultados del cálculo 1D de la UTE para condiciones naturales
46. Resultados del cálculo 1D de la UTE, con el PHNK a la cota 176,5
47. Resumen de resultados (escala 1.500 m³/s) para condiciones embalsadas
48. Resumen de resultados (escala 1.500 m³/s) para condiciones naturales
49. Resumen de resultados (escala 4.100 m³/s) para condiciones embalsadas
50. Resumen de resultados (escala 4.100 m³/s) para condiciones naturales

51. Efectos del coeficiente ω
52. Calibración del coeficiente ω para los estudios UNLP y validación del método
53. Calibración del coeficiente ω para los estudios UTE y validación del método
54. Sensibilidad al factor ω
55. Efecto de remanso en la sección Embocadura
56. Efecto de remanso, estudio de sensibilidad
57. Efecto de remanso durante grandes crecidas

Tablas:

01. Lecturas de nivel de agua del Lago Argentino en Calafate. Datos disponibles
02. Probabilidad de excedencia de niveles de agua en el Lago Argentino
03. Picos de crecida del Río Santa Cruz para distintos períodos de retorno
04. Niveles de agua resultantes del estudio UNLP
05. Niveles de agua resultantes del estudio UTE
06. Desvío vertical entre niveles naturales y embalsados
07. Sensibilidad de los resultados a las variaciones del coeficiente ω
08. Niveles de agua en el embalse y en el lago durante grandes crecidas

1. Objetivos del Estudio

El presente informe describe los resultados de la “Evaluación de la influencia del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner sobre los niveles de agua del Lago Argentino”.

Dicho estudio fue solicitado por la Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica de la Nación.

El objetivo específico del estudio es determinar si el Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner (PHNK), con su nueva cota de nivel de agua máximo ordinario (NAMO) fijada a 176,5 m snm, afecta los niveles de agua naturales del Lago Argentino (LARG).

Según los registros de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH), iniciados en 1992 (24 años de registro a la fecha), los niveles históricos más bajo y más alto del Lago Argentino han sido 176,8 m snm y 180,4 m snm, produciéndose en los períodos Septiembre-Octubre y Febrero-Marzo, respectivamente.

La anterior cota de operación del PHNK (en los documentos de Licitación) había sido establecida a 178,90 m snm y daba lugar a modificaciones sensibles de los niveles de agua del Lago Argentino, juzgadas inadmisibles.

Por ello se encargó a la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), en su rol de Inspección del desarrollo del Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Santa Cruz, de proponer una nueva cota de operación del PHNK que no afecte los niveles naturales del Lago Argentino. El valor propuesto por la UNLP, en base a estudios que se describen más adelante, fue la cota 176,5 m snm.

Paralelamente, el grupo de empresas reunidas en una Unión Temporal (UTE), bajo el nombre de “Represas Patagonia”, propuso también la cota 176,5 m snm, análogamente con el objetivo de maximizar la producción energética en el PHNK sin afectar los niveles naturales del Lago Argentino.

El presente estudio de independencia hidráulica (o desacople hidráulico) entre los niveles de agua del PHNK y del Lago Argentino realiza tanto un análisis crítico de los antecedentes (datos básicos y evaluaciones hidráulicas previas) como un análisis numérico independiente del efecto de remanso, con el fin de validar (o modificar, si fuese necesario) la nueva cota propuesta para la operación del PHNK.

Se ha realizado un esfuerzo especial para evitar un lenguaje puramente técnico, de modo que este texto pueda ser útil a un vasto público. Esperamos pueda ser de utilidad.

La primera versión de este informe, con fecha 12.06.2016, fue remitida a la Secretaría de Política Ambiental, Cambio Climático y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Ambiente de la Nación y a la Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica del Ministerio de Energía de la Nación.

Esta segunda versión incorpora clarificaciones y complementos resultantes de los enriquecedores comentarios y observaciones recibidos durante la teleconferencia (de casi tres horas) mantenida el 1° de Julio con personal de la Secretaría de Ambiente y con la Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica.

2. Datos disponibles

Se dispone de los siguientes datos e informaciones:

- 2.1 Niveles de agua en el Lago Argentino:
Valores diarios de lectura de la escala en CALAFATE de la SSRH, desde Enero de 1992 a la fecha. [1]
- 2.2 Niveles de agua en la escala limnimétrica CHARLES FUHR, en el Río Santa Cruz:
Valores diarios de lectura de escala de la SSRH, desde Enero de 1956 hasta la fecha. [1]
- 2.3 Aforos líquidos del Río Santa Cruz en la sección CHARLES FUHR:
2082 mediciones de caudales realizadas por la SSRH desde Enero de 1958 a la fecha. [1]
- 2.4 Topo-batimetría de la zona de la embocadura:
Curvas de nivel con equidistancias de 1 m de la zona de nacimiento del Río Santa Cruz, sobre una distancia unos 5 km. De éstos, unos 4 km se desarrollan a lo largo del río y 1 km en el lago, sobre la extrapolación del thalweg del río. [2]
- 2.5 Cota cero de escalas:
Cota del cero de las escalas limnimétricas del Lago Argentino en CALAFATE ($H^{\circ}= 174,870$ m snm) y del Río Santa Cruz en la estación CHARLES FUHR ($H^{\circ}= 172,167$ m snm). [3]
- 2.6 Estudio de 2012 realizado por la UNLP e intitulado “Funcionamiento del sistema Lago Argentino – Río Santa Cruz – Embalse Néstor Kirchner”. [4]
- 2.7 Estudio del Ing. Héctor Daniel Farías (2015), adoptado por la UTE, intitulado “Determinación de la Función Altura-Caudal (curva H-Q) para el Río Santa Cruz a la Salida del Lago Argentino”. [5]
- 2.8 Nuevo diseño de los vertederos del PHNK. [6]

3. Metodología del Estudio

Se ha mencionado que el objetivo del estudio es verificar si con la nueva cota de operación del PHNK se afectan o no los niveles de agua del Lago Argentino.

Para ello se procederá en tres etapas:

- **Tomar conocimiento de los niveles naturales de agua en el Lago Argentino.**

Los niveles actuales de agua en el Lago constituirán la referencia a respetar.

Para tomar conocimiento de los niveles actuales del Lago, se dispone de una serie de 24 años de registros diarios. Ello permitirá hacer la estadística de máximos y mínimos, observar la estacionalidad y medir los efectos de las esporádicas roturas del glaciar Perito Moreno. Se buscará también establecer una curva-clave "virtual" del lago que permita estimar su nivel de agua cada vez que se conozca el caudal efluente del mismo y vice-versa. Ello será posible correlacionando los niveles de agua del Lago con los caudales que se miden en la estación de aforos Charles Fuhr.

Los registros hidrométricos (niveles de agua, caudales, etc.) de larga duración no siempre están exentos de errores (sea de transcripción, de medición o de interpretación). Se aprovechará de esta oportunidad para realizar una verificación de la base de datos hidrométricos que se utilizarán como referencia.

- **Tomar conocimiento de las nuevas características del PHNK.**

Ello implica conocer las características de las obras del proyecto, particularmente del vertedero, ya que éste impone los niveles de agua en la cabecera del embalse, que después, podrían afectar al Lago Argentino.

- **Realizar estudios de remanso que permitan decir si el PHNK afecta al Lago.**

Los estudios de remanso son herramientas de cálculo hidráulico que permiten evaluar en cuánto se modifican los niveles en todo un curso de agua si se introduce una modificación en algún punto de ese curso, por ejemplo, mediante un puente o una presa.

Para ello se necesita conocer su configuración geométrica (la topo-batimetría del curso de agua), los materiales que constituyen su lecho y paredes (ya que éstos afectan su rugosidad) y también los caudales que transitan en ese curso de agua.

Se dispone en buena medida de dichos datos, de modo que los cálculos hidráulicos son factibles. Ya existen dos estudios de esa naturaleza, de modo que habrá que validar el uso que ellos hacen de los datos y comparar los resultados. Se empleará un tercer método, independiente, para validar todos los estudios.

De ese modo se podrá concluir, dentro de los límites de la precisión de los datos disponibles, si los niveles naturales (los de hoy en día) del Lago Argentino son afectados o no por la nueva configuración del PHNK.

4. Análisis de los Datos Hidrométricos Existentes

Los capítulos que siguen tienen por objetivo:

- Tomar conocimiento de los niveles del Lago Argentino que serán utilizados como valores históricos de referencia a respetar si se realiza alguna obra hidráulica en el Río Santa Cruz.
- Proveer al modelista hidráulico que desarrolle los cálculos de remanso, los datos hidrométricos que le permitan calibrar su modelo hidráulico.

Calibrar un modelo hidráulico (físico o numérico) consiste en ajustar algunos parámetros hidrométricos (esencialmente la rugosidad del lecho y paredes del curso de agua) para permitirle reproducir correctamente las condiciones actuales, confiando que si éstas son bien reproducidas por el modelo, la simulación de condiciones futuras será fiable.

- Verificar la consistencia de los datos hidrométricos. Como se dijo más arriba, registros hidrométricos de tal longitud (cerca de 60 años en nuestro caso) pueden contener errores o inconsistencias que si no se depuran, afectarían los resultados de los estudios, conduciendo a conclusiones erradas o, al menos, imprecisas.

A continuación se analizan los datos de las estaciones hidrométricas CALAFATE en el Lago Argentino y CHARLES FUHR en el Río Santa Cruz, cerca de su nacimiento.

La figura 1 muestra el área drenada por el Río Santa Cruz en Charles Fuhr y el emplazamiento de ambas estaciones de la SSRH.

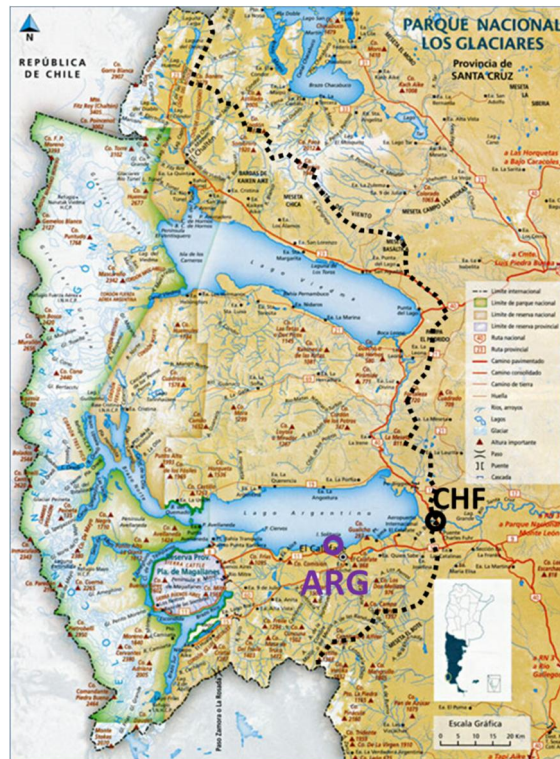


Figura 1: Cuenca del Río Santa Cruz y emplazamiento de las escalas Charles Fuhr (CHF) y Calafate (ARG)

4.1. Estación limnimétrica Charles Fuhr (CHF)

4.1.1 Lecturas diarias de nivel de agua

La SSRH dispone de una escala limnimétrica en *Charles Fuhr (CHF)*, que opera desde Diciembre de 1955 y que, a la fecha continúa en servicio.

La escala CHF se halla en la posición: $50^{\circ} 16' 09'' S / 071^{\circ} 43' 07'' O$ y la cota de cero de la escala es 172,167 m snm. La figura siguiente muestra su emplazamiento en el Río Santa Cruz (emisario del Lago Argentino), a proximidad de la embocadura.



Figura 2: Emplazamiento de las escalas limnimétricas ARG y CHF

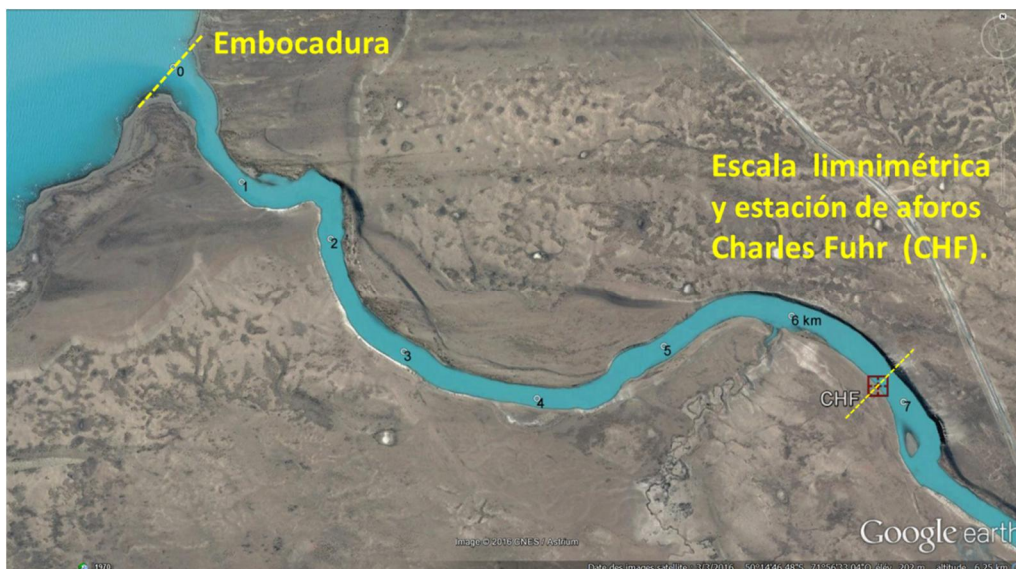


Figura 3: Emplazamiento de la escala limnimétrica CHF (detalle)

Además de la lectura regular del nivel del pelo de agua en la escala correspondiente, en la misma sección CHF se realizan también aforos líquidos. En el capítulo siguiente se tratará este tema.

Como se muestra en la figura 4, los valores de lectura de escala pueden traducirse en:

- Nivel de la superficie o pelo de agua, cuando se conoce la cota del cero de la escala,
- Tirante (o profundidad) de agua, cuando se conoce la distancia vertical entre el cero de la escala y el fondo del río.

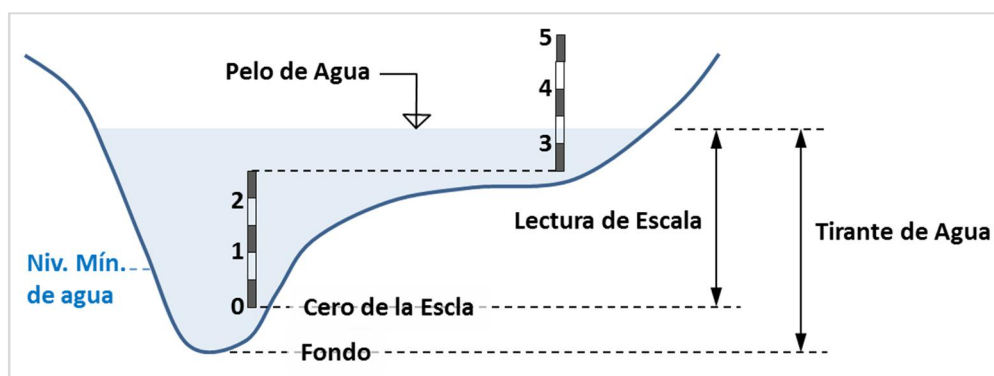


Figura 4: Nomenclatura

El registro de datos utilizado en este estudio se extendió desde el 1° de Septiembre de 1958 hasta el 31 de Diciembre de 2015. La Tabla 1 muestra la disponibilidad de datos en ese período, precisando frecuencias de medición y datos faltantes. Nótese que entre Septiembre de 1976 y Agosto de 1977 falta la totalidad de datos durante un año.

Datos disponibles :			Datos faltantes (en días corridos):		
Frecuencia	Cant. días	%	- Hasta 30 días corridos:		- Más de 30 días corridos:
1 día (1)	12 018	56%	1 a 12 días	639 3%	1957: Abr.-Junio 41 0,2%
12 horas	2 982	14%	13 a 30 días	0 0%	1957: Ag.-Sept. 38 0,2%
6 horas	3 345	15%			1957: Dic.-Mayo'58 183 0,8%
4 horas	1 133	5%			1976: Sept.-Ag.'77 366 1,7%
1 hora (2)	854	4%			1988: Oct.-Dic. 93 0,4%
					1989: Oct.-Dic. 93 0,4%
					1990: Oct.-Dic. 93 0,4%
					1992: Feb.-Mayo 120 0,5%
Total: 20 332 92%			Total: 1 666 8%		
Gran total : 21 998 días (= 60,2 años)					
(1) : mayoritariamente hasta Dic. 1987					
(2) : mayoritariamente desde Ene. 2011					

Tabla 1: Lecturas de nivel de agua del Lago Argentino en Calafate. Datos disponibles

La figura 5 muestra la historia de los registros de lectura diaria de escala en la estación limnimétrica CHF.

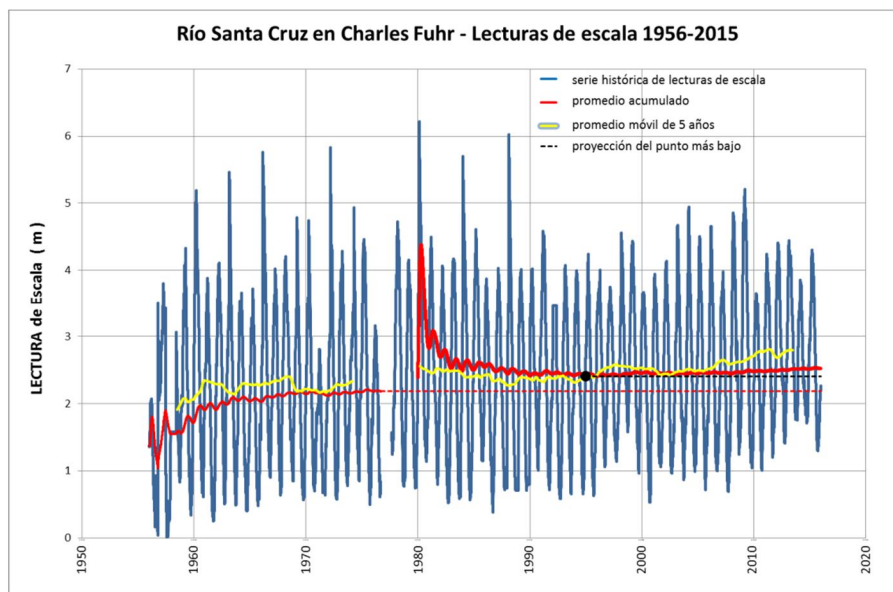


Figura 5: Serie histórica de lecturas de escala en CHF

Además del vacío de información en el período 1976-1977, en la figura 4 puede notarse:

- Diferencias entre las sub-series antes y después del corte de 1976-77:
 - * el promedio acumulado del período anterior a 1976 se halla estabilizado al momento del corte en el valor $P_{1956-1976} = 2,18 \text{ m}$;
 - * el promedio acumulado del período posterior a 1977 se halla estabilizado al terminar la serie en el valor $P_{1977-2015} = 2,52 \text{ m}$;
 - * la diferencia de 0,34 m es sorprendentemente elevada cuando se trata de promedios acumulados de larga duración. Será necesario encontrar una explicación a este hecho.

- Aumento sostenido a partir de los años 90:
 - * en la última década se observa un aumento sensible de los mínimos anuales;
 - * a partir del año 2000 se observa un aumento sensible del promedio móvil de 5 años;
 - * a mediados de la década de los 90 el promedio acumulado del segundo período inicia una fase de crecimiento sostenido, con un incremento de 0,12 m hasta la fecha de hoy. ¿Esta deriva sistemática está vinculada al cambio climático?

La figura 6 es un gráfico de duración (probabilidad de excedencia) de los valores de lectura de escala en CHF. En él se han representado las duraciones por decenios (1956-65; 1966-75, etc.) y las duraciones de los valores de lectura de escala antes y después de la interrupción de 1976-77.

En ella se observa un corrimiento sistemático (ascenso de una treintena de centímetros) de la curva de duración post-1977 con respecto a la pre-1976 y un claro ascenso de los niveles inferiores en el último decenio (curva D6: 2006-2015). Estas observaciones confirman las observaciones de los párrafos anteriores.

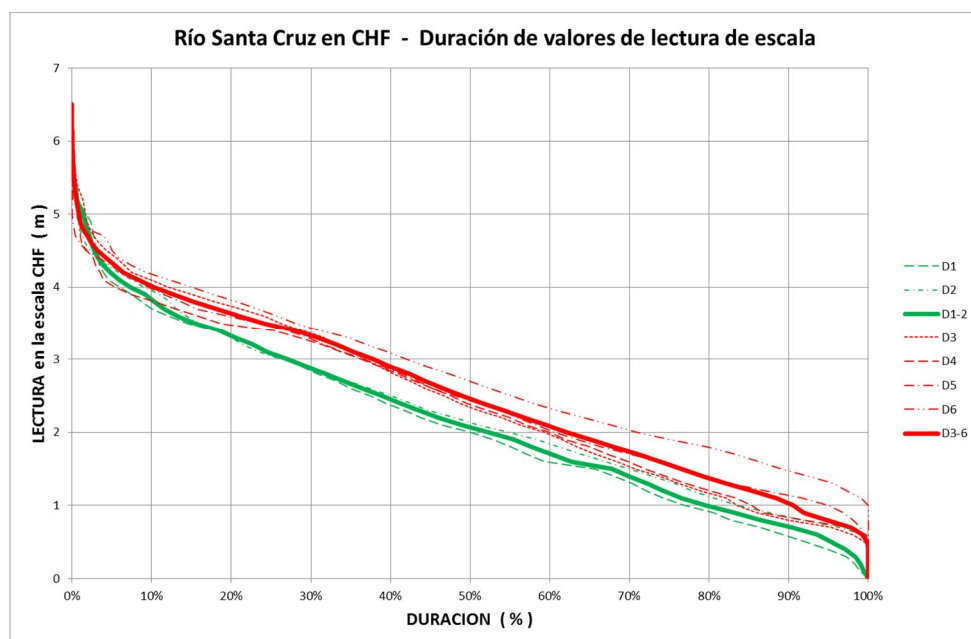


Figura 6: Curva de duración de lecturas de escala en CHF, por decenios

Los capítulos que siguen se buscarán elementos que permitan profundizar este tema.

4.1.2 Aforos líquidos en la estación Charles Fuhr. Curva-Clave

4.1.2.1 Introducción - Conceptos

En el capítulo precedente se analizó la serie histórica de lecturas de la escala limnimétrica CHF. Se dijo también que los valores de lectura de escala pueden traducirse en valores de nivel de la superficie de agua o en valores de tirante de agua en la sección en que se miden.

Pero los valores de lectura de escala están también en relación directa con los caudales (volumen de agua por unidad de tiempo) que transitan a lo largo de la sección de medición.

En efecto, la ecuación de movimiento de Manning-Strickler pone en evidencia esa relación:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot A \cdot i^{1/2} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{A(h)}{p_m(h)} \right)^{2/3} \cdot A(h) \cdot i^{1/2} = F(h; n; i) \quad (1)$$

dónde:

- Q : caudal que pasa por una sección dada
- h : tirante de agua
- R_h : radio hidráulico de la sección transversal
- p_m : perímetro mojado de la sección transversal
- A : área de la sección transversal
- i : pendiente longitudinal de la superficie de agua
- n : número de Manning (indicador de la rugosidad)

La ecuación (1) pone claramente en evidencia la relación funcional que existe entre el caudal “Q” que pasa en la sección en consideración y el tirante “h” de agua en la misma.

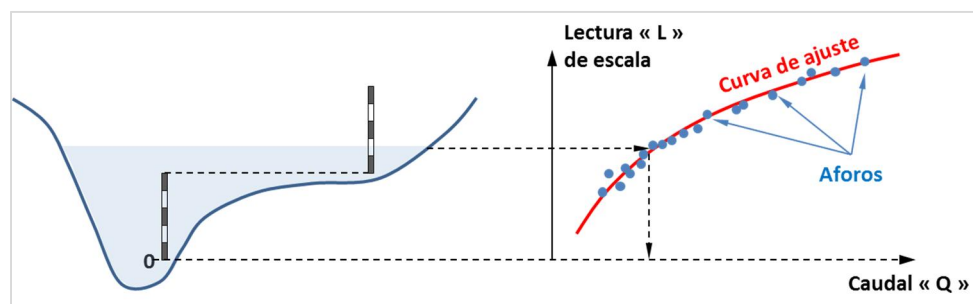


Figura 7: Relación funcional Cota-Caudal

Dicha ecuación, a la que llamamos curva-clave de la sección, puede determinarse empíricamente, midiendo en forma simultánea, niveles de agua y caudales.

Llamamos “aforo líquido” a la medición de dichos caudales, por oposición al “aforo sólido” en que se mide el flujo de sedimentos.

El interés de conocer la curva-clave de una sección del río proviene del hecho que medir caudales es laborioso y requiere tiempo. En cambio, una vez que se conoce y que se ha

validado la curva-clave, con sólo leer el nivel de agua en la escala, se puede tener una buena estimación del caudal que está pasando.

En el presente capítulo se analizan los datos de los aforos realizados desde Enero de 1958 a la fecha, con el fin de validar o corregir (si fuese necesario) la curva-clave de la sección CHF.

Como se verá más adelante, el buen conocimiento de esta curva-clave es esencial para el proceso de calibración del modelo numérico con el cual se estimarán los niveles de agua en toda la zona, cuando se simule la existencia de una presa en el Río Santa Cruz.

4.1.2.2 Análisis de los Aforos Existentes

En este capítulo se realizan controles de consistencia de los datos crudos recibidos, con el fin de validar las curvas-clave que se emplearán en la calibración del modelo numérico con el que se estimarán los niveles de agua que se producirían en la zona, en condiciones futuras, si se implantase una presa.

La figura 8 muestra el alineamiento de los 2082 aforos realizados en la sección CHF entre Enero de 1958 y Enero de 2016. Se agregaron los aforos de verificación de Abril y de Noviembre de 2015, así como una curva de ajuste.

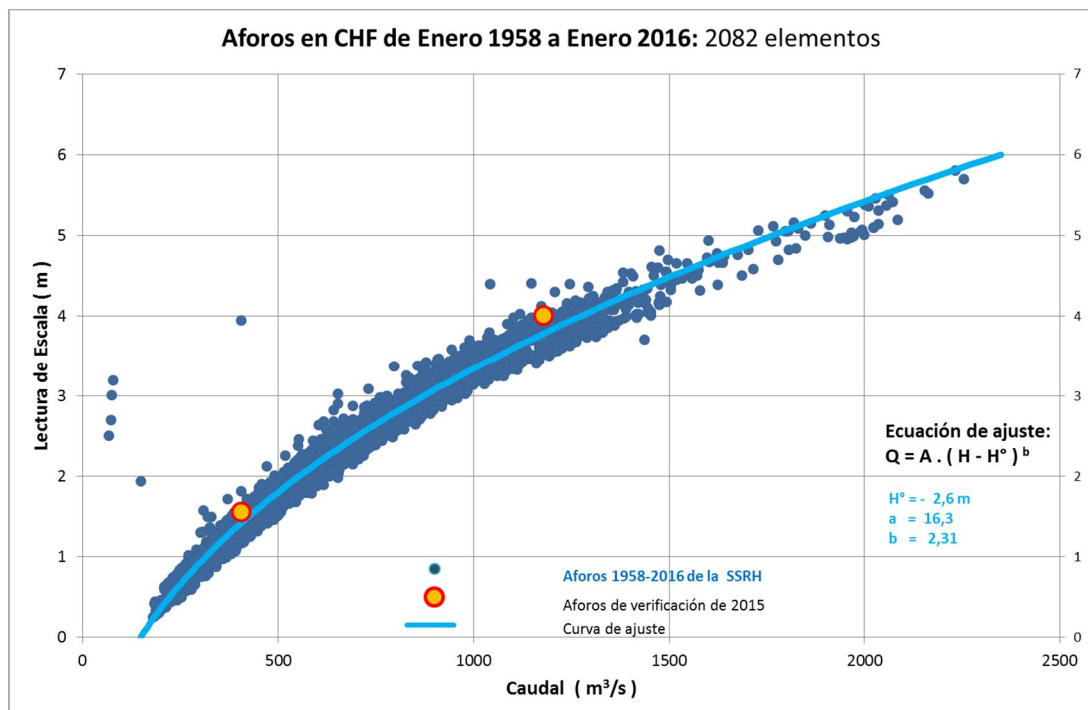


Figura 8: Datos crudos de aforos en CHF desde Enero 1958 hasta Enero 2016

La figura 9 muestra los mismos datos tal como fueron presentados en los estudios pre-existent [4] y [5].

La virtud de dichas presentaciones es que, utilizando símbolos gráficos más pequeños, se pone en evidencia la existencia de dos sub-grupos de datos (separados por una zona intermedia con baja densidad de puntos). Todo ocurre como si hubiese dos curvas paralelas, muy próximas, pero a la vez distintas. Ello genera sospechas sobre la consistencia de los datos, por lo que, a continuación, se estudia el tema en detalle.

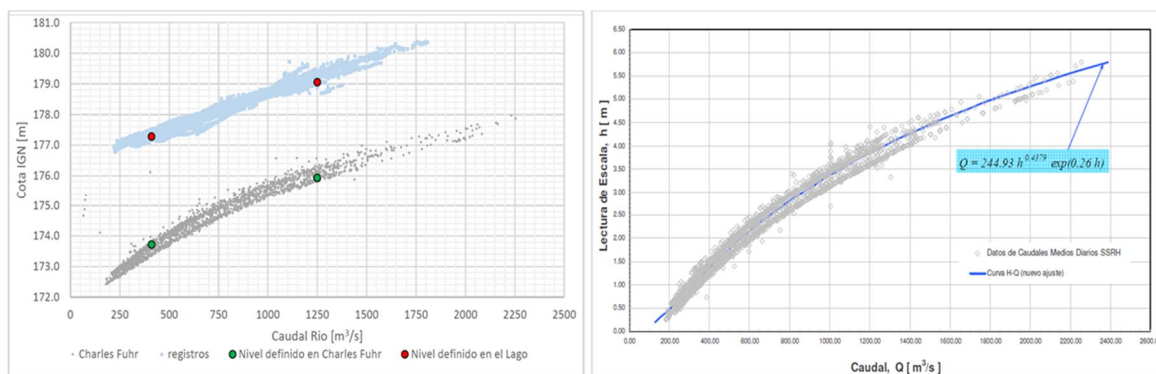


Figura 9: Datos de los aforos en CHF presentados en los estudios [4] y [5]

La figura 10 muestra una vez más los mismos datos pero con símbolos aún más pequeños, confirmándose la existencia de dos sub-grupos de datos.

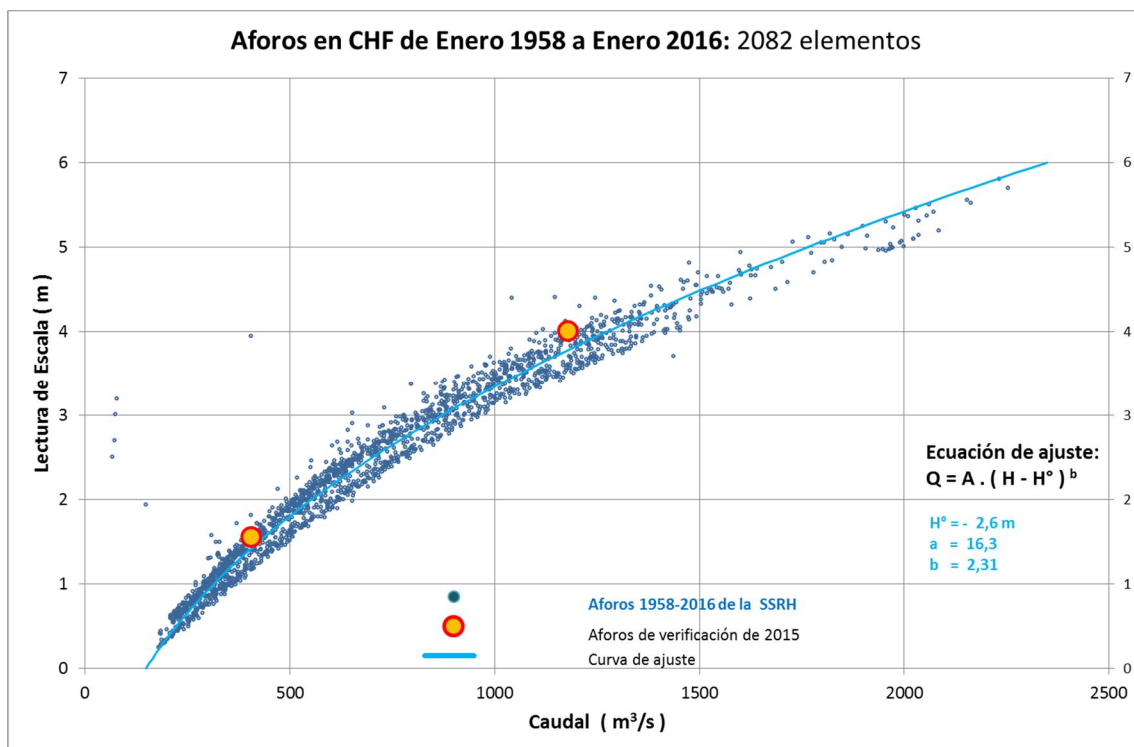


Figura 10: Datos crudos de aforos en CHF con símbolos de menor tamaño

Se investigaron las causas posibles de dicha singularidad, privilegiándose la hipótesis de un cambio metodológico o instrumental en un momento dado de la vida de la escala. Los dos hechos siguientes son convergentes con dicha hipótesis:

- la escala limnimétrica dejó de funcionar durante un año entero entre 1976 y 1977;
- como se mostró en las figuras 5 y 6, a partir de esa fecha se observó un salto altimétrico sensible y permanente de unos 30 cm en los valores de lectura de escala.

Las figuras que siguen ponen en evidencia que, en efecto, los dos sub-grupos de puntos que se detectan en la figura 9 corresponden a los períodos anterior y posterior a esa fecha.

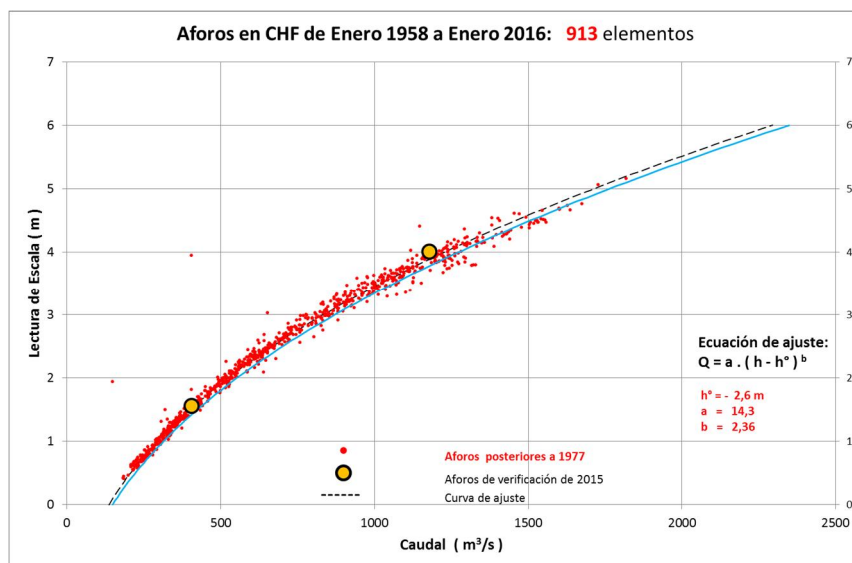


Figura 11: Aforos posteriores a 1977

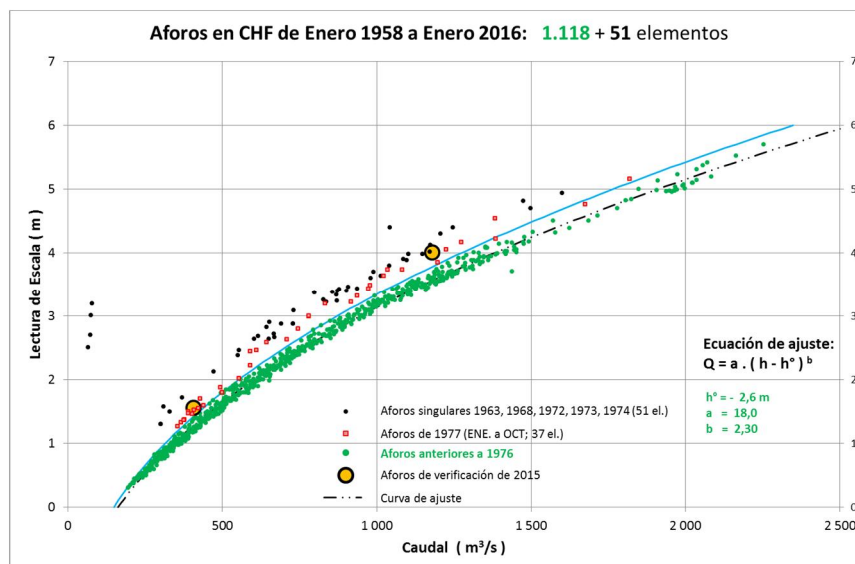


Figura 12: Aforos anteriores a 1976

Los aforos indicados en la figura 12 con un círculo negro, a pesar de ser anteriores a 1976, parecerían pertenecer a la familia o grupo alto. Son un sub-grupo limitado, de 51 elementos (incluidos algunos elementos aberrantes), que se registraron en 1963 (8 elementos), en 1972 (8 elementos), en 1973 (19 elementos) y en 1974 (12 elementos).

La figura 13 muestra la distribución temporal de los aforos confirmando las discontinuidades y singularidades de las mediciones de niveles y de caudales (aforos) ocurridas en torno del año 1977. Se ha dicho que entre Septiembre de 1976 y Agosto de 1977 no se registraron niveles de agua. Sin embargo, como se ve en la figura 13, en el año 1977 (de Enero a Octubre) se realizaron 37 aforos, que parecieran pertenecer, ya, a la familia alta.

Sin acceso a los archivos históricos de la estación CHF, no tenemos manera de identificar la causa que produjo la interrupción de las actividades. Nótese que, con la excepción de las 37 mediciones de 1977, entre Enero de 1975 y Diciembre de 1982 no se realizaron aforos.

Sin embargo, vistas las singularidades señaladas en las figuras 5 y 6, presumimos que podría haberse tratado del remplazo de uno o más tramos de la escala limnimétrica, instalada con un corrimiento de su cero (nivel de referencia). Ver figura 14.

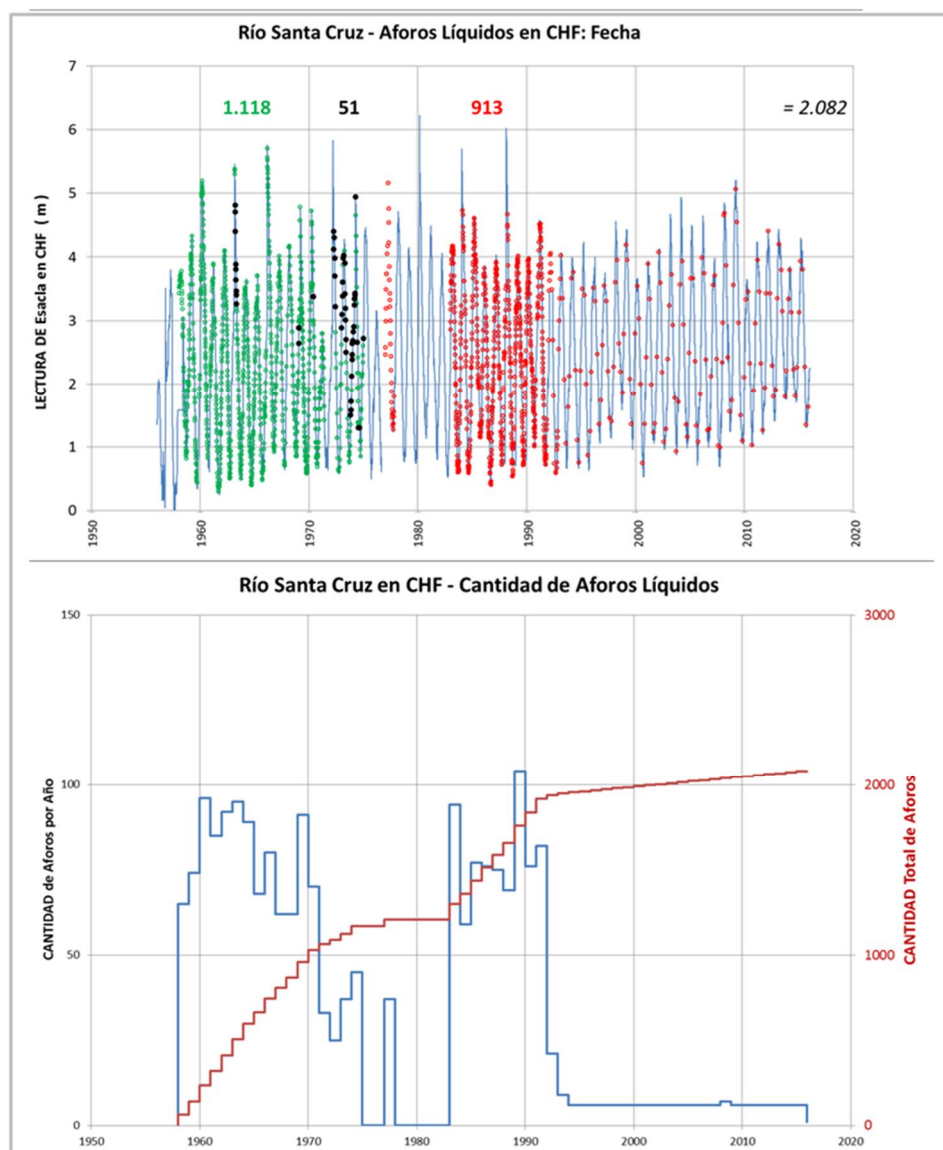


Figura 13: Cantidad y oportunidad de los aforos en CHF

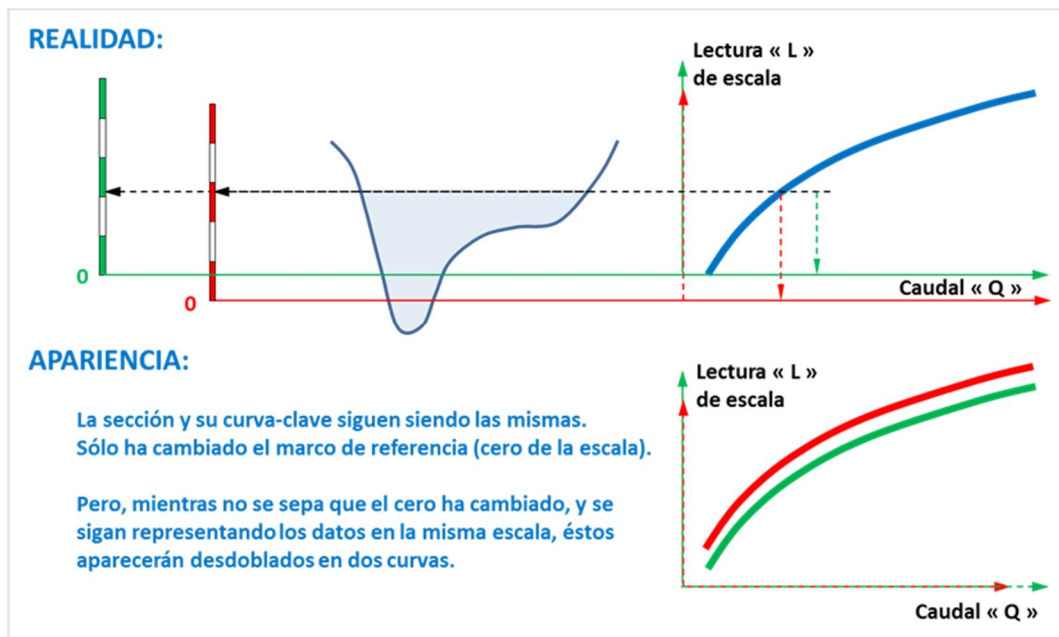


Figura 14: Causa posible del desdoblamiento de los datos en dos grupos

Sea cual fuere la causa, se ha constatado la existencia de dos familias o subconjuntos de datos (aforos), consistentes independientemente, pero no homogéneos entre sí.

Ante esta situación caben dos alternativas:

- Seguir utilizando la totalidad de los datos disponibles, aun sabiendo que hay un problema subyacente.
En este caso se debería adoptar la curva de ajuste central, que es representativa del conjunto completo de aforos. La incertidumbre en torno de la curva de ajuste estaría dada por el semi-ancho de la nube completa de puntos (figura 9), que, en torno del caudal medio (unos 700 m³/s) es $\approx 80 \text{ cm} / 2 = \pm 40 \text{ cm}$.
- Poner en evidencia las causas de la separación de los aforos históricos en dos subgrupos y validar uno de ellos, descartando el otro.
En ese caso, la curva-clave a adoptar sería la ecuación de ajuste de la familia de puntos adoptados y la incertidumbre asociada sería el semi-ancho de la nube de puntos correspondiente. Según las figuras 10 y 11, a nivel del caudal medio (unos 700 m³/s) éste sería $\approx 20 \text{ cm} / 2 = \pm 10 \text{ cm}$.

Los registros de los aforos proveyeron esa evidencia. En efecto, los registros recibidos (archivos "excel"), además de los pares ordenados "h-Q" (lectura de escala y caudal) y de su fecha de medición, indican también un parámetro hidrodinámico importante, la velocidad media "V" del escurrimiento en la sección aforada.

En la figura 15 se han graficado, en función del valor de la lectura de escala, el caudal aforado y la velocidad media correspondiente. En ambos casos los valores anteriores y posteriores al año 1977 se representan con distinto color.

Se notará que la forma y la dispersión de puntos de las curvas de velocidad media antes y después de 1977 es la misma, pero que una de ellas se halla desplazada respecto a la otra.

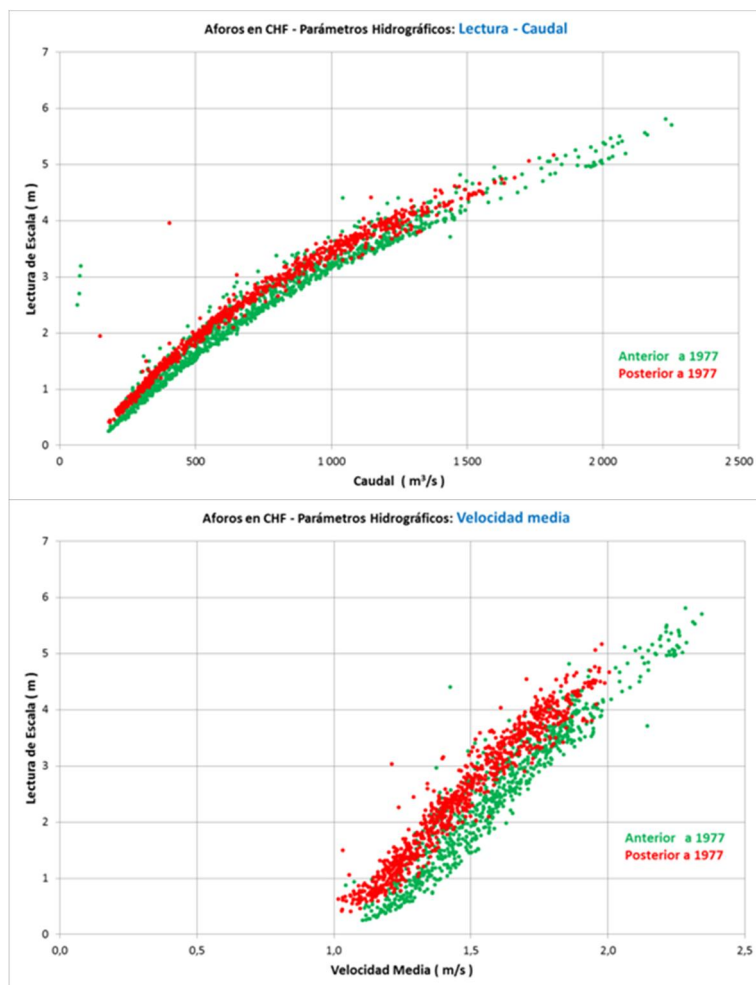


Figura 15: Evidencias de un posible cambio del cero de la escala limnimétrica

La velocidad media es un parámetro característico del escurrimiento en una sección dada de un río y, para un caudal dado, sólo puede modificarse si se produce alguno de los siguientes hechos:

- La sección del río donde se halla la escala limnimétrica es modificada. Puede tratarse de un incremento del área de la sección debido a fuertes erosiones o de una disminución de la misma debido al depósito de sedimentos o a la ruptura y deslizamiento de las márgenes. En el primer caso el área aumenta y las velocidades disminuyen. En el segundo caso el área de la sección disminuye dando lugar al aumento de las velocidades.

Parece improbable que alguna de estas situaciones se haya producido vistas las características del río y de sus márgenes en la zona de la estación CHF.

- Se introduce algún obstáculo en el río, aguas abajo de la sección considerada. Puede ser una presa, un puente, un badén. En este caso el obstáculo sobre-eleva el nivel de agua generando un efecto de remanso que se hace sentir en el tramo aguas arriba del río, dando lugar a una disminución de las velocidades.

A 2,4 km aguas abajo de la escala limnimétrica CHF se halla el puente Charles Fuhr (ver figura 16) pero sus características no permitirían alcanzar valores de deslizamiento de datos tan elevado que tampoco serían constantes con el caudal, ya que se trata de un efecto de remanso. Además, el puente se construyó recién en 1979 [7].



Figura 16: Puente Charles Fuhr

En suma, toda la información disponible hace pensar que en 1976-77 podría haber habido un corrimiento del cero de la escala limnimétrica CHF que habría dado lugar a que los aforos se vean hoy en día formando dos grupos distintos de datos (figura 9).

Sea cual fuere la verdadera causa, a los efectos de proseguir los estudios se pueden adoptar dos actitudes:

- Suponer que en efecto la causa fue un corrimiento del cero de la escala y corregir los datos de uno de los grupos de aforos, con el fin de explotar la totalidad de los datos existentes, o
- Adoptar el sub-grupo más reciente de datos como representativo de las condiciones actuales, perdiendo parte de los datos históricos de los aforos.

Adoptaremos esta última modalidad. Ello evita el riesgo de trabajar con datos modificados a posteriori y se gana, además, en precisión.

En consecuencia, a los efectos de los estudios que siguen, se adopta como válida la sub-serie de aforos en CHF posterior a 1977.

En realidad, los primeros aforos posteriores a 1977 tuvieron lugar recién a partir de Enero de 1983. Esta serie dispone de datos de más de 900 aforos, con caudales comprendidos entre 180 m³/s (25% del módulo) y 1.700 m³/s (2,5 veces el módulo), lo que garantiza que se dispone de un conocimiento fiable de la curva-clave CHF.

Este conjunto de datos es el que se muestra en la figura 11.

La ecuación que lo representa es:

$$Q = 14,3 \times (h + 2,6)^{2,36} \quad (2)$$

con "Q" y "h" representado el caudal y la lectura de escala respectivamente.

4.1.3 Serie de caudales diarios en la estación limnimétrica CHF

Entre los datos provistos por la SSRH se halla la serie de caudales diarios desde Diciembre de 1955 hasta Agosto de 2015.

Si dichos valores de caudales se grafican conjuntamente con los valores de lectura de escala del mismo día se obtiene la figura 16. En ella puede distinguirse claramente una serie de alineamientos de puntos que constituyen las curvas-clave adoptadas a lo largo de la historia de la estación limnimétrica.

En la figura 17 se muestran algunas curvas-clave singulares, que ponen en evidencia que sin un análisis de consistencia se puede llegar a proponer el uso de curvas que conducen a una fuerte dispersión en la estimación de caudales a partir de la lectura de un nivel de agua.

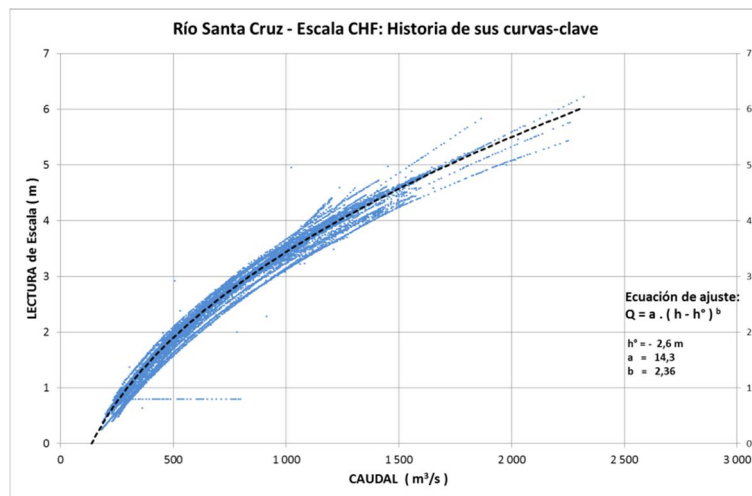


Figura 17: Sucesivas curvas-clave en CHF

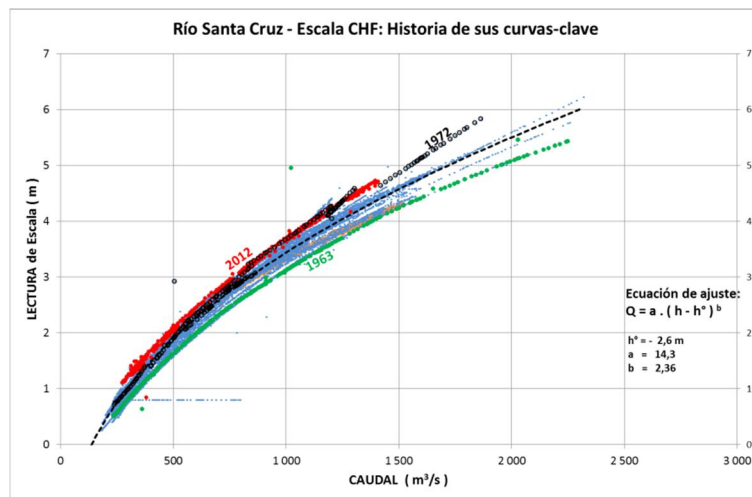


Figura 18: Curvas-clave de algunos años singulares

Nótese que según el haz de curvas dibujadas, para una lectura de escala de 5,0 m el caudal estimado podría variar entre 1.500 m³/s y 2.000 m³/s.

La serie histórica de caudales diarios, generada a partir de la serie histórica de lecturas diarias de nivel de agua utilizando curvas-clave que variaban de año en año, fue remplazada por una nueva serie, constituida utilizando solamente la curva-clave adoptada (ecuación 2, más arriba).

Con la nueva serie de caudales se obtuvo la curva de duración de caudales de la figura 19.

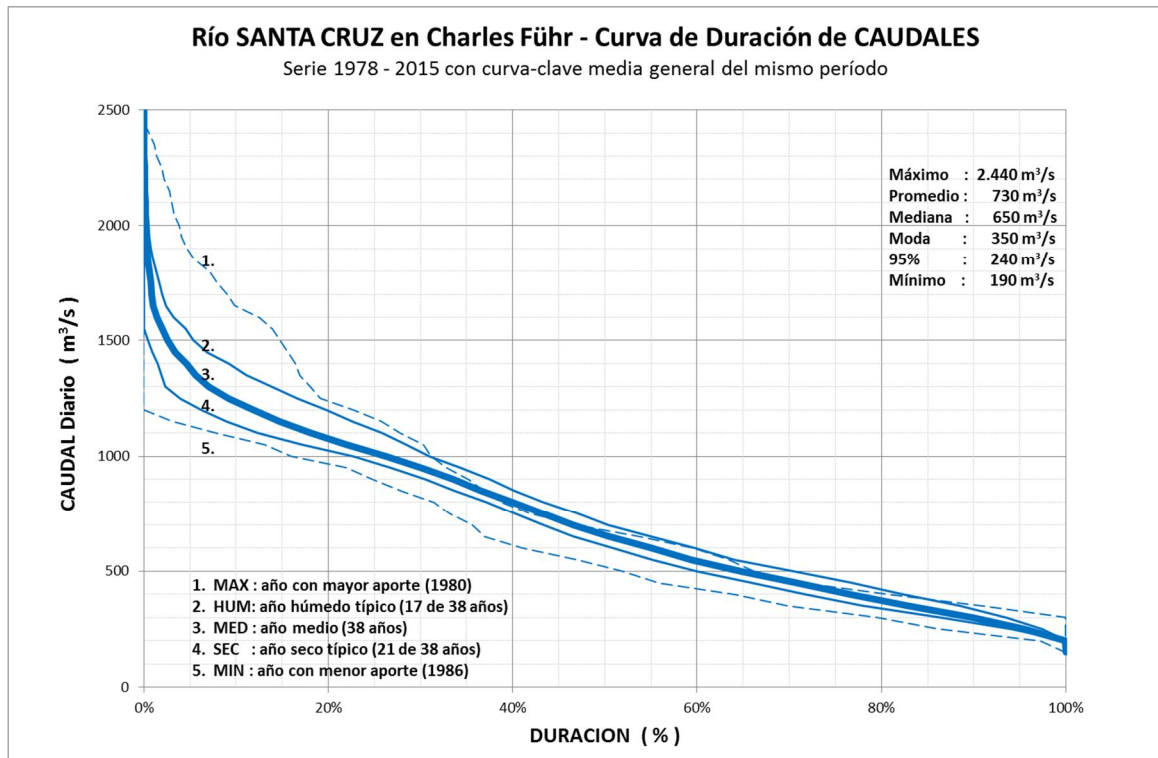


Figura 19: Curva de duración de caudales del Río Santa Cruz en Charles Fuhr

4.2 Estación Calafate del Lago Argentino

4.2.1 Serie de lecturas diarias de nivel de agua

La SSRH dispone de registros diarios de nivel de agua en el Lago Argentino medidos en la estación limnimétrica Calafate desde Enero de 1992. La escala se halla en la posición $50^{\circ}18'45''\text{S} - 072^{\circ}15'04''\text{O}$ y la cota del cero de la escala es 174,867 m snm.

La figura 20 muestra la evolución diaria de los niveles de agua en el Lago Argentino en los últimos 24 años. Nótese que el promedio móvil de 5 años, al igual que el promedio acumulado (longitud creciente de registro), parece aumentar lenta pero gradualmente.

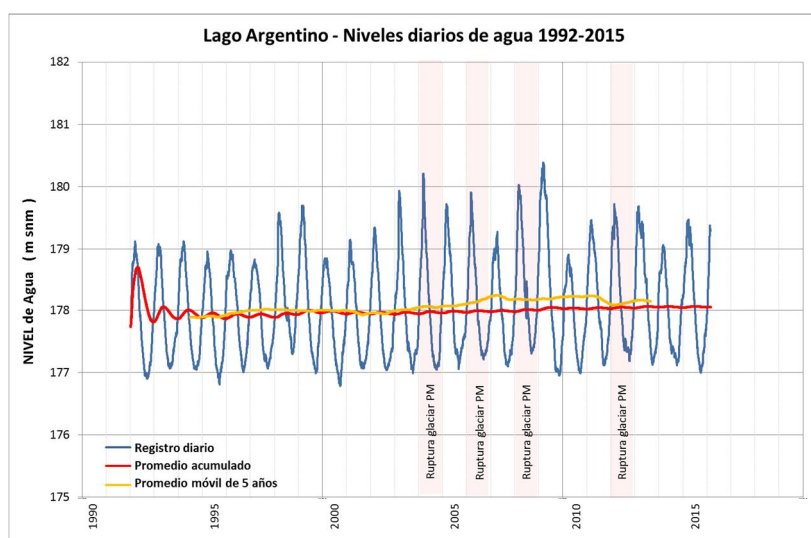


Figura 20: Registros diarios de nivel de agua en el Lago Argentino

La figura 21 muestra el efecto de la ruptura del Glaciar Perito Moreno sobre los niveles del Lago Argentino.

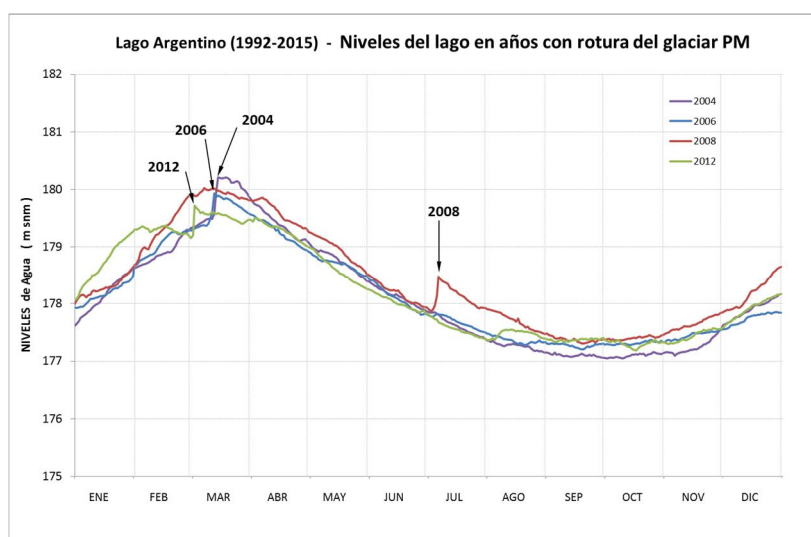


Figura 21: Niveles de agua en años con rotura del Glaciar Perito Moreno

Las figuras 21 y 22 muestran respectivamente la estacionalidad y la duración (probabilidad de excedencia) de niveles de agua en el Lago Argentino. Se notará que en el período 1992-2015 los niveles de agua han estado comprendidos entre 176,8 m snm y 180,4 m snm.

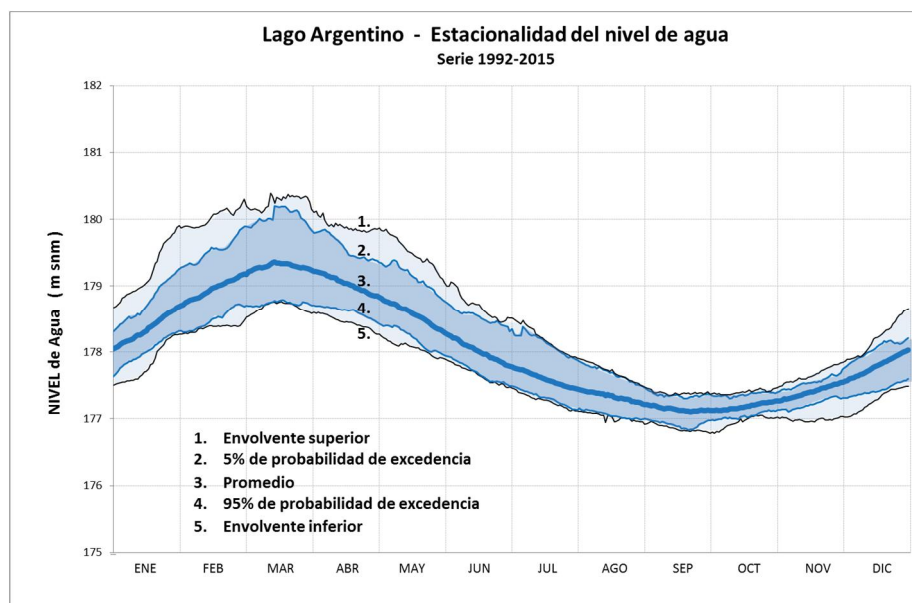


Figura 22: Estacionalidad de niveles de agua en el Lago Argentino

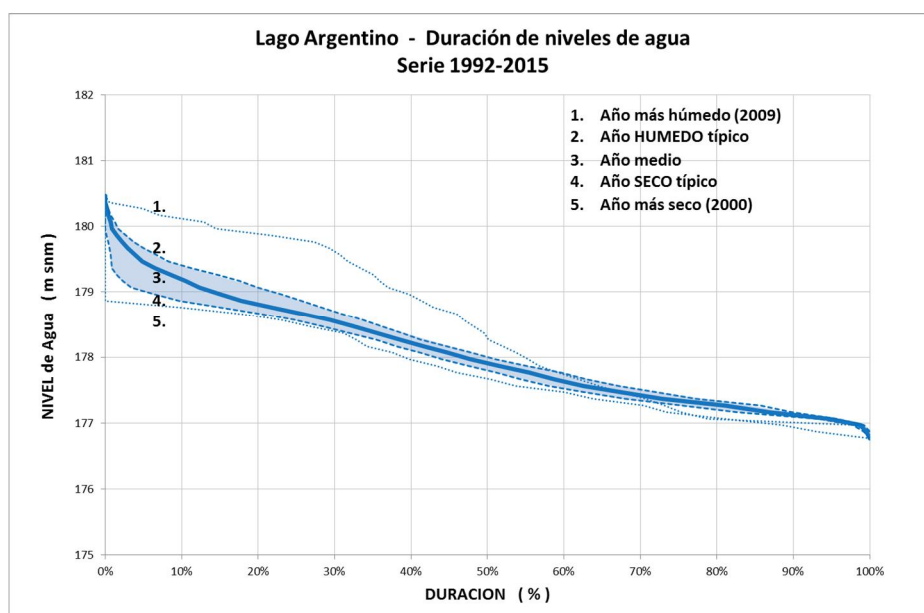


Figura 23: Duración de niveles de agua en el Lago Argentino

Se llama año húmedo a aquél cuyo promedio anual de caudales o de niveles es superior al promedio general (módulo). Se llama AÑO HÚMEDO TÍPICO al promedio de todos los años húmedos. Análogamente, el AÑO SECO TÍPICO es el promedio de todos aquellos cuyo promedio anual (en términos de caudal o de nivel de agua) es inferior al módulo.

La tabla siguiente resume algunos valores singulares de probabilidad de excedencia de niveles de agua en el Lago Argentino, para diversas condiciones hidrológicas. Estos valores se corresponden con los graficados en la figura 23.

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

Tabla 2: Probabilidad de excedencia de niveles de agua en el Lago Argentino

Los valores que se muestran en esta tabla representan la historia de los niveles de agua en el Lago Argentino. Y a ese título constituyen la referencia con respecto a la cual habrá que comparar los niveles de agua que se producirían si se construyese el PHNK con cota normal máxima de operación de 176,5 m snm.

Ahora bien, dichos niveles de agua dependen del caudal que transita por el lago. Igualmente, los niveles de agua que el PHNK generaría a lo largo del Río Santa Cruz dependen también del caudal del río (emisario del lago). En suma, para poder comparar niveles de agua históricos (naturales) del lago con los que generaría el PHNK, habrá que hacerlo para cada caudal, dentro de la gama de los caudales históricos del río.

Para ello será necesario asociar los niveles arriba indicados con los caudales que los generaron. Ello equivale a determinar la curva-clave, o curva Altura-Caudal del lago. En el capítulo siguiente se desarrolla esta tarea.

4.2.2 Curva-clave representativa del Lago Argentino (desarrollo y ajuste)

Para una condición hidrológica dada, los niveles de agua en un lago están gobernados por la capacidad de embalse de su vaso y por la capacidad de evacuación de caudales de la sección de salida del lago.

La sección de salida del lago no es otra que la embocadura del río que lo drena (su emisario, el Río Santa Cruz en nuestro caso). Y la capacidad de evacuación de caudales de esta sección se mide con su curva-clave o curva Altura-Caudal. En adelante a esta sección la llamaremos “Sección Embocadura” y le atribuiremos el trigramma “EMB”.

Los niveles de agua que se miden inmediatamente aguas arriba de la sección de salida del lago son virtualmente los mismos niveles de agua medidos en la estación limnométrica Calafate sobre los que ya informamos más arriba.

Como entre la sección de salida del lago y la estación de aforos Charles Fuhr (evaluada también más arriba) no hay afluentes de significación, la curva-clave representativa de la embocadura puede componerse asociando a cada caudal medido en Charles Fuhr el nivel de agua medido el mismo día en la estación Calafate.

En Calafate se miden niveles de agua desde Enero de 1992. Y, si bien en Charles Fuhr se realizaron aforos desde Enero de 1958, hemos visto más arriba que sólo pueden utilizarse con fiabilidad los aforos posteriores a Enero de 1983 (primeros aforos después de la interrupción de 1976-77).

En el período común de mediciones (de Enero 1992 a la fecha) se dispone de 164 aforos. Los mismos pueden complementarse con los valores resultantes de convertir los niveles de agua en Charles Fuhr en caudales, a través de la nueva curva-clave (más de 8.000 puntos). Ambas series de valores se grafican en la figura 24.

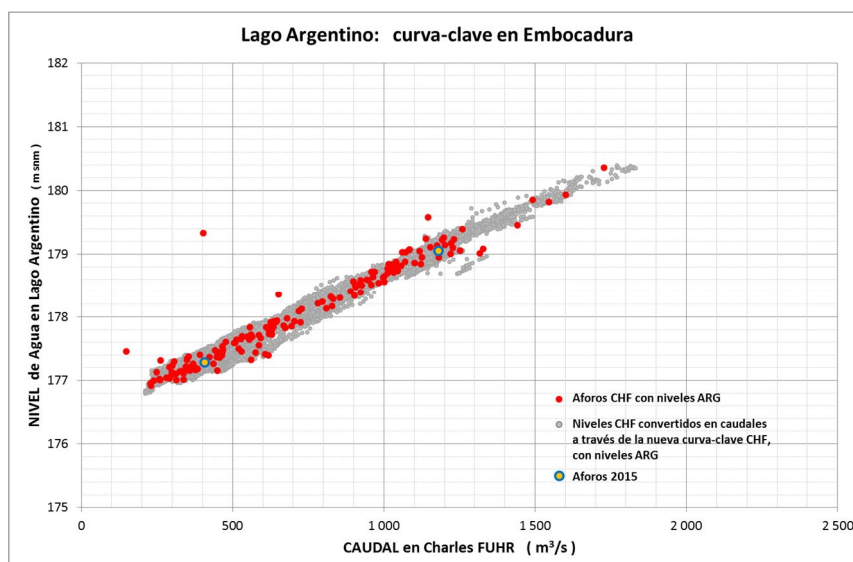


Figura 24: Curva-clave EMB: aforos CHF con niveles ARG

La figura 25 muestra los mismos datos tal como fueron presentados en los estudios pre-existentes [4] y [5].

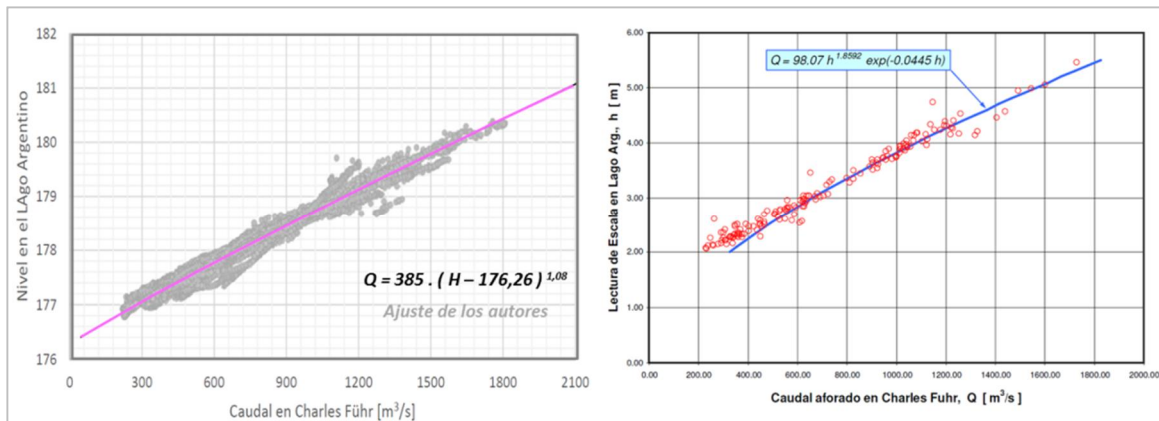


Figura 25: Ajustes de curvas-clave EMB presentados en los estudios [4] y [5]

Las mismas curvas se superpusieron, para facilidad de lectura, en la figura 26. En ella pueden observarse las diferentes interpretaciones de los datos existentes. Los puntos salientes son:

- en un caso (figura de la derecha) no se tienen en cuenta los aforos inferiores a 400 m³/s y se propone una ley cuyo cero corresponde aproximadamente (como se verá más tarde) a la cota del umbral de la sección de salida del Lago. No se justifica por qué se abandona la información contenida en los aforos bajos.
- en el otro caso la función de ajuste tiene en cuenta esos aforos bajos, pero la ecuación propuesta da un caudal cero en correspondencia con una cota (≈ 176,3) sensiblemente más elevada que la del umbral de salida.

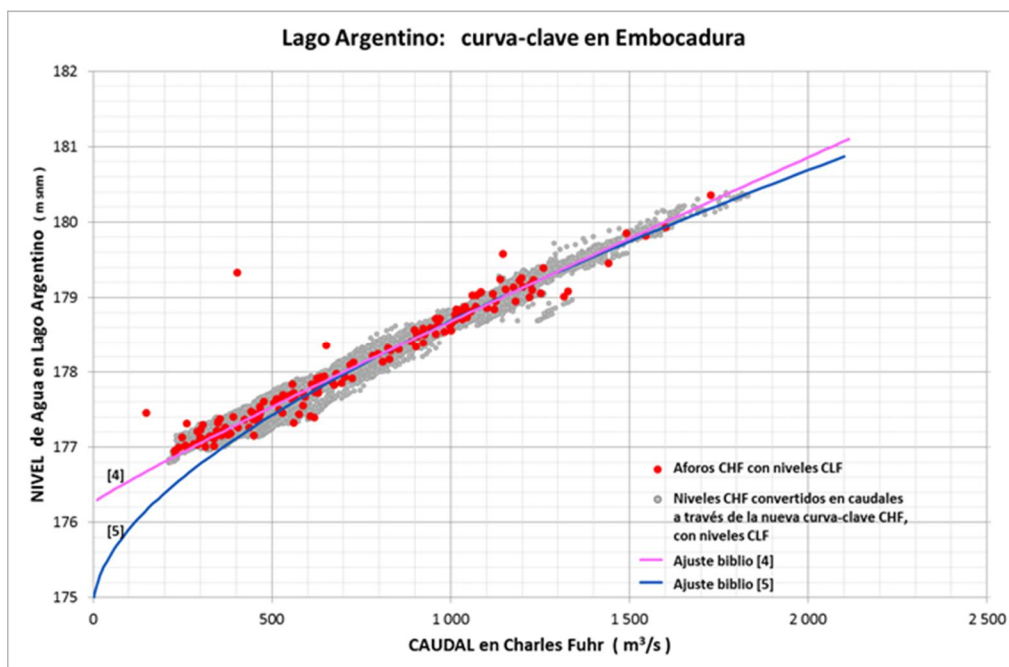


Figura 26: Curva-clave EMB: ajuste de funciones

En los párrafos que siguen, se estudia el comportamiento hidráulico de la sección de salida del lago.

4.2.3 Análisis del funcionamiento hidráulico de la sección de salida del Lago

La figura 27 muestra la topo-batimetría de la salida del lago (naciente del emisario), dónde se encuentra la sección que llamamos Embocadura (EMB).

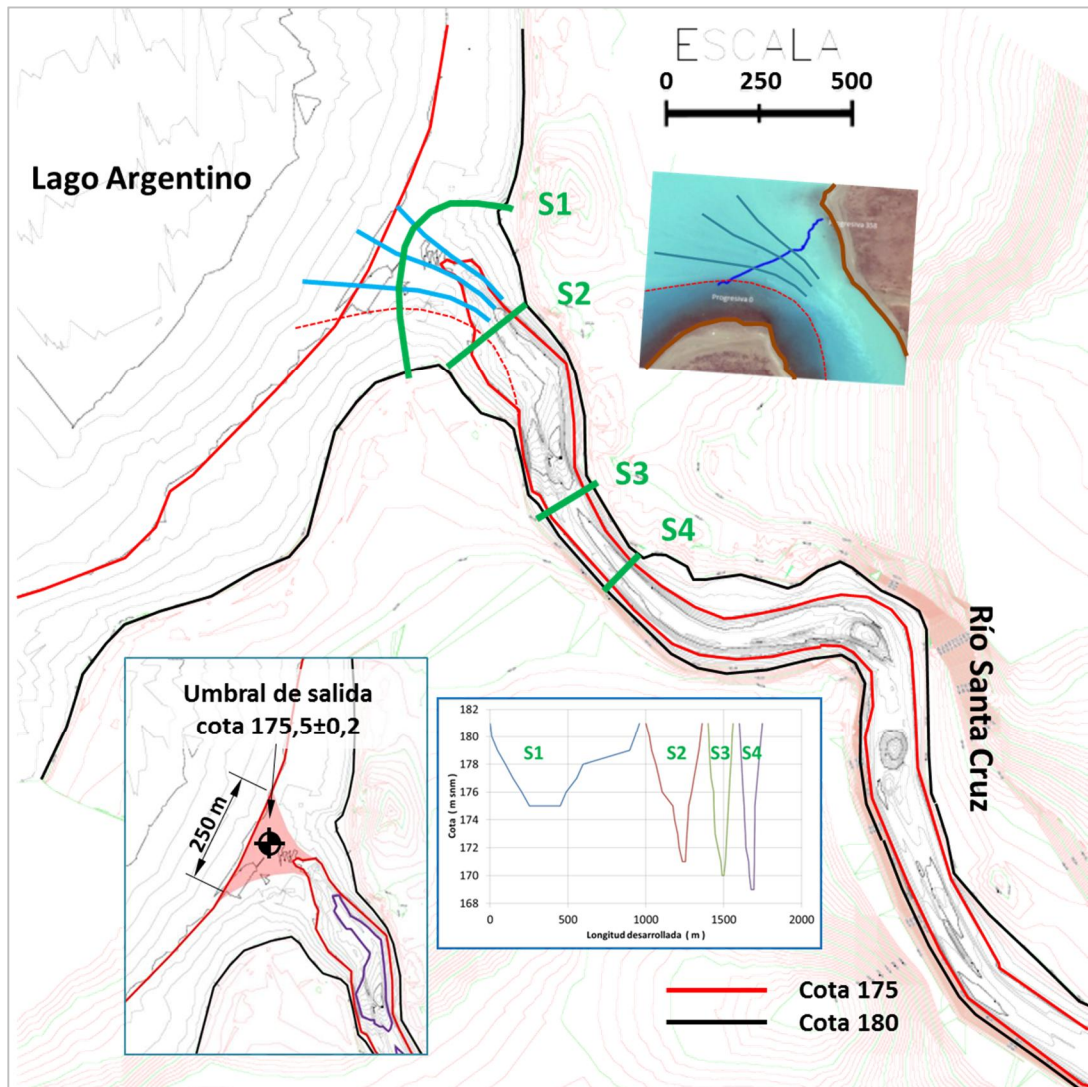


Figura 27: Configuración de la sección de salida del lago

Sobre la topo-batimetría de la zona de embocadura se han marcado:

- cuatro secciones singulares (S1 a S4) ya sea por tratarse de un umbral (S1 y S3) o porque siendo estrechas podrían llegar a constituir una sección de control hidráulico. En el encuadrado inferior se muestra la geometría de las secciones. Cada una de ellas es perpendicular al flujo.
- el umbral topográfico que establece la frontera entre el lago (más bajo) y el río (más bajo también). Su cota se estima a 175,5±0.2 m snm.
- trayectorias líquidas leídas en una fotografía favorable a esos efectos.

Con las respectivas geometrías se calcularon los tirantes críticos y los niveles de energía para diversos caudales en cada sección, resultando cuatro curvas-clave como se muestra esquemáticamente en la figura 28.

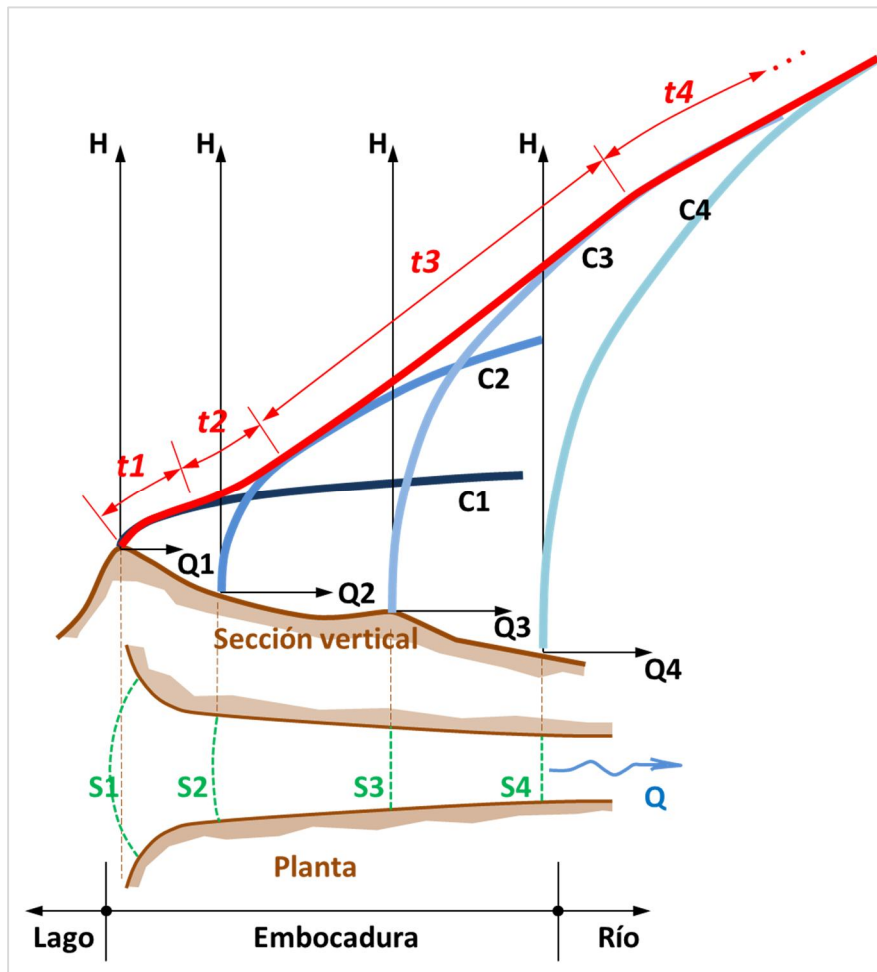


Figura 28: Explicación de la curva-clave en la embocadura

El esquema representa en forma simplificada la embocadura del Río Santa Cruz. A la luz de este esquema las singularidades de la curva-clave correspondiente se explican de la siguiente manera:

- la primera sección, S1, la más próxima al lago, es un umbral que separa al lago del río. La cresta de ese umbral es el punto más alto a lo largo del thalweg desde el lago hasta el río. Siendo un umbral, controla el flujo que sale del lago. Pero se trata de una sección muy extendida (gran desarrollo) y en consecuencia su curva-clave (C1) es chata (puede evacuar grandes caudales con cargas reducidas).
- unos metros aguas abajo, el nivel del fondo es inferior al del umbral pero, como la sección es más estrecha, la curva-clave (C2) es más esbelta. Ello quiere decir que para que un dado caudal pueda escurrir, necesita un nivel de agua más elevado. Para caudales relativamente elevados, la curva C2 toma el control hidráulico y ahoga a la sección C1. El fenómeno puede repetirse varias veces de modo que cada sección singular controla el flujo para una gama determinada de caudales.
- la curva-clave de la embocadura se compone entonces de varios tramos que corresponden a controles hidráulicos que se desplazan sucesivamente de una sección a la otra, hasta que, más aguas abajo, el control hidráulico no es más condicionado por la geometría de las secciones sino por la fricción de las paredes.

- los diversos tramos de la curva-clave compuesta son, según el esquema presentado:
 - * t1: para los caudales más bajos es el umbral de salida del lago que impone los niveles de agua,
 - * t3: varias curvas-clave individuales toman sucesivamente el relevo. La curva-clave compuesta es tangente a las individuales. En nuestro caso, en particular, este tramo es prácticamente una línea recta.
 - * t2: es la transición entre t1 y t2. Los puntos representativos de los aforos en las figuras 25-derecha y 26 pertenecen a los tramos t2 (parcial) y t3.
 - * t4: para los niveles más altos, una de las secciones del tramo de embocadura conserva el control hidráulico. La curva-clave compuesta copia la forma de la curva-clave individual correspondiente. En este tramo la curva tiene una marcada concavidad hacia abajo como todas las curvas hidráulicas fluviales.

Para poder verificar la lógica explicada más arriba, relativa a la forma de la curva-clave compuesta se estableció una correlación entre los valores de lectura de escala en CHF y en ARG (figura 29-A) y luego entre niveles de agua en ARG (Lago Argentino) y caudales en CHF (figura 29-B). Como se verá, las conclusiones del análisis precedente, relativas a la forma de la curva-clave, se confirman.

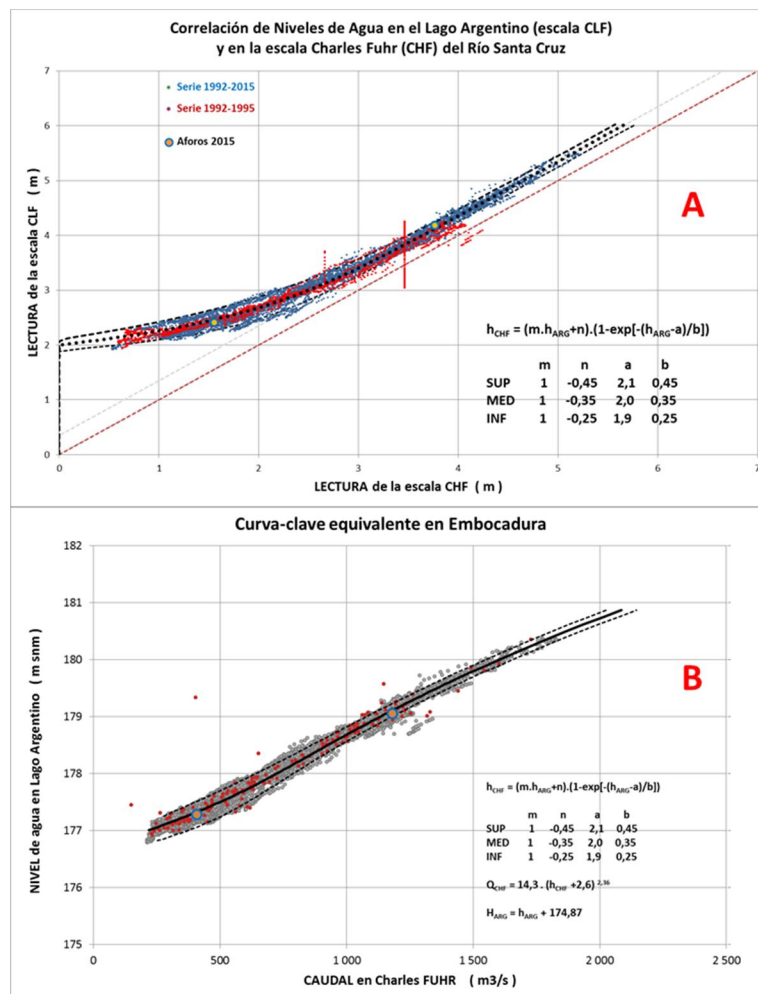


Figura 29: Forma de la curva-clave Embocadura

Finalmente, se obtuvieron las ecuaciones de las curvas-clave individuales (componentes) que se redujeron de cuatro a tres, ya que se observó que la sección S3 (umbral intermedio) no controlaba el flujo.

Las ecuaciones adoptadas son de tipo potencia; sus parámetros se indican en la figura 30, donde, además de la curva-clave general, se muestran también las componentes.

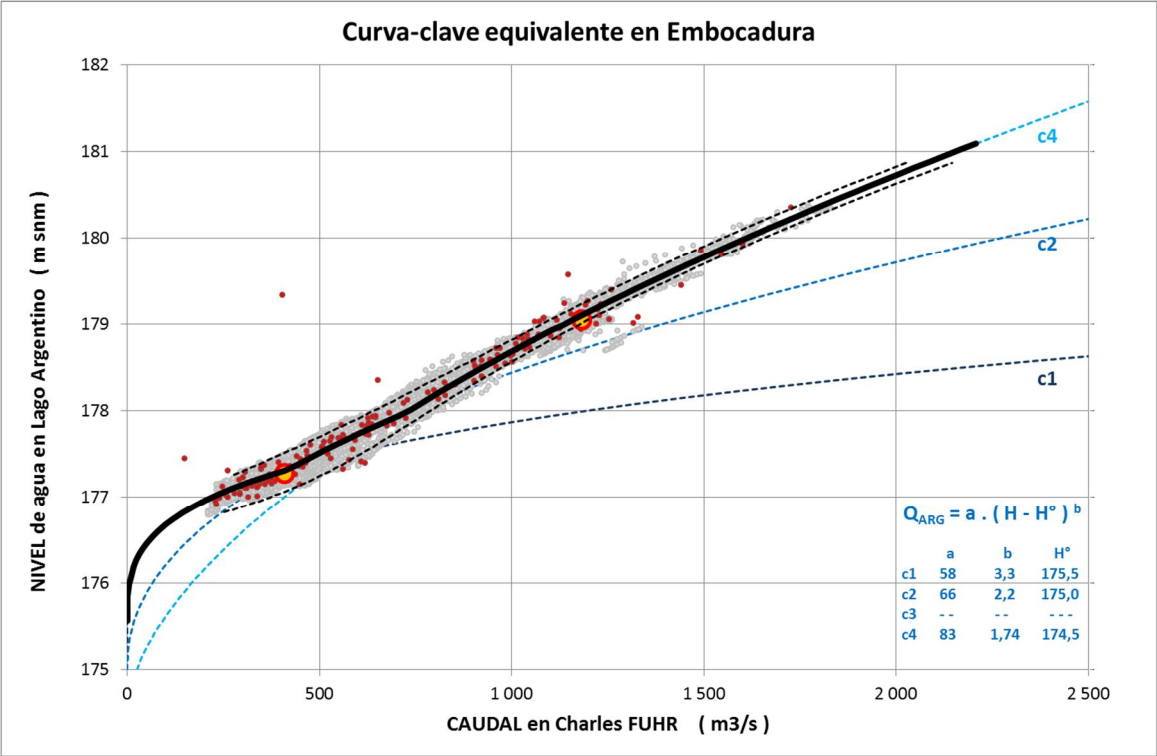


Figura 30: Curva-clave Embocadura

4.2.4 Régimen Fluvial en Embocadura

Hemos llamado Embocadura a la sección de salida del Lago Argentino, que es a la vez naciente del Río Santa Cruz, su emisario. Más que una sección determinada, se trata de un tramo de transición entre un régimen lacustre aguas arriba y un régimen fluvial aguas abajo.

Cuando se estudiaron, más arriba, los aspectos físicos, topo-batimétricos e hidráulicos de la Embocadura, se concluyó que:

- para los caudales bajos, es el umbral (la sección limítrofe entre el lago y el río) que domina la ley de descarga y controla el flujo,
- para caudales intermedios, es una de las angosturas próximas al umbral la que controla el flujo, y
- para los caudales superiores, es una sección ulterior (todavía más aguas abajo) la que toma el relevo y controla el flujo.

La curva-clave de la sección virtual Embocadura (EMB) se construyó a partir de esos hechos físicos, observados en la topo-batimetría. En ella hay tres tramos bien diferenciados (figura 30) que testimonian los tres comportamientos citados más arriba. Se vio además que la curva compuesta que había resultado se adaptaba bien al conjunto de puntos cota-caudal registrados. En realidad se hicieron pequeños ajustes de coeficientes para que la curva quedase centrada con respecto a los relevamientos históricos. Ver figura 30.

Ahora bien, si se transporta verticalmente la curva-clave de Charles Fuhr (CHF), se la puede hacer coincidir con el tramo superior de la curva-clave compuesta de Embocadura. Si la forma de la curva-clave CHF fuese representativa de este primer tramo del Río Santa Cruz (unos 7 km desde el umbral del Lago), se podría decir que el tramo superior de la curva-clave EMB es de tipo fluvial. Con esta observación se completa la interpretación del comportamiento hidráulico de la sección de salida del lago, como se muestra, además, en la figura siguiente.

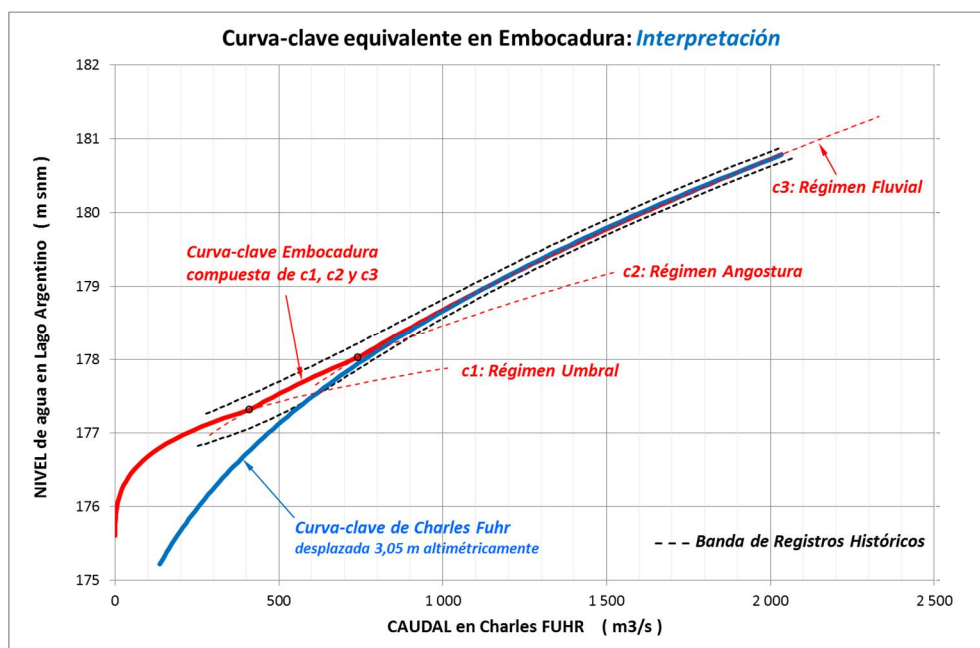


Figura 31: Interpretación de la curva-clave Embocadura

4.2.5 Valores adoptados

El análisis de consistencia de los datos disponibles y el estudio de las curvas-clave de la estación limnimétrica Charles Fuhr (CHF) y del Lago Argentino en Embocadura (EMB) han permitido disponer de datos de aforos y de niveles de agua depurados y fiables y de ecuaciones representativas de las curvas-clave que se ajustan a los datos existentes y que tienen sentido físico.

La figura 32 resume esos resultados e indica las ecuaciones de las curvas-clave adoptadas, que se utilizarán en los estudios que siguen.

Nótese que en la gráfica hemos añadido la curva *RF* (de Régimen Fluvial). Esta nueva curva es igual a la curva-clave CHF pero transpuesta verticalmente (+3,05 m) hasta hacer tangencia inferior con el tramo superior de la curva-clave EMB, con la que prácticamente coincide, para caudales superiores a 800 m³/s. Ello muestra que la sección Embocadura está gobernada por el umbral para caudales bajos y por el río para los caudales superiores.

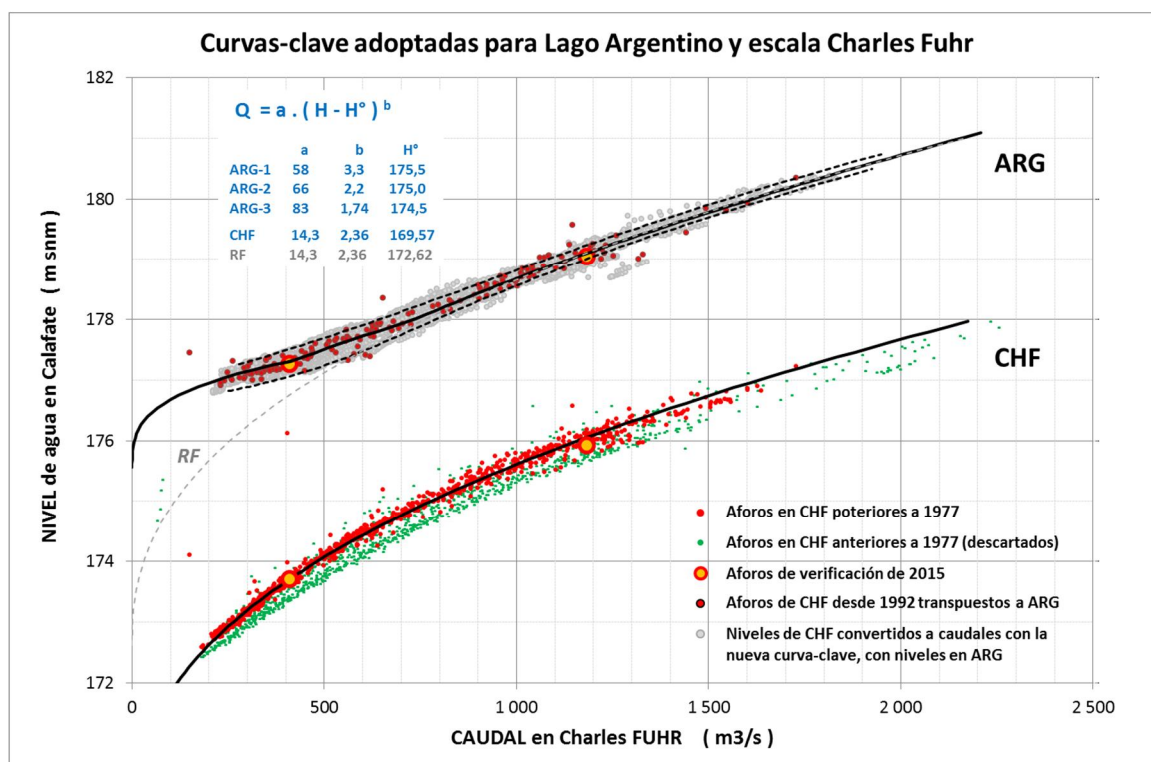


Figura 32: Curvas-clave adoptadas

La figura 33 resume en un solo gráfico la estacionalidad y la duración de niveles agua del Lago Argentino de los caudales de su emisario, el Río Santa Cruz.

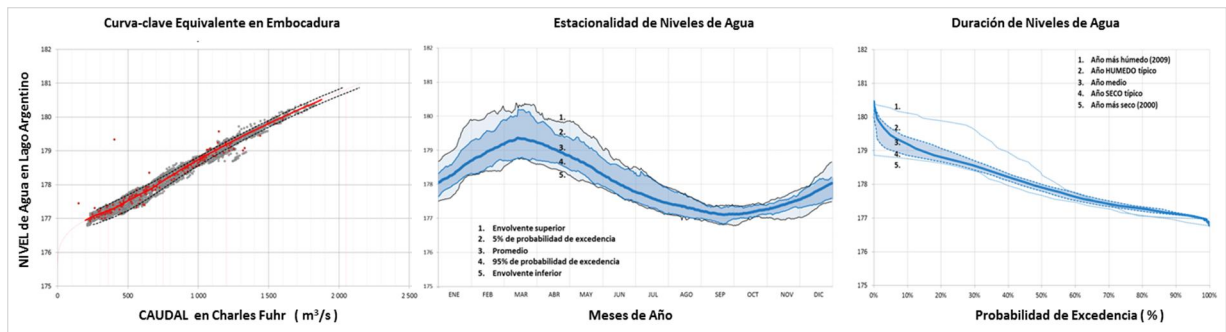


Figura 33: Resumen de datos hidrométricos del Lago Argentino

5. Características del P.H.N.K.

En este capítulo se describen las obras de evacuación del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner así como las reglas de operación del embalse, que podrían influenciar los niveles de agua del Lago Argentino.

Dichos órganos son el vertedero y la central hidroeléctrica.

El vertedero se compone de 4 vanos de 12,00 m de ancho calados a la cota 167,50 m snm, controlados por compuertas de segmento. La figura 34 (extraída del informe de diseño [8]) indica las características principales.

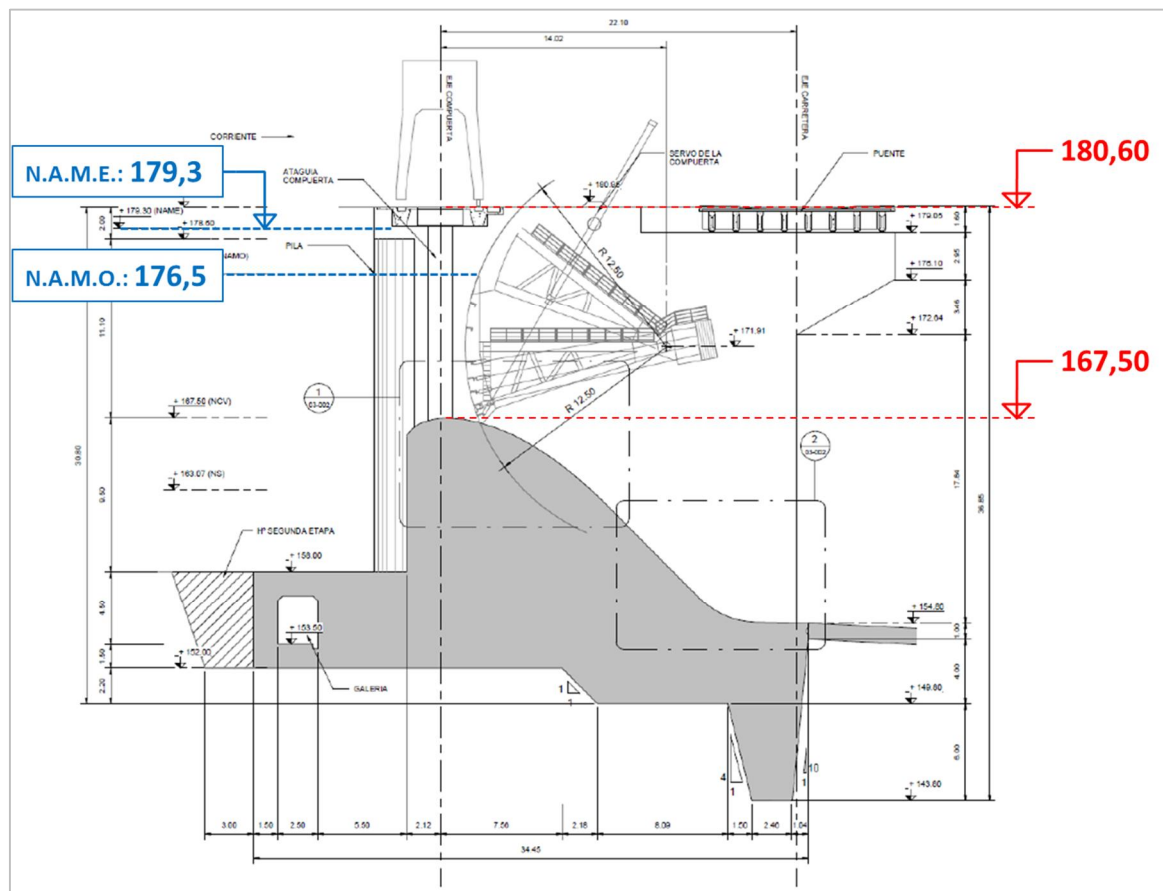


Figura 34: Corte de la cresta del vertedero. Fuente: Figura 5.8 de [8]

El nivel de agua máximo ordinario (NAMO) fue fijado a la cota 176,5 m snm con el objetivo de no afectar los niveles de agua del Lago Argentino. Este estudio se ocupa justamente de verificar esa condición. En el diseño precedente (documentos de licitación) el valor del NAMO era 178,9 m snm.

El nivel de agua máximo extraordinario (NAME) es 179,3 m snm. Se produciría si se presentase la crecida de diseño de 4.100 m³/s, con un período medio de retorno de 10.000 años.

La figura 35 muestra la curva de descarga del vertedero.

En ella puede verse que la capacidad de evacuación del vertedero a la cota 176,5 es de 2.650 m³/s. Este caudal tiene una recurrencia media de unos 75 años (ver tabla 3).

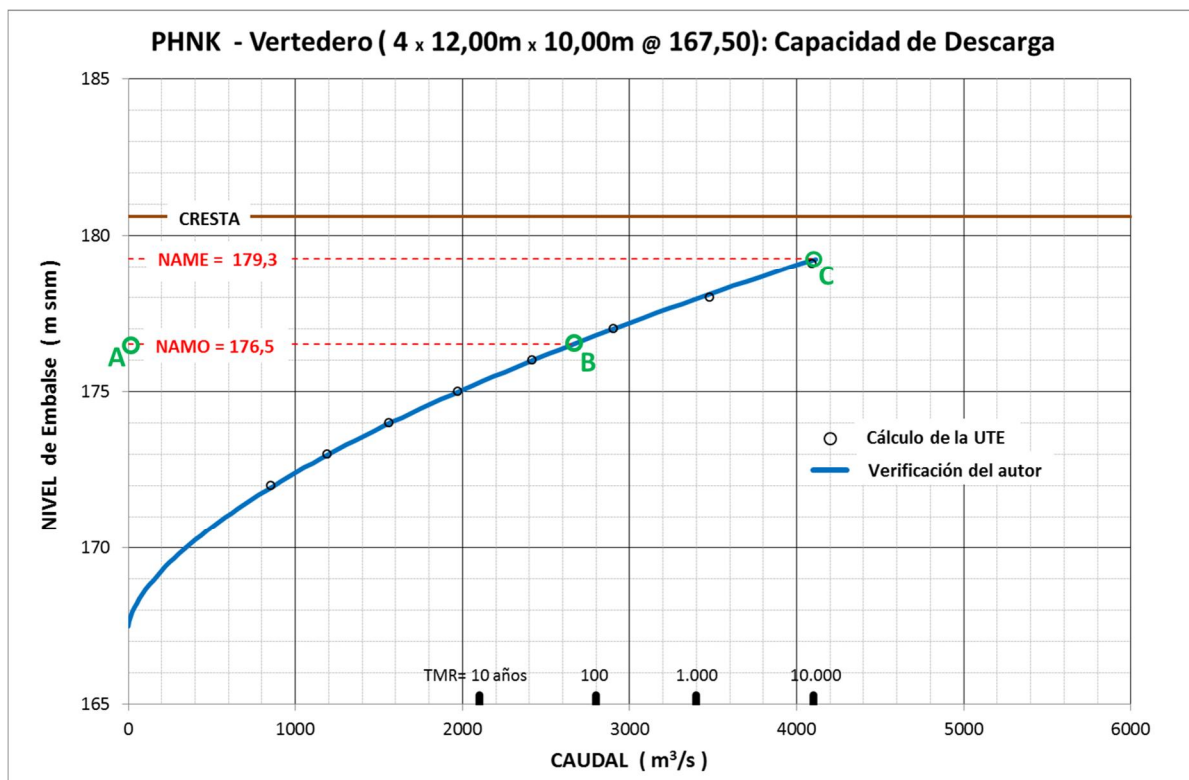


Figura 35: Capacidad de descarga del vertedero

A la cota 176,5 m snm, el conjunto de las turbinas puede descargar unos 1.600 m³/s.

La simple adición de las capacidades de evacuación, a la cota 176,5, del vertedero y de la central carece de sentido ya que la central habrá dejado de funcionar para una crecida centenaria (o algo más) por razones operativas, de acceso y también de seguridad.

Más allá de ese límite, el nivel del embalse aumentará siguiendo la rama BC de la curva de descarga del vertedero. Más adelante se verificará si este aumento de niveles de agua en el embalse modifica o no las condiciones naturales, para los mismos caudales.

Recurrencia de Picos de Crecida											
T.M.R.	(años)	10	20	50	100	200	500	1 000	2 000	5 000	10 000
Q _{MAX-DIARIO}	(m ³ /s)	2 100	2 300	2 600	2 800	3 000	3 200	3 400	3 600	3 900	4 100

T.M.R.: Período Medio de Retorno
 Q_{MAX-DIARIO}: Caudal Máximo Diario

Tabla 3: Picos de crecida del Río Santa Cruz para distintos períodos de retorno

6. Curvas de Remanso

6.1 Conceptos

Se llama curva de remanso al perfil hidráulico longitudinal a lo largo de un curso de agua, para un caudal dado, generado por un obstáculo en ese curso de agua. El obstáculo puede ser una presa, como en nuestro caso.

La gráfica que sigue resume los conceptos básicos relativos a las curvas de remanso.

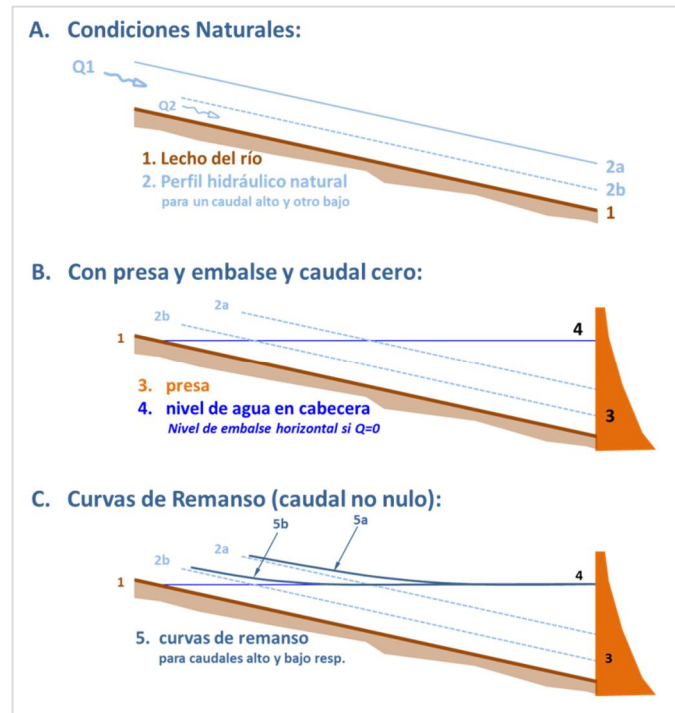


Figura 36: Curvas de remanso - Conceptos

Es útil notar que:

- si el caudal que fluye es nulo, el nivel de agua en el embalse será horizontal;
- las curvas de remanso convergen asintóticamente hacia el perfil hidráulico natural correspondiente al mismo caudal;
- el efecto de remanso para un caudal elevado se extingue antes (más cerca de la presa) que para un caudal bajo;
- visto que la convergencia es asintótica (contacto en el infinito) se acepta corrientemente que el límite práctico del efecto de remanso, para un caudal dado, ocurre cuando la diferencia en altura entre el nivel remansado y el nivel natural es inferior al 1% del tirante local de agua o inferior a 10 cm. La noción subyacente es que esa diferencia es imperceptible;
- aguas arriba de ese límite el observador no percibe diferencia entre el antes y el después. Para él todo ocurre como si aguas abajo no hubiese ningún obstáculo en el cauce del río.

El mismo fenómeno puede percibirse desde una óptica local, preguntándose, para una sección dada del río, cómo varían los niveles de agua en ese mismo lugar cuando se modifican los niveles de agua del embalse creado por la presa, en una sección aguas abajo de la del observador. La siguiente figura da una respuesta gráfica a esa pregunta.

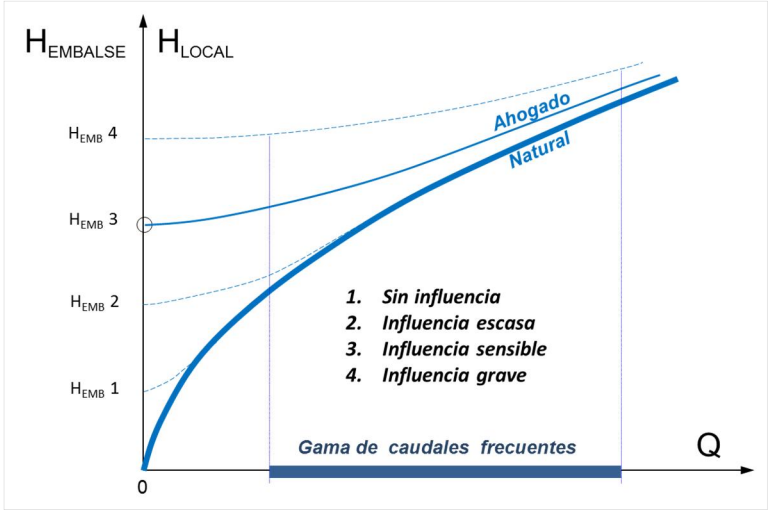


Figura 37: Influencia de la variación del nivel del embalse, para una posición dada

Igualmente, los conceptos de la figura 36 pueden leerse a través de las curvas-clave de distintas secciones del río, a cotas cada vez más altas a medida que se alejan de la presa.

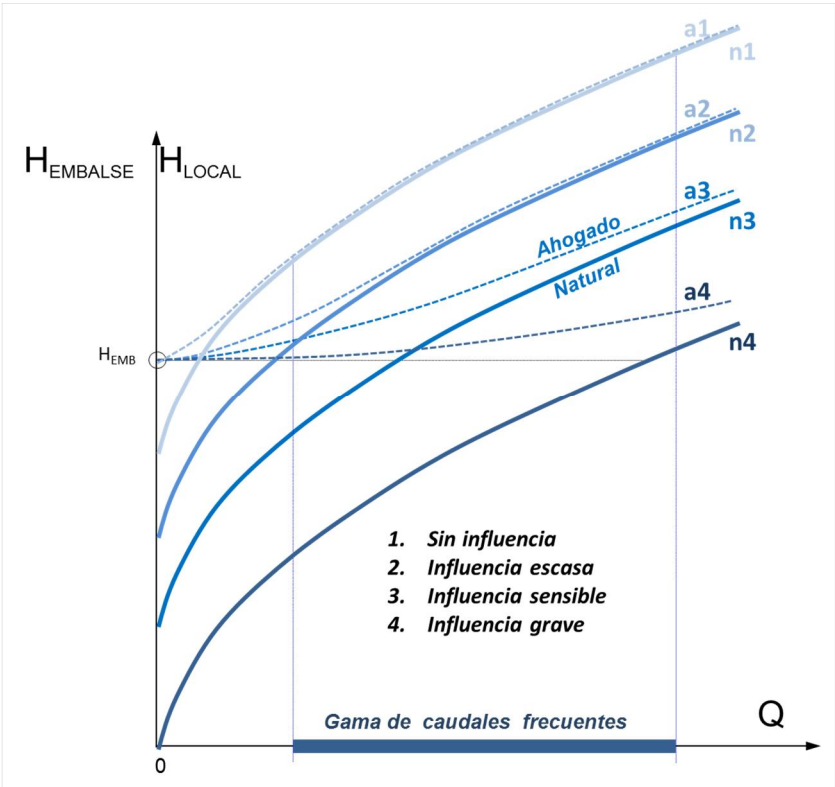


Figura 38: Influencia de la posición del observador, para un nivel dado de embalse

6.2 Métodos de cálculo

Los efectos de remanso en una sección dada de un río pueden calcularse mediante dos métodos alternativos:

- los métodos regionales (o extensivos), que propagan el nivel de energía del escurrimiento a lo largo de toda la región afectada, desde el emplazamiento del obstáculo (presa, por ejemplo) hacia aguas arriba, hasta que se extingue el efecto de remanso. A partir de los niveles de energía se deducen los niveles de agua.
- el método local que, conociendo de antemano la curva-clave de un lugar dado, se ocupa de estudiar, sólo para esa sección, el efecto de un obstáculo distante.

Los métodos regionales proveen como resultado la curva de remanso, es decir, el perfil hidráulico longitudinal completo. El método local (no regional) estudia solamente cómo se modifica la curva-clave local a causa de una perturbación distante en el cauce del río.

En la medida en que los métodos regionales calculan el perfil hidráulico longitudinal completo, pueden proveer la curva-clave de cualquier sección a lo largo del río. No así, el método local que sólo estudia una sección conocida en condiciones naturales, para evaluar cómo varía su curva-clave en función de distintas características del obstáculo de aguas abajo.

Los métodos regionales requieren abundante información. En efecto, se necesita conocer la topo-batimetría de todo el cauce del río, desde el obstáculo hasta la sección en estudio o hasta la extinción del efecto de remanso. Requiere además conocer niveles de agua históricos y sus correspondientes caudales en varios puntos intermedios del cauce del río con el fin de poder calibrar el modelo de cálculo. La calibración del modelo consiste en modificar por tramos la rugosidad del lecho (parámetro que no puede medirse) para reproducir por cálculo, con suficiente precisión, los niveles históricos.

En contraposición, el método local no necesita más que el conocimiento de la curva-clave local. El único parámetro regulable del método (el coeficiente de la función de transferencia) tiene una franja estrecha de variación. Su valor está directamente ligado al tipo del cauce del río, por lo que puede adoptarse a partir de una "biblioteca" de valores antecedentes o determinarse haciendo uso de un modelo regional simplificado y de proximidad. [9].

Los modelos regionales utilizan las ecuaciones de movimiento y de continuidad del flujo y pueden ser 1D, 2D ó 3D (uni-, bi- o tridimensional), según la complejidad geométrica del cauce, en particular en el extremo aguas arriba del modelo.

La figura 39 muestra los conceptos básicos del método regional.

El método local se basa en el hecho físico de la pérdida de capacidad de descarga de un órgano de evacuación cuando se lo ahoga desde aguas abajo. El caudal que se lee en la curva-clave en condiciones anegadas es una fracción del caudal natural para el mismo nivel de agua. La función de transferencia entre una y otra condiciones se deduce a partir de dos condiciones límite: cuando el caudal es cero, el nivel de agua local copia la cota de agua en la sección del obstáculo (embalse horizontal) y cuando el caudal es muy elevado, el nivel de agua anegado converge asintóticamente hacia el nivel natural. La figura 40 muestra los elementos fundamentales del método local.

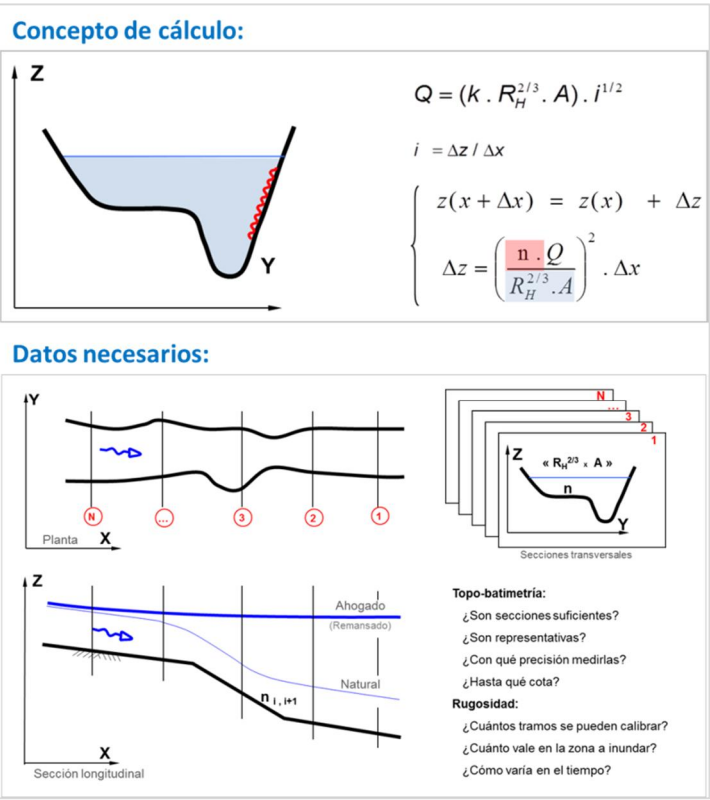


Figura 39: Remanso: Método regional, descripción

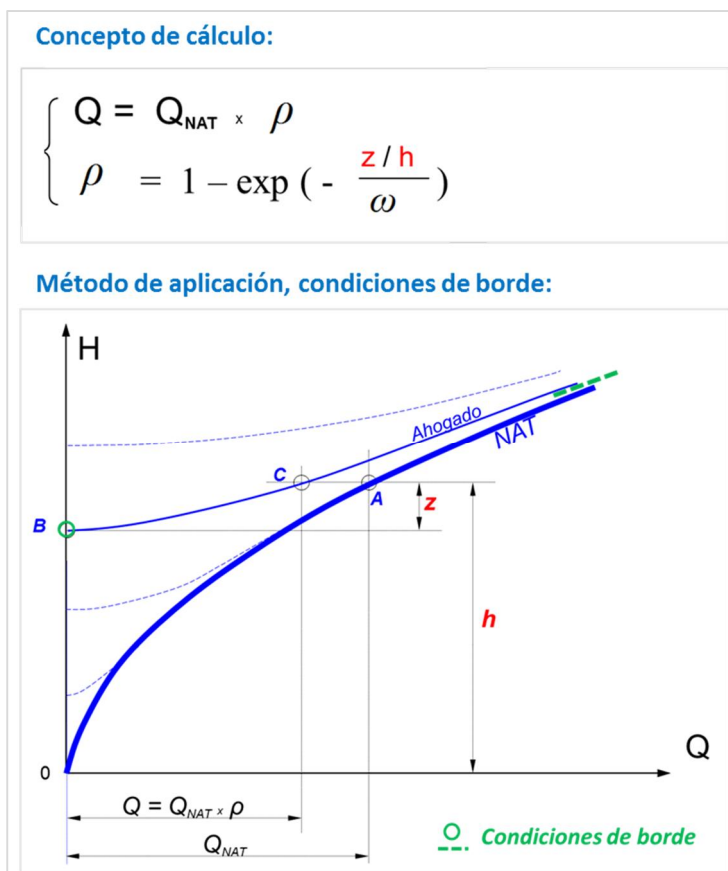


Figura 40: Remanso: Método local, descripción

6.3 Cálculo de la curva de remanso de la U.N.L.P.

La Universidad Nacional de la Plata realizó los estudios que condujeron a adoptar la cota 176,5 m snm como nivel máximo ordinario de operación del embalse NK. Para ello realizó, entre otros análisis, un estudio de remanso [4] para confirmar el desacople hidráulico entre el PHNK y el Lago Argentino.

Utilizó un modelo matemático 3D de elevada sofisticación (Flow-3D) para tener en cuenta la complejidad de la zona de la embocadura, acoplado con un modelo 1D (HEC-RAS) para proveer las condiciones de borde al primero.

Flow-3D es el nombre comercial del programa de Flow Science Inc., ampliamente difundido en el ámbito de las obras hidráulicas.

HEC-RAS (River Analysis System) es el modelo 1D de cálculo hidráulico del Hydrologic Engineering Center (HEC) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE).

El modelo 3D cubre una extensión de unos 7 km incluyendo parte del Lago y el río hasta la estación limnimétrica Charles Fuhr.

El modelo 1D tuvo una longitud de 35 km, “elegida para comprobar la incidencia del nivel en el embalse NK hacia aguas arriba y poder así mantener una interacción con el modelo tridimensional”. Los primeros 20 km del modelo (desde el Lago Argentino) se calibraron con los datos de la campaña hidrométrica ad-hoc de Abril de 2015.

Los resultados del estudio se resumen en la figura siguiente y se grafican a continuación.

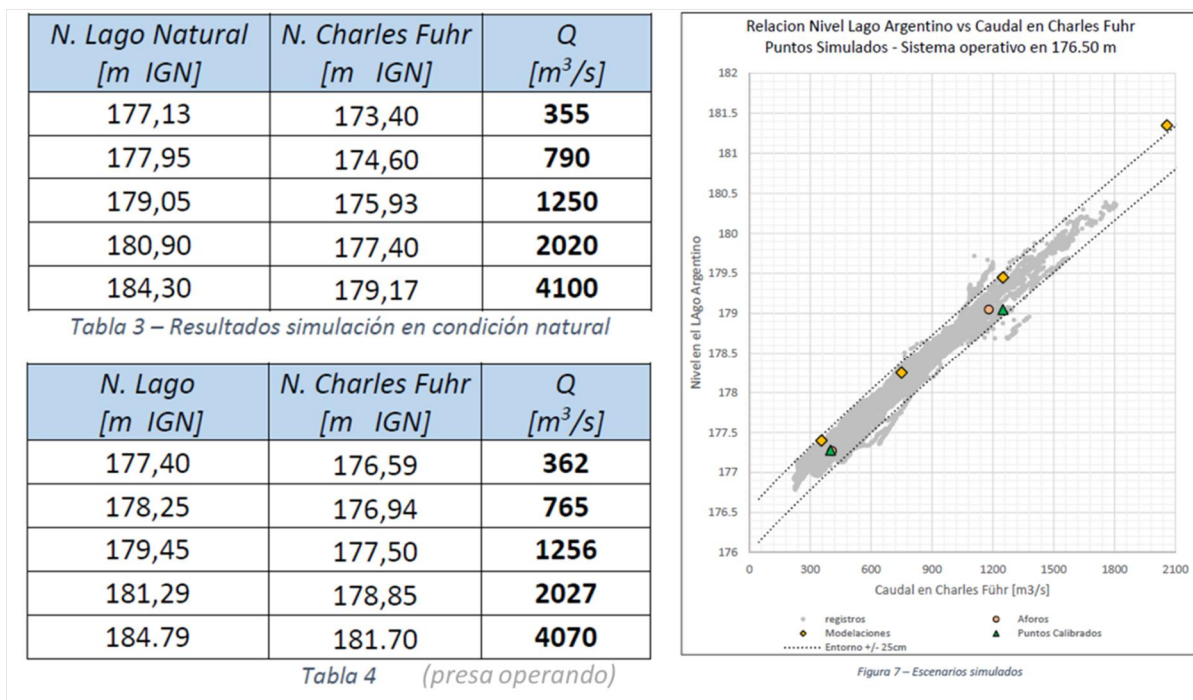


Figura 41: Resultados del estudio de la UNLP

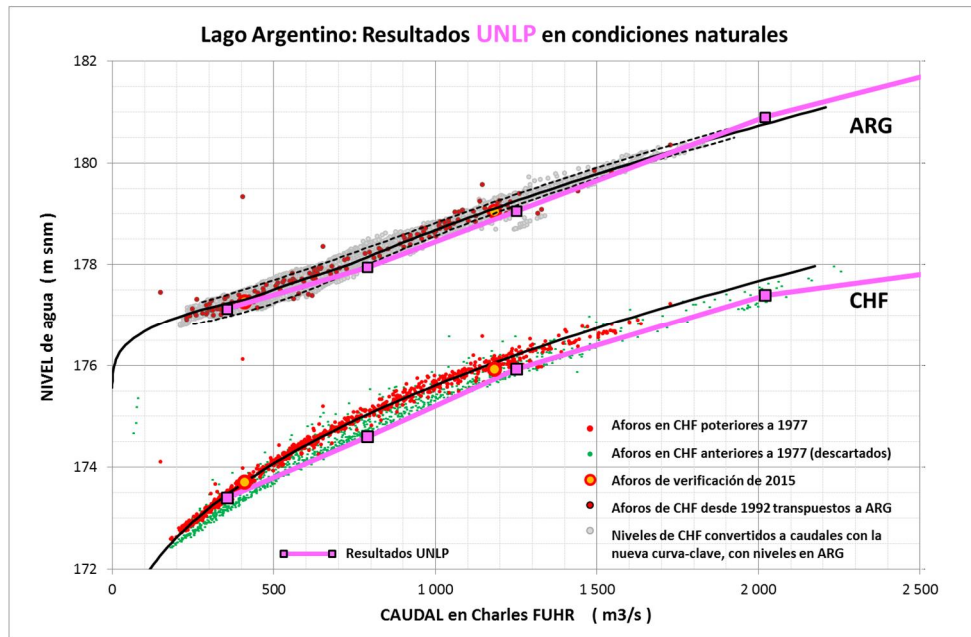


Figura 42: Resultados del cálculo 3D de la UNLP para condiciones naturales

En la figura 42 se ve que el modelo 3D reproduce correctamente la complejidad de la curva-clave natural en Embocadura, mostrando incluso el cambio de forma, que pasa de concavidad a convexidad, como lo muestran los registros históricos.

El nivel de agua para el caudal de cálculo más bajo ($360 \text{ m}^3/\text{s}$) se halla dentro de la banda de los valores históricos de Lago Argentino. Para caudales entre $700 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1.700 \text{ m}^3/\text{s}$ los valores calculados pasan por debajo de esa banda.

En ambos casos la explicación debe verse parcialmente en los niveles de CHF, que constituyen la condición de borde del modelo 3D, pero que provienen del modelo 1D. El modelo numérico debió primeramente haber reproducido los niveles históricos en CHF antes de realizar el cálculo en condiciones embalsadas.

Lamentablemente el caudal inferior de cálculo ($360 \text{ m}^3/\text{s}$) es todavía sensiblemente más elevado que el mínimo histórico de $180 \text{ m}^3/\text{s}$ que hubiera sido deseable simular para cubrir toda la gama del registro. Se recuerda que las máximas diferencias entre condiciones naturales y embalsadas se verán para los caudales bajos (cf. figuras 36 y 37).

Si se ajustase la rugosidad del modelo con el fin de reproducir exactamente los niveles naturales históricos se observaría que los niveles embalsados subirían para toda la gama de caudales pero que las diferencias con respecto a los niveles naturales serían menores. Ello se debe a que la curva de niveles embalsados sube menos que la de niveles naturales por el hecho de estar vinculada ("atada") a la condición de borde que impone que para caudal cero la curva tome siempre el valor de la cota del embalse, pase lo que pasare con los niveles naturales.

En la figura siguiente se reúnen los resultados del cálculo 3D de la UNLP en condiciones naturales y embalsadas.

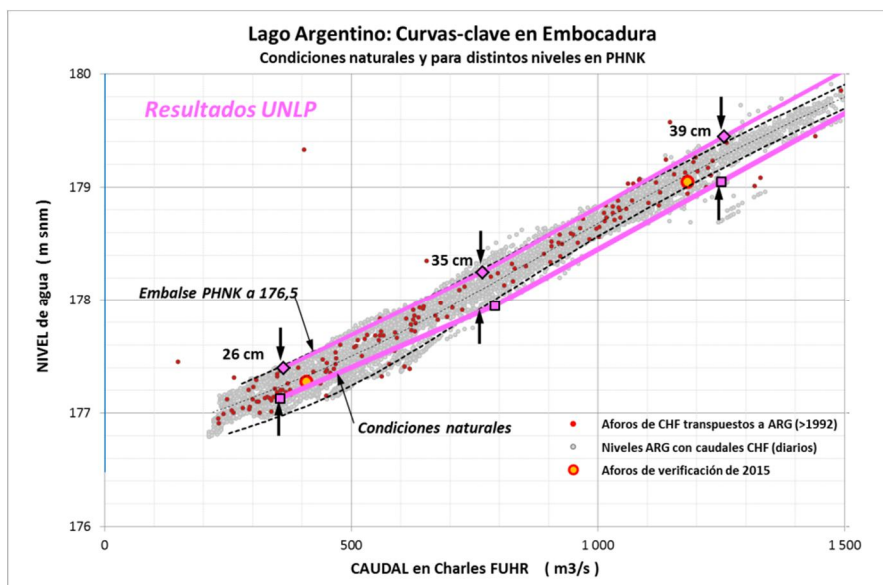


Figura 43: Resultados del cálculo 3D de la UNLP con el PHNK a 176.5

Llama la atención la falta de convergencia de la curva de niveles embalsados hacia la curva de niveles naturales, a medida que los caudales aumentan. En efecto, para el caudal inferior esa diferencia es de 26 cm, valor que aumenta hasta 39 cm para 1.250 m³/s y luego se mantiene constante hasta 2.000 m³/s. El último valor (4.100 m³/s) no puede incluirse en este análisis ya que fue simulado con una cota de embalse de 179,3 m snm, correspondiente a la condición impuesta por la capacidad de erogación del vertedero.

		Lago Argentino:				
		Efecto del Embalse NK a cota 176,5				
Caudal	m ³ /s	362	765	1 256	2 027	4 070
Nivel Natural de Registro	m snm	177,24	178,08	179,27	180,77	183,87
Nivel Natural Calculado	m snm	177,14	177,90	179,06	180,91	184,25
Nivel Embalsado Calc.	m snm	177,40	178,25	179,45	181,29	(1)
Diferencia Nat. Calc. - Nat. Registro	m	-0,10	-0,18	-0,20	0,14	0,38
Diferencia Embalsado-Nat.Calc.	m	0,26	0,35	0,39	0,38	(1)

(1): La UNLP calculó este caso con una cota de embalse de 179,1 m snm, necesaria para poder evacuar el caudal correspondiente.

Tabla 4: Niveles de agua resultantes del estudio UNLP

Los autores del estudio atribuyen esta singularidad (la falta de convergencia) a la complejidad del flujo en la zona del umbral de salida, que el modelo 3D trata con gran detalle. No creemos que sea ésta la causa ya que, como se ve en la figura 31, la curva-clave Embocadura muestra un comportamiento fluvial para caudales superiores a 700 m³/s. Pareciera que para caudales elevados, todo ocurre como si el umbral no existiese.

La diferencia entre los niveles de agua natural y embalsado es de 0,26 m para el menor caudal de cálculo (360 m³/s) y de 0,4 m para el módulo y caudales mayores. ¿Qué magnitud tomarían estas diferencias si se ajustasen las características del modelo para reproducir en primer lugar las condiciones naturales con mayor precisión?

A continuación se hace un análisis cualitativo, semejante a éste, de los datos del estudio de la UTE. Luego se hará una comparación entre ambos, antes de utilizar el método “local” para responder a esa pregunta y para concluir.

6.4 Cálculo de la curva de remanso de la U.T.E.

La Unión Temporal de Empresas (UTE) *Represas Patagonia* calculó las curvas de remanso a lo largo del Río Santa Cruz utilizando el modelo 1D HEC-RAS el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE).

Un primer tramo de 20 km (desde el Lago) dispone de información topo-batimétrica detallada generada por la misma UTE. De allí hasta el PHNK (km 135) se completó la configuración del vaso con datos de un modelo digital de terreno somero.

La calibración se apoyó en los registros de larga duración de la estación limnimétrica Charles Fuhr y de la campaña ad-hoc realizada en Abril de 2015.

Un modelo 2D (Delft-Flow) fue utilizado para acompañar el cálculo unidimensional, sin embargo el informe del autor no presenta los resultados en forma explícita.

Se modelaron caudales de 355, 700, 1.200, 2.100, 3.000 y 4.100 m³/s.

Los resultados del estudio de remanso realizado por la UTE se resumen en la figura 44.

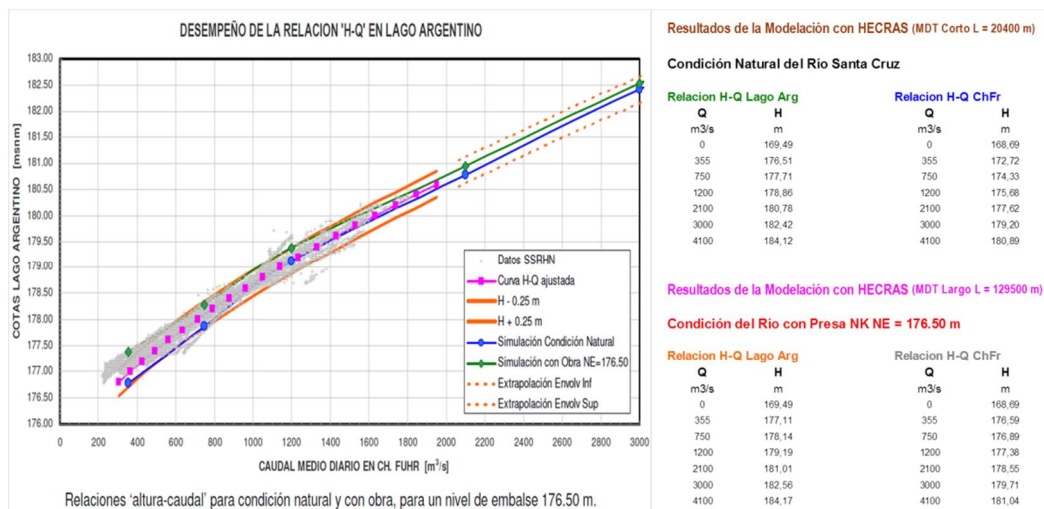


Figura 44: Resultados del estudio de remanso de la UTE

La UTE actualizó sus cálculos en Mayo de 2016. Los nuevos resultados no afectan las conclusiones generales, pero introducen algunas modificaciones que merecen ser editadas. En la figura 44, la gráfica representa los valores precedentes y la tabla, los nuevos valores.

Hemos llevado esos valores a los gráficos ya utilizados, con el fin de facilitar las comparaciones.

Las figuras 45 y 46, que siguen, muestran esos valores.

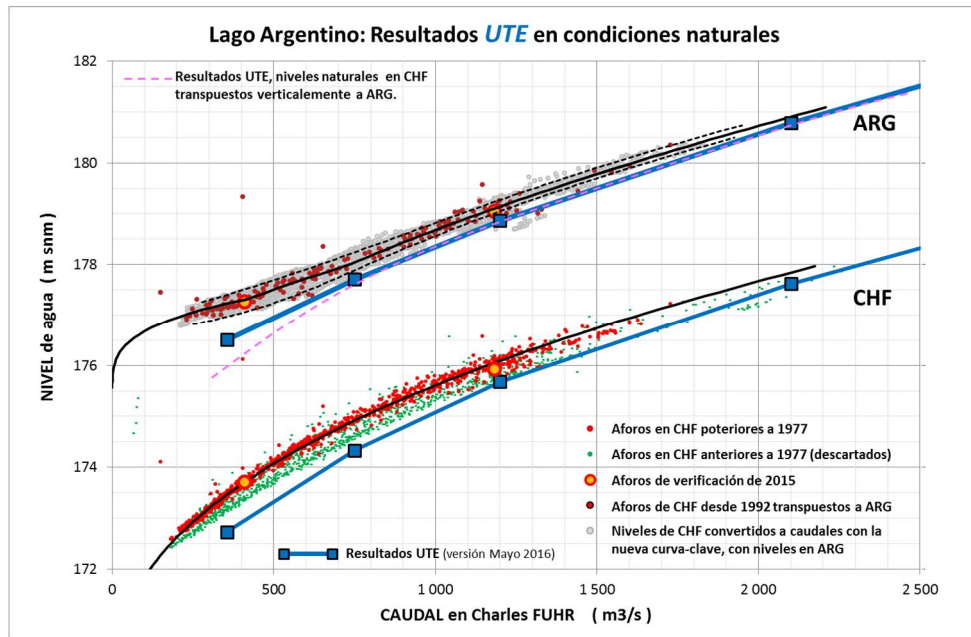


Figura 45: Resultados del cálculo 1D de la UTE para condiciones naturales

Los resultados del cálculo de los niveles naturales en el Lago Argentino (ARG) y en la estación Charles Fuhr (CHF) dan niveles de agua sensiblemente más bajos que los registrados en CHF y en ARG. Para caudales pequeños las diferencias son más importantes y alcanzan los 80 cm y 70 cm respectivamente. Nótese que en CHF los niveles de agua calculados para condiciones naturales son más bajos que la serie baja de valores históricos (verde) que fuera descartada por vicios de registro.

La curva de niveles naturales en CHF simulada por la UTE fue copiada (color rosa, en punteado) en la figura 45 sobre la equivalente para ARG. Se observa una total superposición de ambas curvas, salvo para el caudal inferior, que muestra un nivel calculado unos 50 cm más elevado.

Esto podría estar indicando la presencia de un fondo más elevado, pero no lo suficiente para hacer pasar la curva de convexidad a concavidad como lo muestran los registros históricos. Como los niveles de agua calculados son claramente más bajos que los naturales, acercándonos a la cota de cresta del umbral, su efecto debería ser más notorio aún.

En suma, los niveles naturales calculados en ARG son bajos (ya se inician bajos en CHF) y además no muestran el cambio de curvatura que se observa para caudales bajos, en los registros históricos.

Lamentablemente el caudal inferior de cálculo ($360 \text{ m}^3/\text{s}$) es todavía sensiblemente más elevado que el mínimo histórico de $180 \text{ m}^3/\text{s}$ que hubiera sido deseable simular para cubrir toda la gama del registro. Se recuerda que las máximas diferencias entre condiciones naturales y embalsadas se ven, normalmente, para los caudales bajos.

En la figura siguiente se reúnen los resultados del cálculo 1D de la UTE en condiciones naturales y embalsadas.

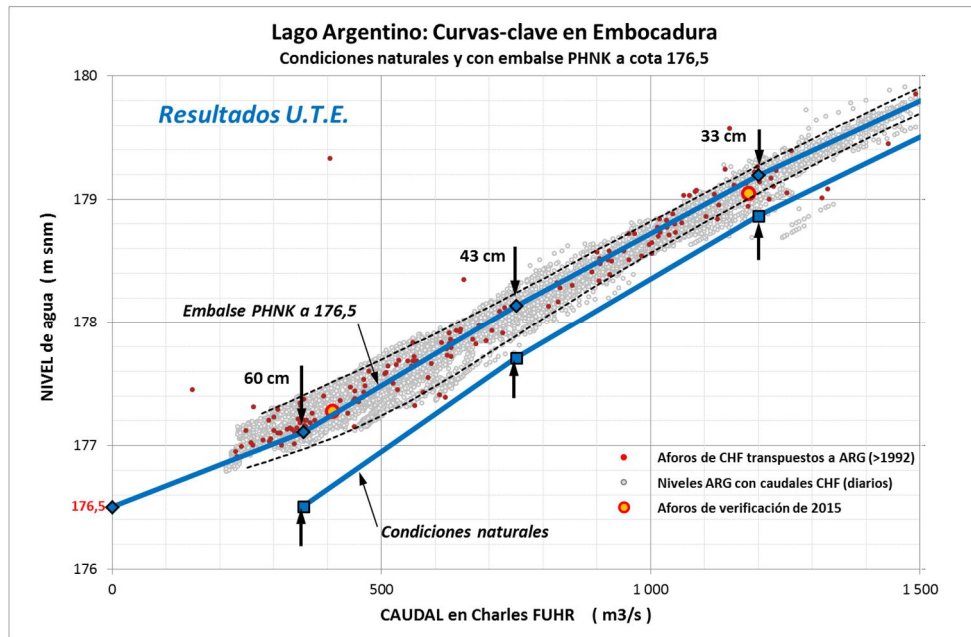


Figura 46: Resultados del cálculo 1D de la UTE con el PHNK a 176.5

Como se ha visto más arriba, los niveles de agua simulados por el modelo para condiciones naturales se hallan sensiblemente por debajo de la nube de puntos dentro de la cual deberían hallarse. Esto es válido para toda la gama de caudales, pero es particularmente importante para los bajos caudales, por lo que decíamos que pareciera que el modelo no refleja la presencia del umbral de salida del lago.

Se observa la convergencia esperable de la curva de niveles embalsados hacia la de niveles naturales, a medida que los caudales aumentan.

Lago Argentino:

		Efecto del Embalse NK a cota 176,5					
Caudal	m ³ /s	355	750	1 200	2 100	3 000	4 100
Nivel Natural de Registro	m snm	177,23	178,04	179,14	180,9	182,36	183,91
Nivel Natural Calculado	m snm	176,51	177,71	178,86	180,78	182,42	184,12
Nivel Embalsado	m snm	177,11	178,14	179,19	181,01	182,56	184,17
Diferencia Nat.Calc. - Nat.Registro	m	-0,73	-0,33	-0,28	-0,12	0,06	0,22
Diferencia Embalsado - Nat.Calc.	m	0,60	0,43	0,33	0,22	0,14	0,05

Tabla 5: Niveles de agua resultantes del estudio UTE

La diferencia entre los niveles de agua natural y embalsado es de 60 cm para el menor caudal de cálculo (360 m³/s) y de 43 cm para el caudal de 750 m³/s (próximo al módulo del río). ¿Qué magnitud tomarían estas diferencias si se ajustasen las características del modelo para reproducir en primer lugar las condiciones naturales con mayor precisión?

Si se ajustasen la topo-batimetría y la rugosidad del modelo para reproducir correctamente los niveles naturales históricos, se observaría que los niveles embalsados subirían para toda la gama de caudales pero que las diferencias con respecto a los niveles naturales serían menores. Ello se debe a que la curva de niveles embalsados sube menos que la de niveles naturales por el hecho de estar vinculada rígidamente a la condición de borde que impone que para caudal cero la curva tome siempre el valor de la cota del embalse, pase lo que pasare con los niveles naturales.

Más adelante se evalúan las consecuencias de un ajuste de esa naturaleza.

6.5 Resumen de los resultados de los dos estudios:

Las figuras que siguen muestran, en dos escalas diferentes, los resultados de los estudios realizados por la Universidad Nacional de la Plata (UNLP) y por la Unión Temporaria de Empresas, Represas Patagonia (UTE). El fin de esta doble presentación es facilitar la interpretación de dichos resultados.

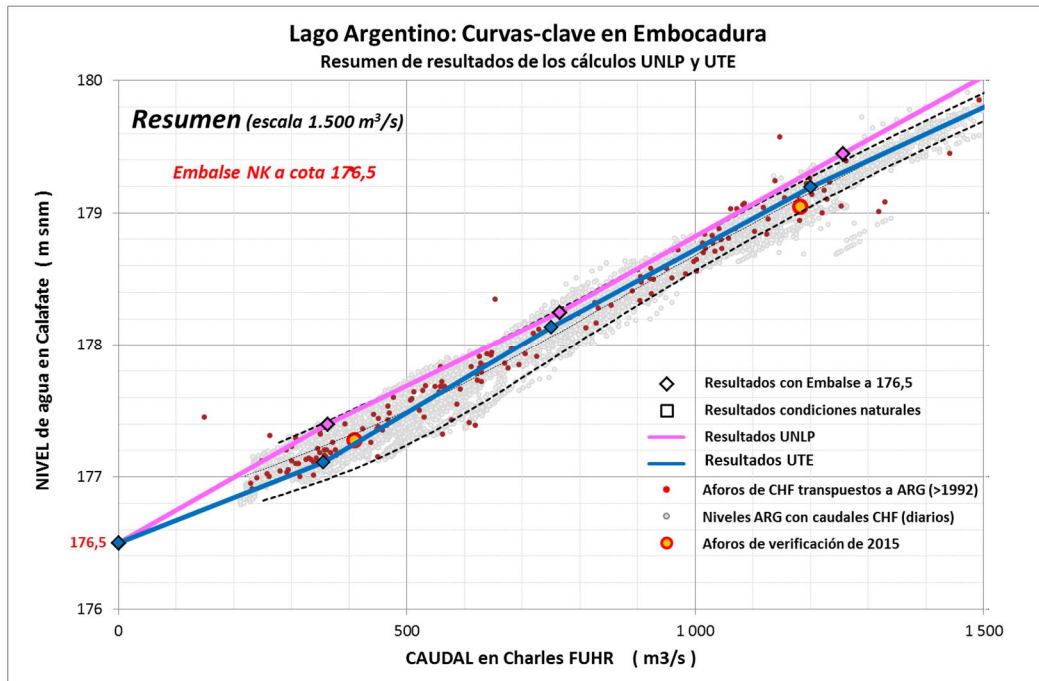


Figura 47: Resumen de resultados (escala 1.500 m³/s) para condiciones embalsadas

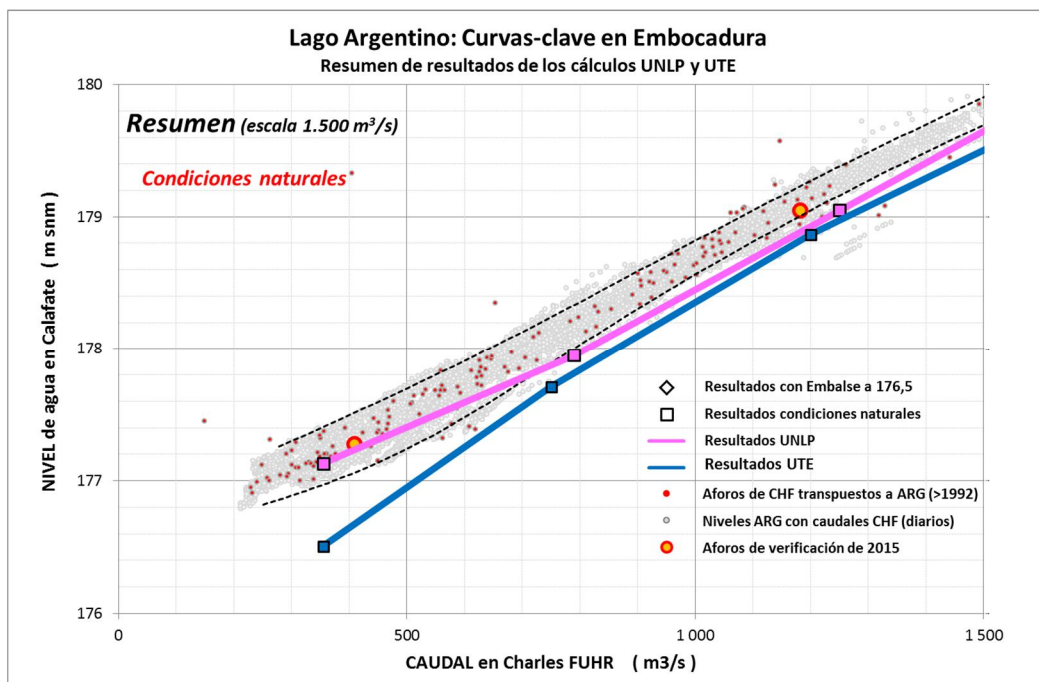


Figura 48: Resumen de resultados (escala 1.500 m³/s) para condiciones naturales

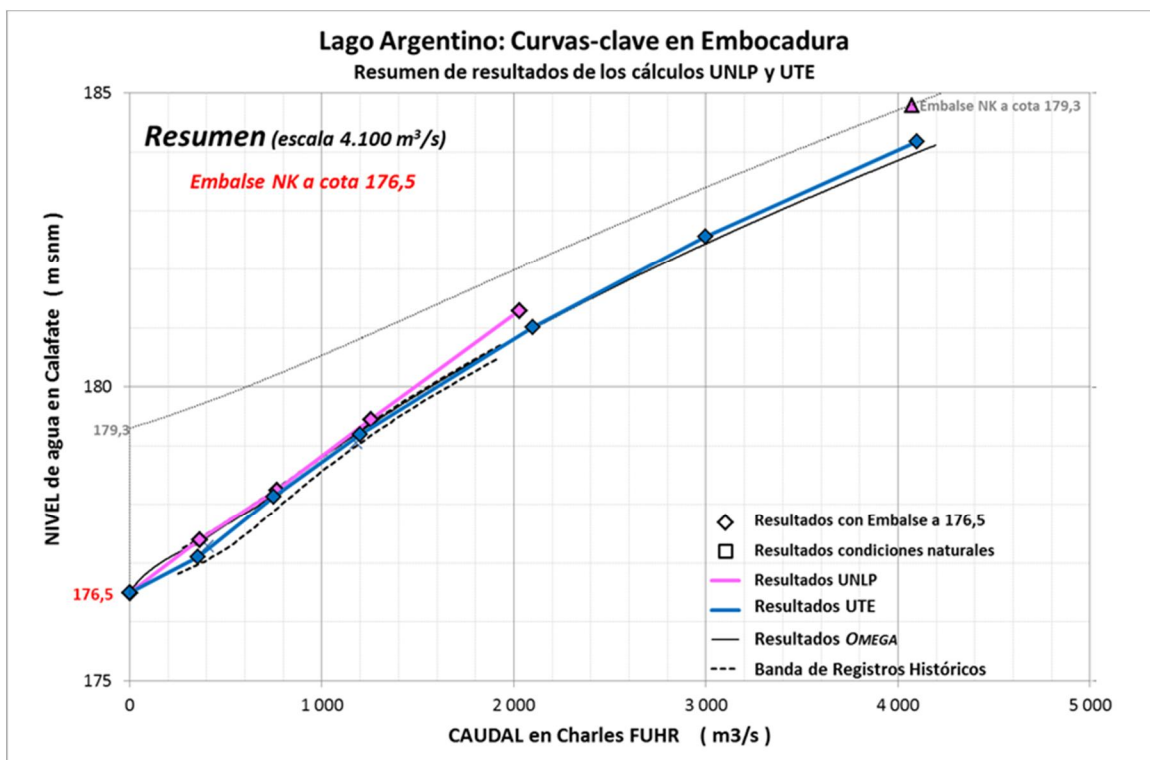


Figura 49: Resumen de resultados (escala 4.100 m³/s) para condiciones embalsadas

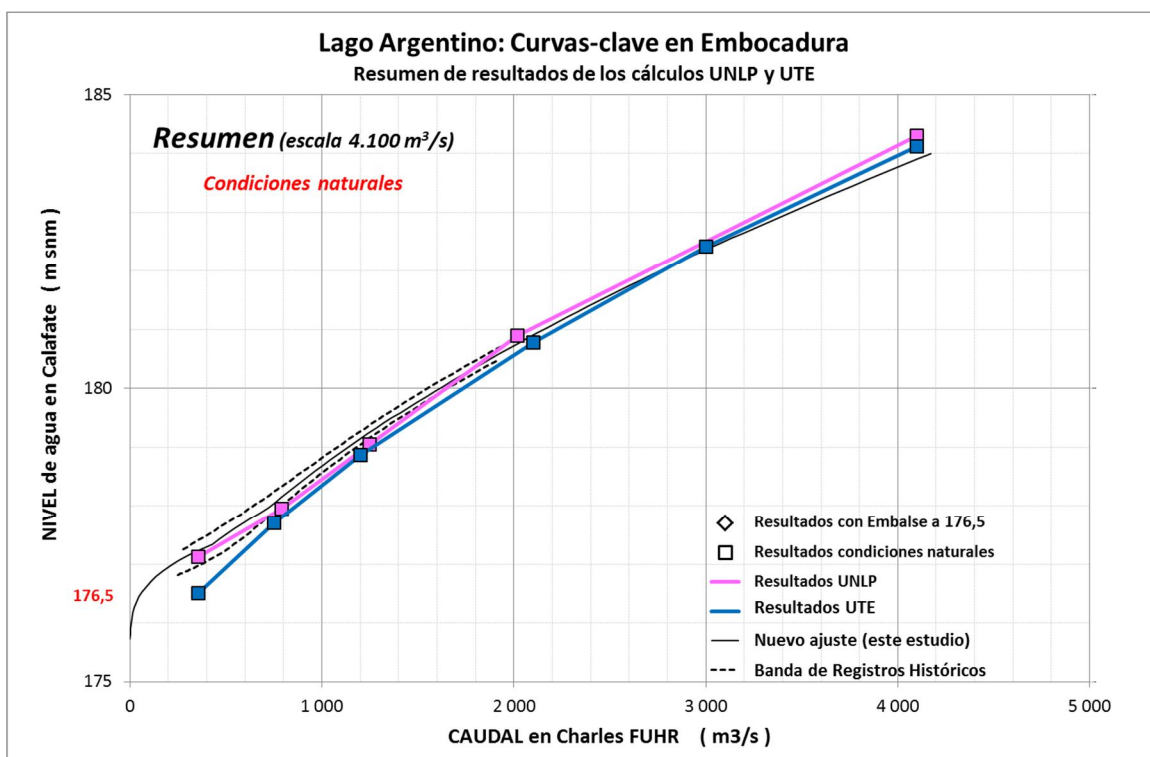


Figura 50: Resumen de resultados (4.100 m³/s) para condiciones naturales

6.6 Evaluación de los resultados de los dos estudios:

La figura 47 muestra que, según los estudios de la UNLP y de la UTE, los niveles de agua en el Lago Argentino cuando el embalse NK está a la cota 176,5 se hallan dentro de la banda donde se encuentran los niveles naturales, según los registros históricos.

Ello querría decir, según ambos estudios, que no habría diferencia perceptible entre niveles embalsados y niveles naturales y llevaría a aceptar que el lago y el embalse están hidráulicamente desacoplados.

Pero como los resultados de ambos estudios no dicen que los niveles naturales calculados estén dónde los registros históricos dicen que están (figura 48), la conclusión anterior no se puede validar.

Lo que se observa en la figura 47 es necesario pero no suficiente para aceptar la conclusión de dichos estudios relativa al desacople hidráulico entre el lago y el embalse, objetivo de este estudio.

Las condiciones exigibles (necesarias y suficientes) para aceptar la conclusión de desacople hidráulico entre el embalse y el lago son, en realidad:

- $|H_{\text{NAT.CALCULADO}} - H_{\text{NAT.HISTÓRICO}}| < \varepsilon$: buena reproducción de las condiciones naturales, y
- $H_{\text{EMBALSADO}} - H_{\text{NAT.CALCULADO}} < \varepsilon$: diferencia imperceptible entre niveles natural y embalsado, dónde “ ε ” representa una tolerancia convencionalmente pequeña.

¿Qué ocurriría con la estimación los niveles embalsados de ambos estudios si se ajustasen la topo-batimetría y la rugosidad de los modelos y/o se modificasen las condiciones de borde (CHF) forzando a los niveles naturales resultantes de esos mismos estudios a reproducir los niveles naturales históricos?

El modelo que llamamos “local” permite simular con relativa simplicidad la transferencia de niveles naturales a niveles embalsados.

En el próximo capítulo se responde a esta pregunta. Pero antes de desarrollar los cálculos quisiéramos visualizar cualitativamente la tendencia de los resultados de esa nueva simulación.

La figura 38 explicaba cómo varían los niveles “remansados” (para un dado valor de la cota del embalse) a medida que los niveles naturales aumentan hacia aguas arriba, en secciones del río cada vez más alejadas de la presa. Allí se ve que a medida que los niveles naturales aumentan, las diferencias entre nivel remansado y nivel natural disminuyen; en suma, hay cada vez menos influencia del embalse a medida que la sección considerada se aleja de la presa.

Eso mismo ocurrirá si se fuerza al modelo a reproducir con sus cálculos los niveles naturales históricos: la diferencia remansado-natural disminuirá.

La tendencia es entonces positiva, en favor de la posibilidad de constatar el desacople hidráulico entre lago y embalse. Resta determinar si los valores absolutos de las diferencias son imperceptibles a la luz de la incertidumbre con la cual se conocen los niveles naturales para un dado caudal. Ese es el objeto del próximo capítulo.

6.7 Cálculo del efecto de remanso por el método local

6.7.1 Introducción

El método “local” (no regional) de estimación del efecto de remanso que llamamos *MÉTODO OMEGA* se basa en el conocimiento de la curva-clave en condiciones naturales de un lugar dado. Para determinar el nivel de anegamiento debido a un obstáculo sito aguas abajo, en el curso del mismo río, se utiliza una función de transferencia, como se muestra en la ecuación que sigue:

$$Q(h) = Q_{NAT}(h) \cdot \rho\left(\frac{z}{h}; \omega\right) \quad (3)$$

$$\rho = 1 - \exp\left(-\frac{z}{\omega h}\right) \quad (4)$$

dónde:

- $Q(h)$: caudal en condiciones anegadas para un dado nivel de agua. Representa la curva-clave en condiciones anegadas o remansadas.
- $Q_{NAT}(h)$: caudal en condiciones naturales para un dado nivel de agua. Representa la curva-clave natural.
- ρ : Coeficiente de pérdida: $\rho = Q/Q_{NAT}$ de capacidad de descarga.
- z/h : Relación de anegamiento. Ver el significado de z y de h en la figura 37.
- ω : Factor de anegamiento o factor Omega.

La curva-clave en condiciones anegadas se halla arriba y a la izquierda de la curva-clave natural (ver por ejemplo las figuras 43 y 46). Nace en el punto de caudal cero y cota igual a la cota de cabecera del embalse (nivel de agua horizontal en el embalse) y concluye convergiendo asintóticamente a la curva-clave natural.

La rapidez de la convergencia se mide con el factor de anegamiento “ ω ”. La figura 46 muestra cómo el factor ω afecta la función de transferencia. Se dispone de una biblioteca de factores de anegamiento resultantes de casos reales y de estudios numéricos de configuraciones típicas. La gama de valores usuales es $\omega = 0.15 \pm 0.05 \in (0,07; 0,22)$.

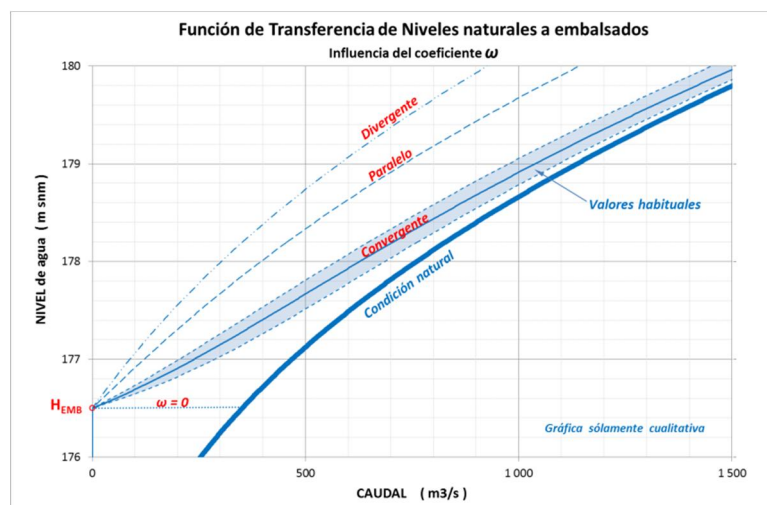


Figura 51: Efectos del coeficientes ω

La precisión de la estimación es elevada para caudales bajos (error cero para caudal cero) y para caudales altos (convergencia asintótica). Un estudio de sensibilidad es útil para la zona intermedia.

El hecho de no necesitar datos topo-batimétricos y de rugosidad del cauce, convierte al método en una herramienta rápida, útil para casos en los cuales no se necesita el perfil de remanso completo o dónde, como en nuestro caso, se necesita un control que sea independiente de dichos datos y cálculos.

La simplicidad conceptual del método facilita, además, la visualización y la interpretación de los resultados de otros cálculos, por más complejos que sean los casos considerados [8].

6.7.2 Determinación del factor ω y validación del método

Para implementar el método se pueden utilizar los valores ω de biblioteca, de casos o estudios reales. El hecho de que esos valores se hallen dentro de una banda estrecha limita la incertidumbre en la estimación. También se puede estimar el valor de ω realizando un estudio de remanso somero, con secciones ficticias cuyas curvas-clave tienen el mismo exponente que la curva-clave conocida y dónde lo importante es tener en cuenta los ensanchamientos mayores del embalse, si los hubiese.

En nuestro caso disponemos de dos estudios de remanso específicos (UNLP y UTE) que permitirán calibrar el coeficiente. La calibración consistirá en determinar qué coeficiente ω permite reproducir, en cada uno de los estudios disponibles, la curva de niveles embalsados, a partir de las respectivas curvas-clave en condiciones naturales.

En las figuras 52 y 53 se muestra cómo, partiendo de las respectivas curvas-clave naturales, el método *OMEGA* reproduce rigurosamente y para toda la gama de caudales, los resultados del cálculo de remanso de cada uno de los estudios existentes, con sólo ajustar el coeficiente ω .

Este ejercicio es de suma importancia ya que permite validar el uso del método local.

Para ello se procedió de la siguiente manera:

- se ajustaron ecuaciones a los puntos representativos de los niveles de agua naturales calculados por la UNLP y la UTE. En los gráficos se muestran las respectivas ecuaciones.
- con esos valores de niveles de agua naturales, se calcularon los niveles de agua embalsados mediante el método Omega. Para ello se varían los valores del factor ω hasta lograr reproducir los valores de los niveles de agua embalsados (proceso de calibración a partir de estudios de remanso existentes). Se obtuvieron los valores $\omega_1 = 0,25$ y $\omega_2 = 0,20$ a partir de los resultados de los estudios UNLP y UTE respectivamente.
- se verifica la calidad del ajuste y se constata el hecho de que un solo valor del factor ω reproduce los niveles embalsados para toda la gama de caudales considerados. Se notará la bondad de la reproducción de los resultados UNLP y UTE, a pesar de la diferencia de forma de las curvas-clave naturales de las que se parte. Esto confirma la validez y la utilidad de la función de transferencia natural-embalsado.

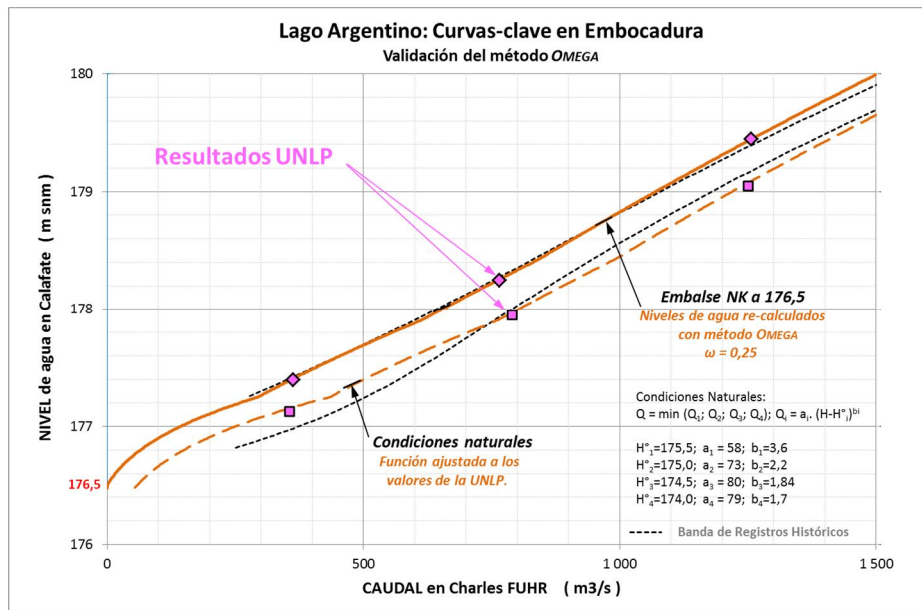


Figura 52: Calibración del coeficiente ω y validación el método

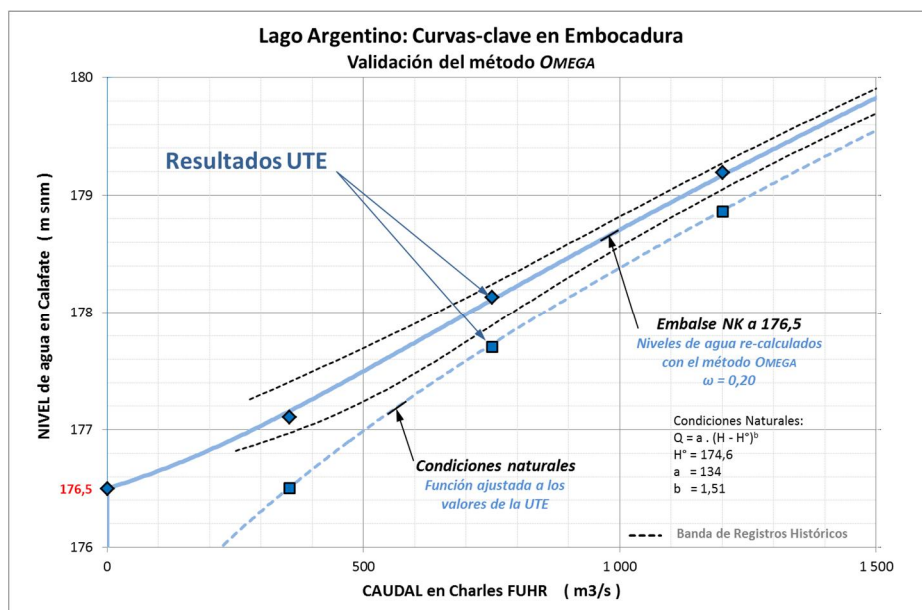


Figura 53: Calibración del coeficiente ω y validación el método

Por la razón siguiente se adoptó el coeficiente $\omega = 0,20$:

- el modelo UTE cubre toda la extensión del embalse (135 Km entre el lago y la presa), lo que permite una mejor apreciación del coeficiente de transferencia. Recordamos que el modelo UNLP cubre una zona 3D muy detallada de 7 Km y utiliza como condición de borde un modelo 1D de 35 km de extensión, sin alcanzar la presa.

Finalmente, en la figura 54 se muestra un estudio de sensibilidad a los valores del coeficiente ω de los niveles de agua estimados por el método en condición embalsada. Se puede apreciar que la variación de niveles de agua es del orden del decímetro para una variación del 25% del coeficiente. En suma, se observa que los resultados son estables.

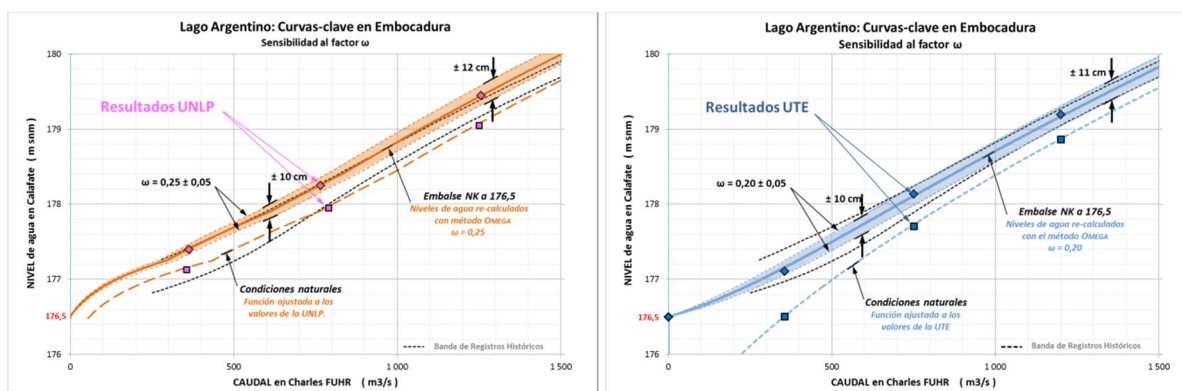


Figura 54: Sensibilidad al factor ω

6.7.3 Análisis del anegamiento de la sección Embocadura

Utilizando la curva-clave natural de la sección Embocadura de la figura 30 conjuntamente con la metodología Omega explicada más arriba, se obtuvieron las curvas-clave en condiciones embalsadas para los niveles de agua en cabecera del PHNK de 176,5 m snm (situación actual) y de 178,9 m snm (situación precedente). En el cálculo se utilizó el factor $\omega = 0,20$, resultante de la calibración a partir de los estudios existentes.

Los resultados se muestran en las figuras 55-A y 55-B dónde, además, se presentan la curvas correspondientes a niveles intermedios de agua en cabecera del embalse NK. El mismo gráfico se presenta en dos escalas diferentes, para facilitar la lectura.

En la figura puede notarse que:

- la curva-clave natural adoptada está centrada dentro de la banda de registros históricos, es decir, reproduce correctamente las condiciones naturales medias.
- la curva-clave en condiciones embalsadas (para $H_{EMB}=176,5$ m snm) se halla unos 10 cm más arriba que la curva-clave de condiciones naturales para todos los caudales. Ver tabla 6 con valores detallados.
- dicho valor representa el 3% de la amplitud media anual de niveles del lago (entre 176,8 y 180,4 m snm) depurada de los casos de ruptura del glaciar.
- la curva-clave en condiciones embalsadas (para $H_{EMB}=176,5$ m snm) se halla dentro de la banda de valores históricos de los niveles naturales, es decir, que la diferencia no es perceptible.

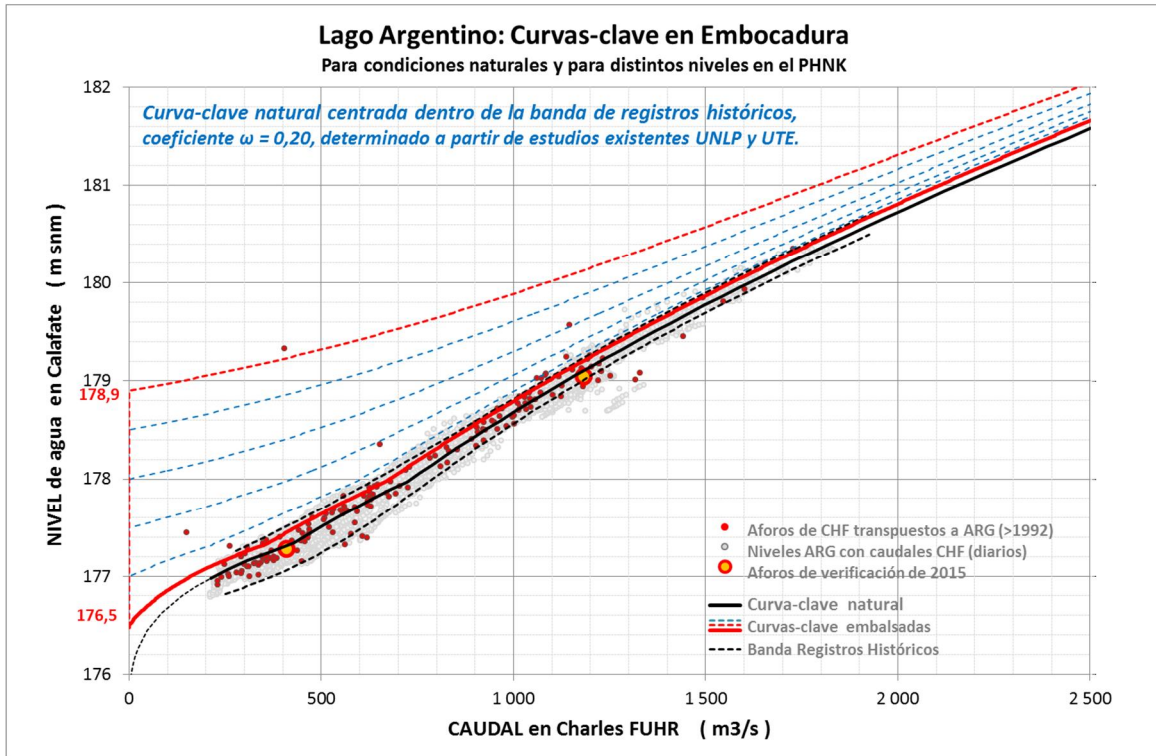


Figura 55-A: Lago Argentino: Efecto de remanso en la sección Embocadura (esc. 2.500 m³/s)
 Re-cálculo consecutivo a la adopción de la curva-clave natural centrada en la banda de registros históricos

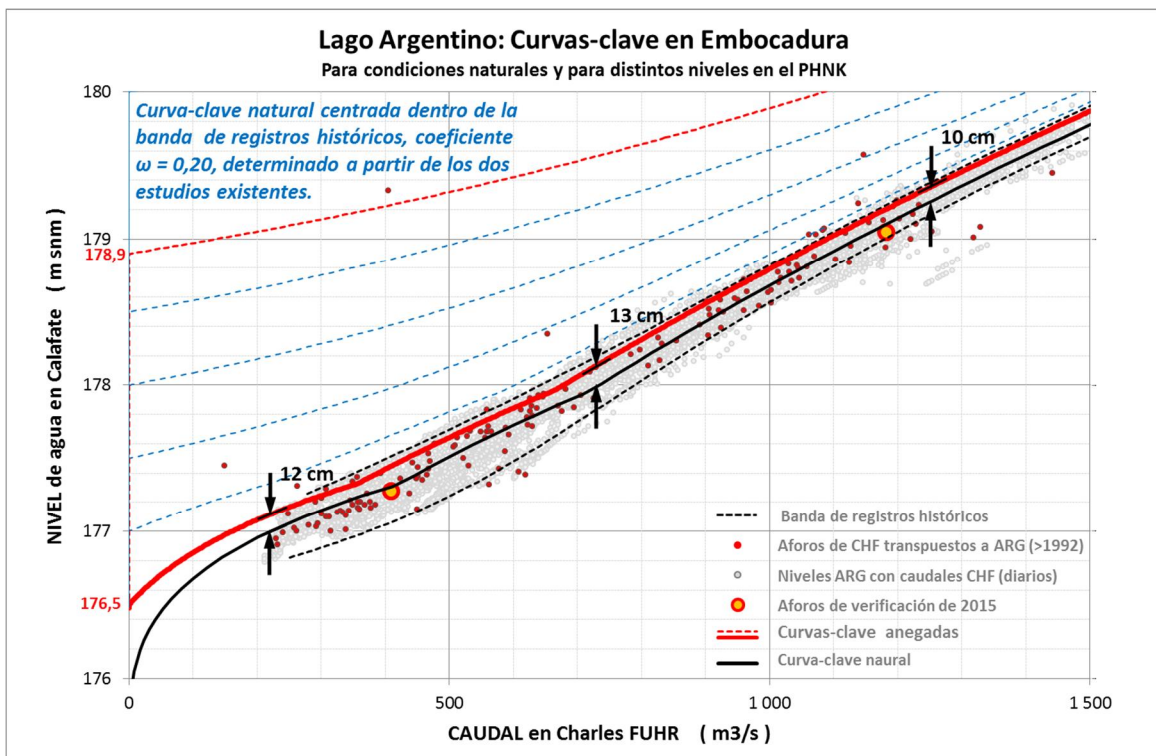


Figura 55-B: Lago Argentino: Efecto de remanso en la sección Embocadura (esc. 1.500 m³/s)
 Re-cálculo consecutivo a la adopción de la curva-clave natural centrada en la banda de registros históricos

Sobre-elevación del nivel de Agua en Lago Argentino para embalse NK a cota 176,5						
Q (m ³ /s)	200	500	1 000	1 500	2 000	4 100
ΔH (m)	0,12	0,13	0,10	0,09	0,08	

Tabla 6: Desvío vertical entre niveles naturales y embalsados con curva-clave natural centrada en la banda de registros históricos

Más arriba se dijo que en la práctica el efecto de remanso se considera imperceptible si la distancia vertical entre el nivel natural y el nivel embalsado es inferior al 1% del tirante local de agua o también, inferior a 10 cm (noción de imperceptible en hidrometría fluvial).

No se puede atribuir un tirante de referencia al lago, que tiene una profundidad media de unos 150 m. En cambio, las variaciones pueden referirse a las oscilaciones anuales del nivel del lago (figura 21) que para el año medio (sin considerar los efectos de la ruptura del glaciar) son de unos 3,6 m, entre las cotas 176,8 m snm y 180,4 m snm. El incremento medio sería entonces de 3%.

Pero el elemento fundamental de referencia para evaluar el peso relativo de los aumentos del nivel de agua es la amplitud de la banda de registros históricos. Estos registros son los que nos han permitido determinar la curva-clave virtual del Lago Argentino, estableciendo una relación entre el caudal efluente (caudal del Río Santa Cruz) y el nivel de agua en el Lago. El ancho de esa banda es de unos 40 cm. La incertidumbre con la cual se determinan los niveles agua en el Lago, para un caudal dado, es entonces $\varepsilon \approx \pm 20$ cm, o sea, el doble del aumento estimado de nivel.

Nótese que los resultados obtenidos (figura 55) responden a la pregunta que nos hacíamos en el capítulo 6.6 sobre cómo variarían los niveles de agua embalsados de los cálculos UNLP y UTE si se ajustasen la topo-batimetría y las rugosidades de dichos modelos para que los niveles naturales calculados coincidiesen con los niveles de agua naturales de los registros históricos. En efecto, el método local no necesita redefinir rugosidades para reproducir una curva-clave natural, ya que ésta es un dato del problema. Y los resultados confirman la predicción de desvíos menores entre niveles embalsados y naturales cuando la curva-clave se corrige hacia arriba (se aumentan los niveles naturales).

Llegados a esta situación recordemos las condiciones necesarias y suficientes de verificación del desacople hidráulico entre lago y embalse: a) buena reproducción de las condiciones naturales, y b) diferencia imperceptible entre niveles natural y embalsado,

La primera condición se satisface por definición ya que se aplicó el método local de estimación del efecto de remanso utilizando la curva-clave explicada e interpretada en el capítulo 4.2.3 (figura 30), que pasa por el eje de la banda de valores naturales históricos.

La segunda condición se satisface desde el momento que, como se ve en la tabla 6, la diferencia entre los niveles embalsados y naturales es apenas decimétrica, lo que según los criterios y prácticas de la hidrometría fluvial explicados más arriba, puede considerarse como imperceptible.

A la luz de estas observaciones se puede concluir que, en efecto, el PHNK con una cota de embalse máxima ordinaria de 176,5 m snm no afecta los niveles de agua del Lago Argentino.

Pero antes de concluir en forma definitiva sobre el desacople entre el lago y el embalse, realizaremos los siguientes estudios:

- sensibilidad de los resultados a las variaciones posibles del factor de anegamiento ω ,
- desvíos en caso de crecidas.

6.7.4 Estudio de sensibilidad a los valores del factor de anegamiento ω :

Utilizando la misma metodología y los mismos datos básicos se repitieron los cálculos del efecto de remanso con factores $\omega = 0,20 \pm 0,05$ ($\pm 25\%$), para medir la precisión de las afirmaciones que estamos haciendo. La tabla 7 y la figura 56 muestran los resultados obtenidos.

Sensibilidad de los valores de niveles obtenidos a la variación del coef. ω							
Q	m ³ /s	200	500	1 000	1 500	2 000	2 500
P_z	%	99,9	65	26	1,4	0	0
$\pm \Delta H_{25\%}$	m	0,04	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
$\pm \Delta H_{10\%}$	m	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

P_z : Probabilidad de excedencia (duración) $\pm \Delta 10\%$: variabilidad del resultado por cada 10% de variación del coeficiente ω .

Tabla 7: Sensibilidad de los resultados a la variabilidad del coeficiente ω

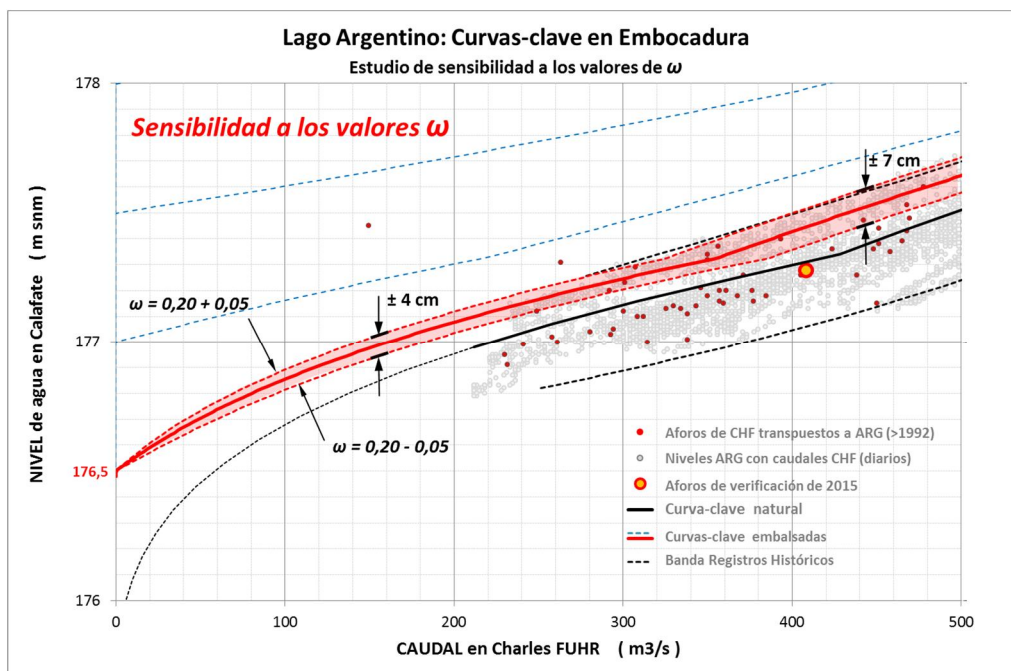


Figura 56: Lago Argentino: Efecto de remanso, estudio de sensibilidad

Se observa que la curva-clave remansada por el embalse a la cota 176,5 se halla (para los caudales bajos, dominantes) dentro de una banda de ± 4 cm de ancho entorno al valor central para $\omega = 0,20$ con una variación de $\pm 25\%$. Para caudales mayores el ancho de la banda aumenta ligeramente para decaer luego, conjuntamente con el valor absoluto de los desvíos respecto de la curva-clave natural.

Se concluye que las observaciones relativas al desacople hidráulico entre el PHNK y el Lago Argentino son poco sensibles a la variación de los valores ω del factor de anegamiento que se utiliza para el cálculo de niveles de agua embalsados.

El método "local" (no regional) de estimación del efecto de remanso en una sección dada se muestra estable y fiable, visto que es poco sensible al único factor externo, ajeno al conocimiento de la curva-clave local.

6.7.5 Efecto de remanso durante crecidas mayores:

La capacidad de descarga del vertedero a la cota 176,5 ($\approx 2.600 \text{ m}^3/\text{s}$) y de la central hidroeléctrica ($\approx 1.600 \text{ m}^3/\text{s}$) tomados conjuntamente supera, teóricamente, al pico de la crecida deca-milenaria ($4.100 \text{ m}^3/\text{s}$). Si esa adición fuese posible, la operación del embalse a la cota 176,5 m snm, considerada en los capítulos precedentes, podría ser mantenida en forma permanente, aún durante el paso de crecidas mayores, y todas las conclusiones a las que se llegó seguirían siendo válidas.

Pero, como se señaló en el capítulo 5, para crecidas de una cierta magnitud las turbinas dejarían de funcionar por razones operativas y de seguridad y el vertedero tomaría el relevo para evacuar la totalidad de los caudales afluentes al embalse.

Si la salida de servicio de las turbinas se produjese, por ejemplo, para una crecida centenaria ($Q_{\text{PICO}} \approx 2.800 \text{ m}^3/\text{s}$), se necesitaría que el nivel del embalse suba a la cota 176,8 para lograr esa capacidad de descarga. Para crecidas de mayor magnitud el nivel del embalse seguiría aumentando hasta la cota 179,3, si se produjese la crecida de diseño (TMR = 10.000 años y $Q_{\text{PICO}} = 4.100 \text{ m}^3/\text{s}$).

El presente análisis busca estimar el aumento de niveles de agua que podría producirse en el Lago Argentino en ocasión de esas grandes crecidas, a causa del aumento del nivel del embalse NK.

La figura 57 muestra los mismos resultados de la figuras 55 A y B pero a otra escala, con el fin de evaluar la consecuencia del paso de grandes crecidas sobre los niveles de agua en el Lago Argentino.

Según se ve en la curva de descarga del vertedero (figura 35 e inserto en la gráfica 57), entre los puntos A y B se mantiene la cota del embalse al nivel 176,5 m snm. Entre los puntos B y C, el nivel del embalse sube para alcanzar una mayor capacidad de descarga y así poder evacuar las crecidas.

Los puntos A, B y C de la curva de descarga del vertedero se replicaron en la gráfica de niveles en el Lago Argentino. Allí se ve que al dejar la cota de embalse 176,5 con una crecida casi centenaria, la sobre-elevación del nivel de agua en el Lago Argentino debida a la presencia del PHNK es de 7 cm y al alcanzar la cota 179,3 con la crecida deca-milenaria, la sobre-elevación en el Lago Argentino es de 33 cm respecto de las condiciones naturales.

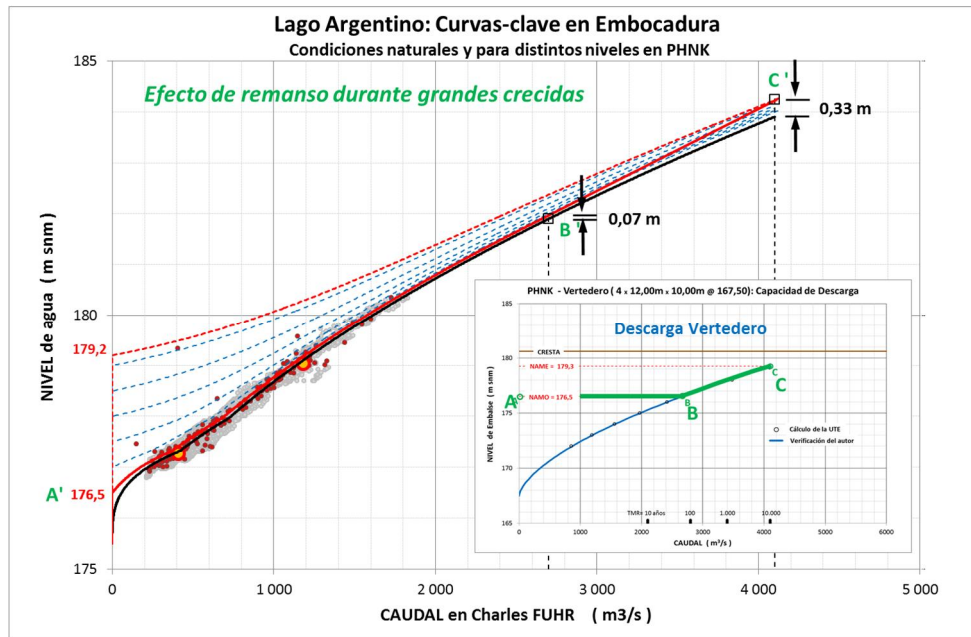


Figura 57: Lago Argentino; efecto de remanso durante grandes crecidas

La tabla 8 da el detalle de esos valores.

		Lago Argentino: Sobre-elevación del Nivel de Agua durante Crecidas							
T.M.R. (años) =		75	100	200	500	1 000	2 000	5 000	10 000
CAUDAL Pico (m ³ /s) =		2650 ⁽¹⁾	2 800	3 000	3 200	3 400	3 600	3 900	4 100
Nivel de Agua embalse NK (m snm) =		176,50	176,76	177,16	177,67	178,04	178,41	178,88	179,23
Niveles de Agua en Lago Arg. (m snm)	Natural	181,90	182,03	182,34	182,73	183,01	183,29	183,65	183,91
	PHNK a 176,5	181,96	182,10	182,40	182,79	183,08	183,36	183,72	183,98
	PHNK en crecida	181,96	182,14	182,48	182,91	183,23	183,55	183,94	184,24
Diferencias (m) de Natural respecto a:	Máx. Histórico (180,4)	1,50	1,63	1,94	2,33	2,61	2,89	3,25	3,51
	PHNK a cota 176,5	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	PHNK en crecida ⁽²⁾	0,07	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,29	0,33
Incremento debido a crecidas (m)		0,00	0,04	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,26

(1): capacidad de descarga del vertedero del PHNK a la cota 176,5
(2): cota de embalse NK variable entre 176,5 y 179,2 m snm.

Tabla 8: Niveles de agua en el embalse NK y en el Lago Argentino durante grandes crecidas

Los resultados de la tabla 8 ponen en evidencia que, en caso de producirse la crecida de 10.000 años de período medio de retorno, se generaría un incremento marginal de 26 cm del nivel de agua en el Lago Argentino debido a que el vertedero no puede mantener la cota de embalse 176,5 durante el paso de grandes crecidas.

Dicho valor supera la tolerancia de 10 cm, valor utilizado más arriba en concepto de límite práctico de perceptibilidad en hidrometría fluvial. Como contrapartida se notará que es una situación generada por una crecida extraordinaria (período medio de retorno de 10.000 años) y que, cuando esto se produzca, los niveles naturales del lago serán 3,5 m (=183,9-180,4) más elevados que el más alto nivel histórico.

Por último queda por señalar que esa sobreelevación marginal, debida al paso de grandes crecidas, puede desaparecer completamente con sólo aumentar el ancho de los vanos del vertedero.

6.7.6 Conclusiones del estudio del efecto de remanso con el método local:

El método de evaluación local (no regional) del efecto de remanso, que llamamos método Omega, ha permitido:

- reproducir rigurosamente los resultados de los estudios UNPL y UTE para toda la gama de caudales estudiados,
- rehacer las simulaciones pero con una curva-clave natural en Embocadura fiel a los registros históricos de niveles de agua en el Lago Argentino,
- determinar que, en esas condiciones, los efectos de remanso debidos a un PHNK con cota de embalse 176,5 m snm son decimétricos y que los niveles de agua embalsados permanecen dentro de la banda de incertidumbre de determinación de los niveles de agua naturales,
- confirmar que la incertidumbre en la determinación de niveles embalsados con este método es del orden de ± 5 cm, para una variación de $\pm 25\%$ del coeficiente de ajuste de la función de transferencia,
- determinar que el hecho de abandonar la cota de embalse 176,5 durante el paso de grandes crecidas aumenta el incremento del nivel de agua en el Lago Argentino entre cero para la crecida centenaria y 26 cm para la crecida con 10.000 de período medio de retorno.

A la luz de estos resultados puede decirse que se satisfacen las condiciones necesarias y suficientes ⁽¹⁾ requeridas para reconocer que el Lago Argentino y el Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner, operado a la cota 176,5, están hidráulicamente desacoplados.

⁽¹⁾ Condiciones necesarias y suficientes de verificación del desacople hidráulico entre lago y embalse: a) buena reproducción de las condiciones naturales, y b) diferencia imperceptible entre niveles natural y embalsado.

7. Conclusiones

Datos Básicos:

C-01. El análisis de los registros 1958-2015 de niveles de agua en la estación limnimétrica Charles Fuhr del Río Santa Cruz, próxima a la sección de salida del Lago Argentino, permitió detectar anomalías metodológicas o de registro de los niveles de agua vinculadas a una fecha específica, 1977, de la historia de la escala. Se trataría, probablemente, de un cambio del cero de escala que daba origen a un desdoblamiento de la curva-clave de esta sección con unos 30 cm de separación vertical entre ambas.

El análisis de consistencia de datos permitió clarificar el tema y adoptar la rama reciente (1977-2015) de la curva-clave, ganando así en precisión y en fiabilidad en la estimación de los caudales del Río Santa Cruz en la sección Charles Fuhr.

C-02. Se remplazaron las numerosas ecuaciones históricas (prácticamente una por año) con las que, desde el inicio, se traducían valores de lectura de escala en caudales, por la ecuación de la curva-clave depurada. Así se pudo remplazar la serie estimada de caudales históricos por otra más realista, más precisa y más fiable.

C-03. Se estudió la curva-clave Embocadura (1992-2015) con criterio hidráulico basado en la topo-batimetría de la zona de transición entre el lago y el río. De ese modo se pudo detectar que esa curva tiene tres componentes que corresponden de abajo hacia arriba a un control hidráulico por umbral, control por angostura y control fluvial.

Ello explica la forma singular de la curva, con doble curvatura, que no había sido reconocida anteriormente.

Esa curva-clave constituye el elemento de referencia en base al cual se dirá si el Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner afecta o no los niveles de agua del Lago Argentino.

Gracias a la depuración de datos hidrográficos existentes y a la interpretación de las características hidráulicas de la curva-clave Embocadura, se dispone ahora de una mayor precisión y de un mejor conocimiento cualitativo que han mostrado su importancia en el momento de tratar el problema.

Estudios de remanso pre-existentes:

C-04. Los resultados de los estudios de la Universidad Nacional de la Plata (UNLP) y de Represas Patagonia (UTE) se resumen de la siguiente manera:

- * los cálculos UNLP reproducen correctamente la forma de la compleja curva-clave en Embocadura, haciendo aparecer la singular doble curvatura de la misma.
- * los cálculos UTE reproducen correctamente la convergencia de los niveles remansados hacia los niveles naturales para grandes caudales.
- * en ambos casos los niveles de agua en el Lago Argentino, cuando el embalse NK opera a la cota 176,5, caen dentro de la banda de registros históricos de niveles naturales del lago. Ello incitaría a pensar que con ello se demuestra el desacople hidráulico entre el lago y el embalse.
- * pero esta conclusión no puede validarse porque, también en ambos casos, los niveles de agua naturales en Charles Fuhr y en Embocadura resultantes de los cálculos son sensible y sistemáticamente inferiores a los históricos.

C-05. Afinando los datos topo-batimétricos de cada modelo, su rugosidad y las condiciones de borde se debería poder reproducir correctamente los niveles naturales históricos en las dos secciones citadas.

Una vez realizados estos ajustes, se recalcularían los niveles del Lago Argentino con el embalse NK operando a la cota 176,5. Las nuevas diferencias entre niveles remansados y naturales deben ser más pequeñas ya que los niveles naturales de partida son más elevados. Si esas diferencias se hallasen por debajo del límite de perceptibilidad, se podrá decir que el lago y el embalse están hidráulicamente desacoplados. Los cálculos reportados en los párrafos que siguen confirman la validez de estas hipótesis.

Estudios complementarios realizados:

C-06. Para confirmar por vía independiente esas consideraciones, se utilizó un método local (no regional) de evaluación de los efectos de remanso debidos al embalse NK. El método, basado en el conocimiento de la curva-clave local, utiliza una ecuación de transferencia para simular el efecto de embalse.

Para calibrar el factor ω , único parámetro a ajustar en el método, se utilizaron los resultados de los estudios de remanso UNLP y UTE. Con un único coeficiente ω , válido para toda la gama de caudales, se pudieron reproducir rigurosamente los resultados de cada estudio, partiendo de sus respectivas curvas-clave naturales.

De este modo y después de haber verificado que los resultados son poco sensibles a la variación del coeficiente ω , se dio por validado el método. Ello permitió recalcular los niveles de agua del lago cuando el embalse NK opera a la cota 176,5, partiendo esta vez de la curva-clave histórica de niveles naturales en Embocadura.

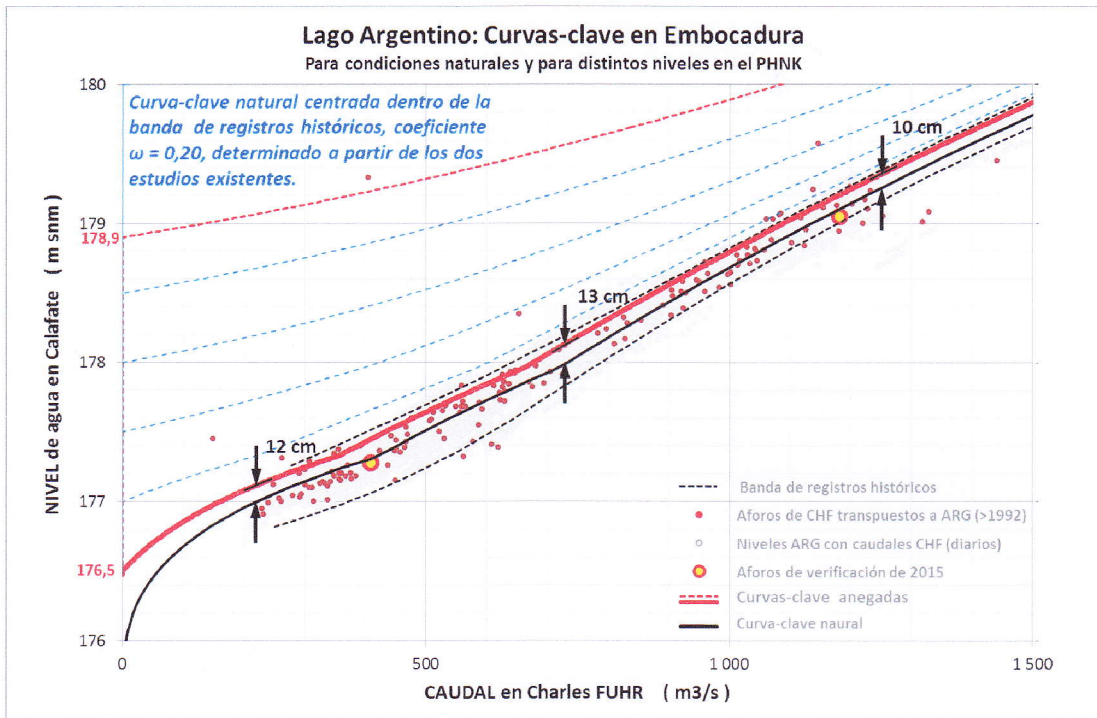
Se obtuvieron los siguientes valores de sobre-elevación de los niveles de agua en el lago provocados por la operación del embalse NK a la cota 176,5:

Q (m ³ /s)	200	500	1 000	1 500	2 000	4 100
ΔH (m)	0,12	0,13	0,10	0,09	0,08	

C-07. Como criterio de aceptación o de rechazo de los valores de sobre-elevación del nivel de agua se utilizaron los siguientes criterios prácticos comúnmente aceptados en los estudios de remanso. Se verá que la noción de base es la de desvío o diferencia imperceptible a la escala de las precisiones posibles en hidráulica fluvial:

- * la sobre-elevación se considera imperceptible si ésta es inferior al 1% del tirante local del río. Este criterio es inaplicable en el caso de un lago.
- * la sobre-elevación se considera imperceptible si es inferior a 10 cm, aproximadamente. En hidráulica fluvial es difícil poder brindar precisiones de ese orden de magnitud, cuando se deben considerar caudales. La tabla de resultados muestra diferencias de ese orden de magnitud por lo que se las puede considerar imperceptibles.
- * las diferencias son inferiores al 3% de la amplitud de la oscilación anual de niveles de agua en el lago, comprendidas entre 176,8 y 180,4 m snm.
- * las diferencias son inferiores al semi-ancho de la banda de incertidumbre de los registros históricos de niveles naturales de agua, en la curva-clave. Según puede apreciarse en la figura que sigue, dicho semi-ancho es de ± 20 cm para caudales inferiores a 500 m³/s y se reduce a ± 10 cm para 1.500 m³/s. La figura pone en efecto en evidencia que en todo momento la curva de niveles embalsados está inscripta en la banda de incertidumbre.

A la luz de las respuestas a este conjunto de criterios de aceptación puede decirse que las diferencias entre los niveles naturales históricos y los niveles que serían provocados por el embalse NK a la cota 176,5 son imperceptibles en el sentido de la hidráulica fluvial.



Conclusión: los niveles de agua provocados por el embalse NK a la cota 176,5 m snm se inscriben dentro de la banda de incertidumbre de los niveles naturales históricos.

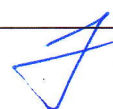
C-08. En el caso de grandes crecidas no se puede mantener el nivel de agua 176,5 m snm en el embalse NK ya que el vertedero necesita cargas mayores para poder evacuar caudales mayores.

Así, si se produjesen grandes crecidas, la cota 176,5 debería abandonarse para crecidas con un período medio de retorno de unos 100 años. Y si se produjese la crecida de diseño (10.000 años y 4.100 m³/s) el nivel necesario de embalse sería 179,3 m snm.

Por el hecho de alejarse de la cota 176,5 durante las grandes crecidas, se producirían las siguientes sobre-elevaciones adicionales:

T.M.R. (años) =	75	100	200	500	1 000	2 000	5 000	10 000
Nivel de Agua embalse NK (m snm) =	176,50	176,76	177,16	177,67	178,04	178,41	178,88	179,23
Diferencia resp. Máx. Histórico (m)	1,50	1,63	1,94	2,33	2,61	2,89	3,25	3,51
Diferencia resp. Nivel Natural (m)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Diferencia adicional por Crecida (m)	0,00	0,04	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,26

El riesgo (entendido como producto entre probabilidad de ocurrencia y magnitud del daño) asociado a una sobre-elevación adicional de 26 cm para una crecida de 10.000 años de período medio de retorno es bajo en sí mismo y también con relación a la inundación natural, que daría niveles de agua 3,5 m más elevados que la máxima crecida histórica.



Conclusión general:

C-09. Se ha mostrado que las sobre-elevaciones del nivel de agua en el Lago Argentino, respecto de los niveles de agua naturales (históricos) provocadas por la operación del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner operando a la cota 176,5 serían decimétricas.

Esas diferencias se consideran imperceptibles en términos de hidráulica fluvial y según los criterios comúnmente aceptados al tratar problemas de remanso. Además, se observa que los niveles embalsados en esas condiciones caen dentro de la banda de incertidumbre de la curva-clave "Embocadura", representativa de las condiciones naturales del Lago Argentino.

Se ha mostrado también que si ocurriesen crecidas de gran magnitud, que obliguen a operar el embalse con cotas mayores que 176,5, las sobre-elevaciones resultantes representarían un riesgo bajo, tanto por su probabilidad de ocurrencia (período medio de retorno de 10.000 años) como por su cuantía ($\approx 0,3$ m).

A la luz de estos resultados puede decirse que se satisfacen las condiciones necesarias y suficientes ⁽²⁾ requeridas para reconocer que el Lago Argentino y el Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner, operado a la cota 176,5, están hidráulicamente desacoplados.

En otros términos, puede decirse que, operando a la cota 176,5, el Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner no afecta los niveles naturales del Lago Argentino.



Ascensio LARA

01.07.2016

⁽²⁾ Condiciones necesarias y suficientes de verificación del desacople hidráulico entre lago y embalse: a) buena reproducción de las condiciones naturales, y b) diferencia imperceptible entre niveles natural y embalsado.

8. Recomendaciones

Se considera de utilidad dar a conocer a las autoridades de la Subsecretaría de Recursos Hídricos los análisis realizados sobre la base de datos hidrométricos de la escala limnimétrica Charles Fuhr, a su cargo.

Ello podría dar lugar a la doble ventaja de enriquecer este estudio si la SSRH dispusiese de datos complementarios y ofrecerle a ésta las conclusiones del estudio realizado.

Bibliografía:

- [1] Datos Hidrométricos de las escalas de Calafate y de Charles Fuhr. Información provista por le SSEH (Mayo 2016), que puede igualmente encontrarse en encontrarse en el sitio web de la SSRH.
- [2] Topo-batimetría de la embocadura. Represas Patagonia, U.T.E., 2012
- [3] Cota cero de escala limnimétricas. UTE, IGN y UNLP paralelamente 2012 (?)
- [4] Estudio de la UNLP, 2012
"Funcionamiento del Sistema Lago Argentino – Río Santa Cruz - Embalse Néstor Kirchner"
- [5] Estudio de la UTE
"Determinación de la función 'Altura-Caudal' para el Río Santa Cruz a la salida del Lago Argentino", Ing. Héctor Daniel FARIAS, 2015.
- [6] Obras Civiles del PHNK: Vertedero, rápida y dissipador. Memoria de Cálculo y Diseño Hidráulico. Documento NK-A.CV-MC.HD-(VE-00-00)-P001_R0A. UTE, Octubre 2015. Represas Patagonia, U.T.E.
- [7] Comunicación telefónica del Ing. Fariña (31.05.2016). Subgerencia de Puentes y Viaductos de Vialidad Nacional. +54(11)4342-2247.
- [8] "Remanso-Express: la función de saturación" VIII Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos, Santa Fé, Argentina. Abril 2015. A.Lara



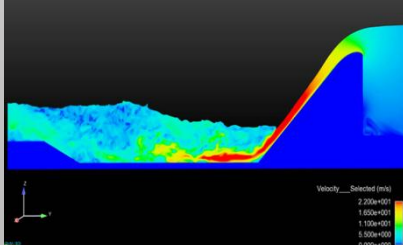
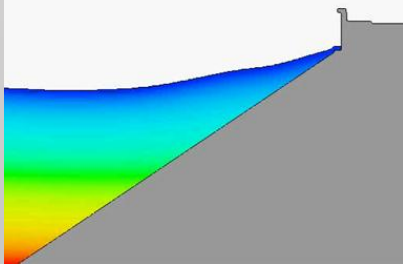
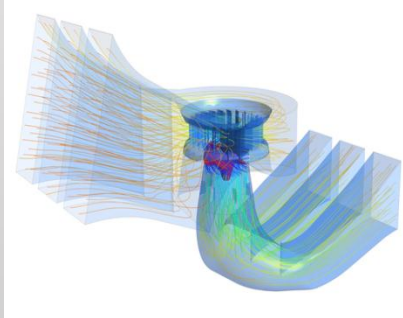
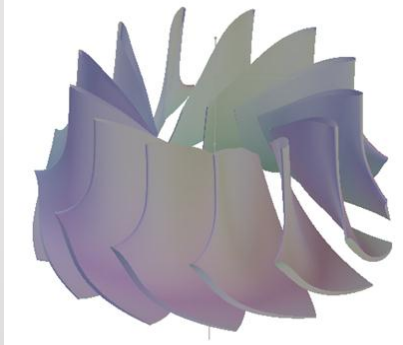
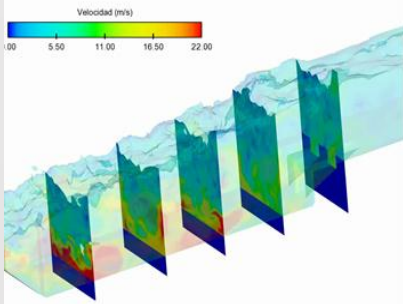
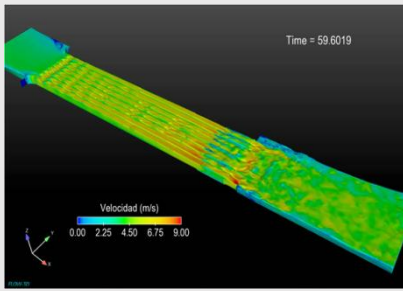
INSPECCIÓN
Aprovechamiento Hidroeléctrico
Del Río Santa Cruz
Presas N. Kirchner-J. Cepernic



Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ingeniería
Departamento de Hidráulica



Ministerio de Energía y Minería
Secretaría de Energía Eléctrica
Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica
Presidencia de la Nación

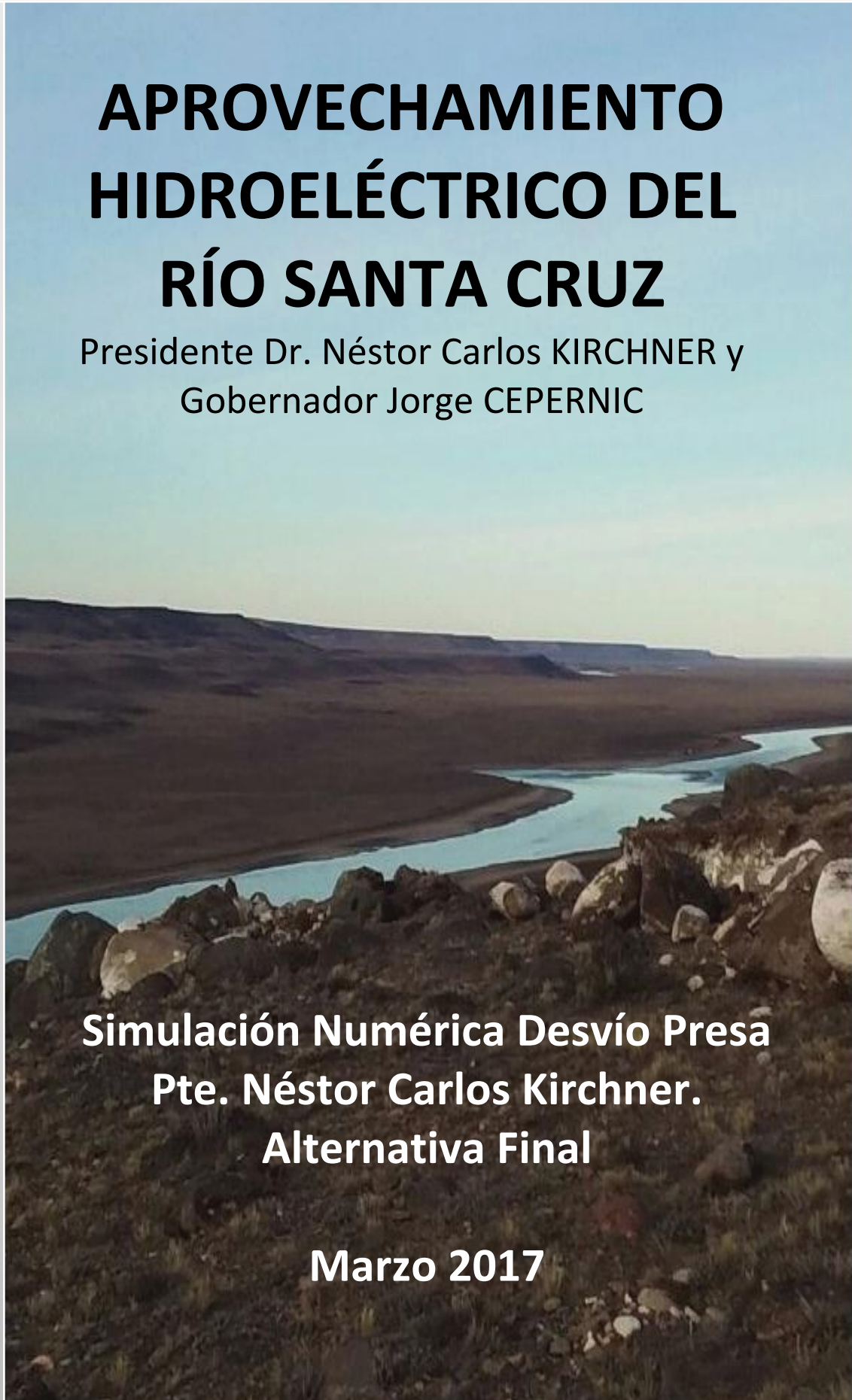


APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DEL RÍO SANTA CRUZ

Presidente Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y
Gobernador Jorge CEPERNIC

**Simulación Numérica Desvío Presa
Pte. Néstor Carlos Kirchner.
Alternativa Final**

Marzo 2017





MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Obra: "APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ PRESIDENTE DR. NESTOR CARLOS KIRCHNER Y GOBERNADOR JORGE CÉPERNIC".-

Expte: S01:0146922/2012

**Simulación Numérica Desvío Presa Pte. Néstor Carlos Kirchner.
Alternativa Final**

Marzo 2017



INSPECCIÓN

Aprovechamiento Hidroeléctrico
del Río Santa Cruz
Presas N. Kirchner-J. Cepernic

Universidad Nacional de La Plata



Inspección Universidad Nacional de La Plata:

Ing. Sergio Oscar Liscia

Ing. Aníbal Mendiburo

Dirección:

Ing. Sergio Liscia

Autores:

Ings.

Ezequiel Lacava

Mariano de Dios

Marzo 2017



Contenido

1. Objetivo	4
2. Geometría evaluada	4
3. Código numérico utilizado.....	7
3.1. Características principales del código numérico	7
3.2. Ecuaciones gobernantes.....	7
3.3. Condiciones de borde	8
3.4. Implementación del código numérico. Dominio de simulación y mallado	8
4. Resultados	9
4.1. Simulación RANS – Escenario 1 – Obra a caudal máximo	9
4.2. Simulación RANS – Escenario 2 – Transformación de celdas en descargador de fondo.....	14
4.3. Protecciones propuestas del canal.....	19
4.4. Verificación de las protecciones.....	20

Simulación Numérica Desvío Presa Pte. Néstor Carlos Kirchner. Alternativa Final

1. Objetivo

Este informe tiene como objetivo verificar el comportamiento hidráulico de las obras de desvío presentada por la Contratista para el Aprovechamiento Pte. Néstor Carlos Kirchner (NK). Para llevar adelante estas verificaciones se implementaron una serie de simulaciones numéricas tridimensionales utilizando el código comercial FLOW 3D.

La geometría presentada por la UTE como obra de desvío corresponde a la última alternativa propuesta por dicha contratista y fue entregada por Nota de Elevación 110 el día 22 de marzo de 2017.

Se simularon dos escenarios de operación. Operando como desvío, con todas las celdas abiertas y caudal máximo y otro escenario correspondiente a la etapa de transformación de las cuatro celdas izquierdas en descargador de fondo.

2. Geometría evaluada

El esquema general de desvío presentada por la Contratista en las diversas alternativas, comprende un canal de desvío y una estructura de hormigón bajo la fundación de la presa (ver Figura 1)

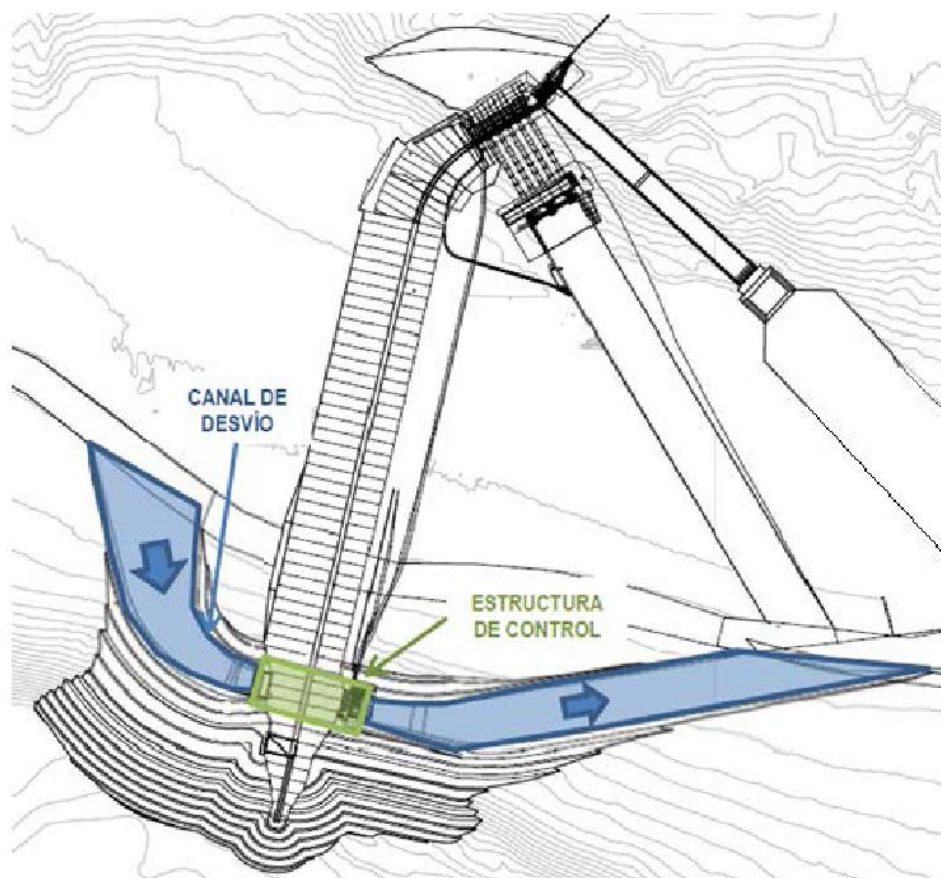
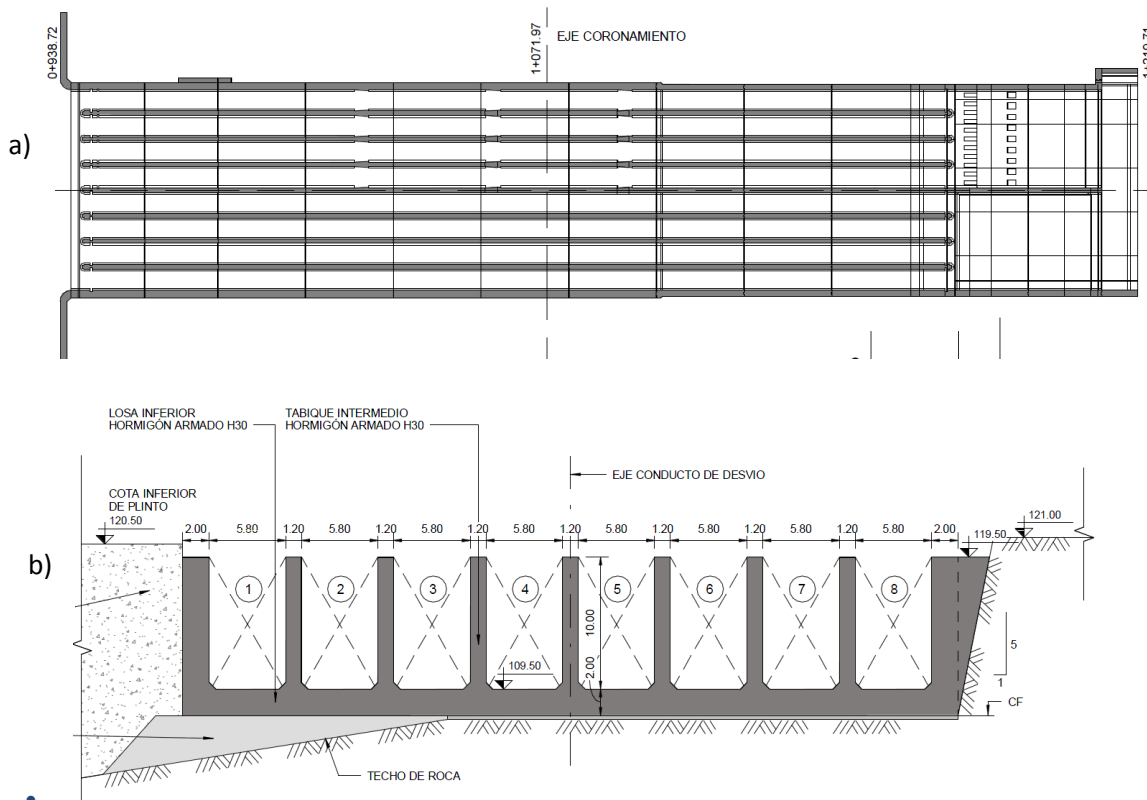


Figura 1– Esquema general de la Obra de Desvío
Extraído del documento NK-A.CV-MC.HD-(DD-00-00)-P001-0F

A continuación se presentan una breve descripción de la geometría modelada:

Alternativa final: La geometría para evaluar esta variante fue extraída de la memoria de cálculo *NK-A.CV-MC.HD-(DD-00-00)-P001*. Corresponde a la última geometría vigente del proyecto. Respecto a la *Alternativa 10-2015* la diferencia más importante es el corrimiento de los descargadores hacia la margen izquierda, desplazamiento de la obra aprox 50 m hacia el centro del valle y un acortamiento del canal de aducción. Las características de esta variante son:

- Longitud de la estructura de hormigón: 273.4 m
- Tramo de Aguas Arriba: Se conforma por un canal de eje curvo, con un radio interno de 180 m y un radio externo de 350 m. El ancho del canal se redujo gradualmente de 210 m en la embocadura a 58,80 m en correspondencia con el ancho de la Estructura de Control. En este tramo se planteó una curva de radio reducido, ya que se tiene un flujo con un número de Froude bajo ($Fr < 0,50$). Dicho radio de curvatura permite reducir notablemente el volumen de excavación de la margen derecha.
- Tramo Central: En este tramo el canal será de eje recto con un ancho de 58,80 m, correspondiente al ancho de la Estructura de Control.
- Tramo de Aguas Abajo: Se conforma por un canal de eje curvo, con un radio al eje de 500 m. El canal en este tramo tendrá un ancho variable entre 58,80 m y 120 m. No se ha considerado reducir el radio de curvatura, con el objeto de realizar una restitución gradual del flujo al río, ya sea durante la etapa de desvío del río o durante la operación de los descargadores de fondo.



• Figura 2– Estructura de hormigón: a) Planta b) Corte



Simulación Numérica Desvío Presa Pte. Néstor Carlos Kirchner. Alternativa Final

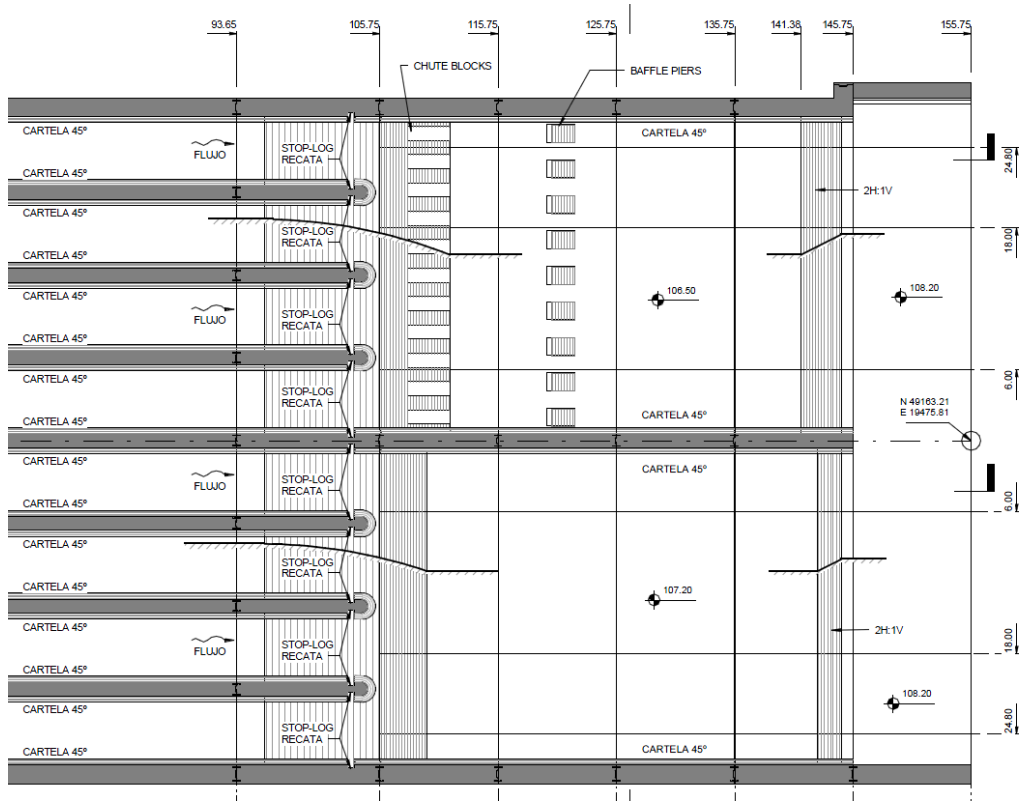


Figura 3 – Cuenco dissipador a la salida de los canales de desvío

3. Código numérico utilizado

3.1. Características principales del código numérico

Como se dijo anteriormente, se utilizó el código comercial FLOW 3D®, el cual es un software de dinámica de fluidos de propósito general. Las ecuaciones gobernantes presentadas anteriormente, son resueltas por el método de volúmenes finitos/diferencias finitas en una malla estructurada. Para la representación de obstáculos el código utiliza el método FAVOR (deriva de las siglas inglesas Fractional Area/Volume Obstacle Representation).

Otra de las características salientes del código es la posibilidad de constituir el dominio computacional por múltiples bloques de malla, anidándolos o vinculándolos entre ellos de manera de poder simular diferentes escalas del fenómeno en estudio.

3.2. Ecuaciones gobernantes

Para predecir el flujo turbulento en las simulaciones se utilizaron las ecuaciones de Navier–Stokes promediadas (RANS):

$$\nabla \cdot \bar{\underline{u}} = 0 \quad [1]$$

$$\frac{\partial(\rho_0 \bar{\underline{u}})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_0 \bar{\underline{u}} \otimes \bar{\underline{u}}) = -\nabla \bar{p} + \underline{g} + \nabla \cdot [\mu \cdot (\nabla \bar{\underline{u}} + \nabla \bar{\underline{u}}^t)] - \nabla \cdot (\rho_0 \overline{\underline{u}' \otimes \underline{u}'}) \quad [2]$$

Donde ρ_0 refiere a la densidad; $\bar{\underline{u}}$ es el vector velocidad media; t refiere al tiempo; \bar{p} denota presión media; \underline{g} es la gravedad, μ refiere a la viscosidad dinámica; \underline{u}' indica la fluctuación del vector velocidad. En los términos, \otimes es la notación del producto entre tensores, $(\cdot)^T$ denota la matriz transpuesta del tensor (\cdot) , la línea superior denota promedio temporal y las líneas inferiores denotan vectores. El cierre de turbulencia empleado para considerar $-\rho_0 \overline{\underline{u}' \otimes \underline{u}'}$ (tensores de Reynolds) en la ecuación [2] fue el modelo RNG k- ϵ (Yakhot and Orszag, 1986).

Se implementó además el modelo de Simulación de los Grandes Vórtices (*LES* por sus siglas en Inglés *Large Eddy Simulation*) (Smagorinsky, 1963), en donde las ecuaciones del flujo puede describirse del siguiente modo:

$$\nabla \cdot \underline{u}_f = 0 \quad [3]$$

$$\frac{\partial(\rho_0 \underline{u}_f)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_0 \underline{u}_f \otimes \underline{u}_f) = -\nabla \underline{p}_f + \underline{g} + \nabla \cdot [(\mu + \mu_t) \cdot (\nabla \underline{u}_f + \nabla \underline{u}_f^t)] \quad [4]$$

Donde ρ_0 refiere a la densidad; \underline{u}_f es el vector de velocidad filtrada; \underline{p}_f indica la presión filtrada; \underline{g} es la gravedad; μ refiere a la viscosidad dinámica; μ_t es la viscosidad dinámica turbulenta de la subgrilla. Para el obtener el valor de μ_t (los efectos de la turbulencia de menor escala) es empleado el modelo de viscosidad de remolino de Smagorinsky (Smagorinsky, 1963).

Las simulaciones *LES*, si bien pueden presentar un costo computacional elevado, brindan una mayor información respecto a las fluctuaciones de velocidad o presión presentes en un escurrimiento turbulento como el que se trata de estudiar.

3.3. Condiciones de borde

El código FLOW-3D® tiene incorporado el método Volumen de Fluido (Volume of Fluid, VOF) en su versión original (ver Hirt and Nichols, 1981) para resolver la superficie libre, la cual constituye una condición de borde interna dinámica. Para tener en cuenta los efectos de los contornos sólidos que conforman la obra civil y el embalse se utilizaron “funciones de pared” (Ferziger and Peric, 2002) que permiten establecer las velocidades y los estadísticos turbulentos como condiciones de borde.

Además de estas condiciones de borde generales, se incluyeron condiciones de presión aguas arriba de manera de simular el nivel de agua en la ataguía para la condición que se desea estudiar y aguas abajo el nivel correspondiente a la restitución. El nivel de restitución fue determinado a partir de las curvas H-Q presentadas por la UTE mediante la NE (documento *NK-A.CV-MT.HI-(OG-00-00)-P001-0C*). El nivel aguas arriba se obtuvo de manera iterativa (se varió el nivel hasta obtener aquel que asegure el pasaje del caudal en estudio).

3.4. Implementación del código numérico. Dominio de simulación y mallado

Para discretizar el dominio computacional se implementaron mallas multi-bloque con diferente tamaño. El dominio de modelación comprendió parte del canal de aducción, estructura de hormigón, canal de restitución y un tramo de río aguas abajo del canal de restitución. En la Figura 3 se presenta el arreglo de malla utilizado en esta modelación.

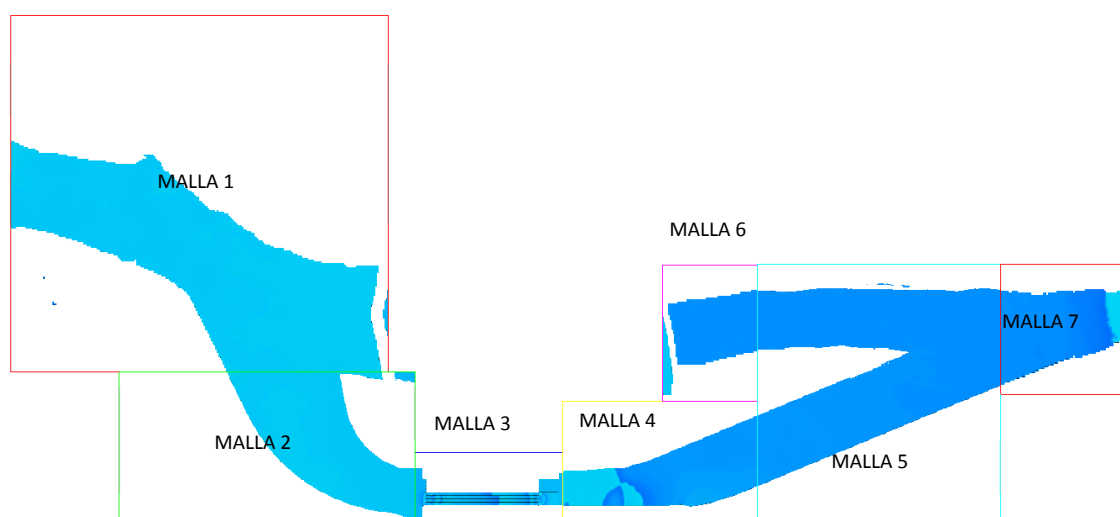


Figura 4 - Discretización del dominio computacional para la simulación

4. Resultados

Para estudiar el comportamiento hidráulico de esta alternativa se realizaron dos tipos de simulación:

Simulación RANS: En esta simulación se implementaron las ecuaciones de Navier–Stokes promediadas (RANS) y se utilizó el modelo de turbulencia K-ε RNG. El objetivo es analizar los parámetros medios del escurrimiento.

Simulación LES: En este caso se implementó el modelo de Simulación de los Grande Vórtices (LES). El objetivo es analizar los fenómenos fluctuantes que aparecen en el escurrimiento, en especial, las fluctuaciones de velocidad a la salida de la estructura de hormigón.

4.1. Simulación RANS – Escenario 1 – Obra a caudal máximo

Escenario modelado:	Caudal de diseño (Q= 2100 m ³ /s)
Geometría modelada:	NK-A.CV-MC.HD-(DD-00-01)-P001
Tipo de simulación:	RANS
Tamaño de celda mínimo:	0.25 m
Modelo de turbulencia:	K-ε RNG
Condiciones de borde:	Aguas arriba: 119.85 mIGN Aguas abajo: 117.13 mIGN (surge de la curva H-Q presentada por la UTE)

En la siguientes Figuras 5 y Figura 6 se puede observar el nivel de la superficie libre y las velocidades superficiales a lo largo de toda la obra de desvío.

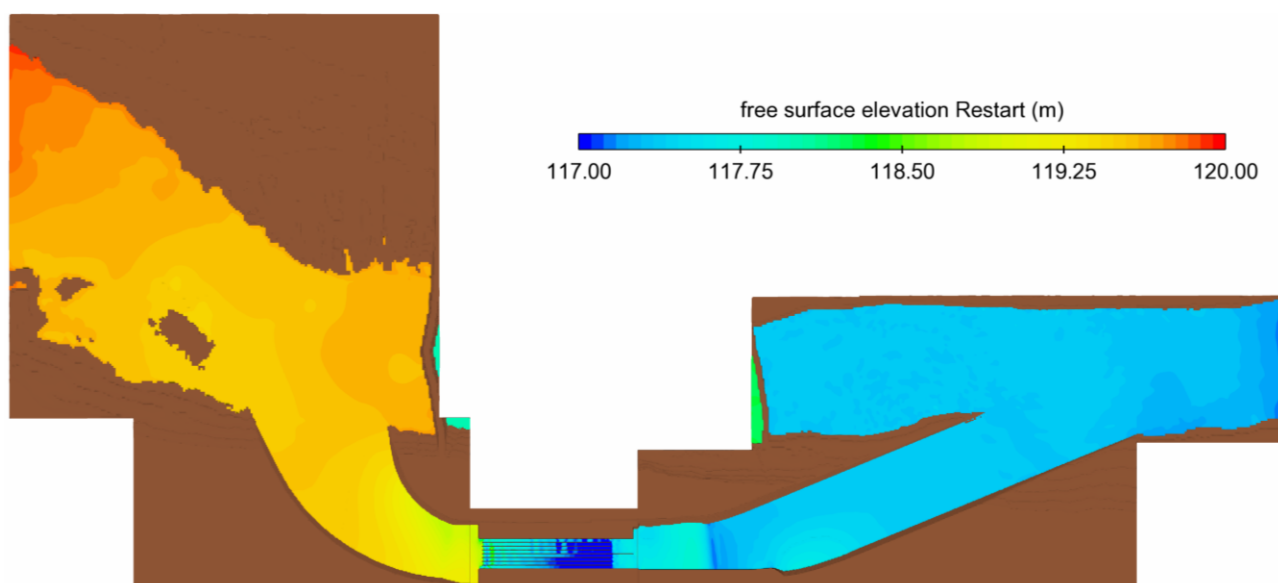


Figura 5– Cota de la superficie libre. Simulación RANS

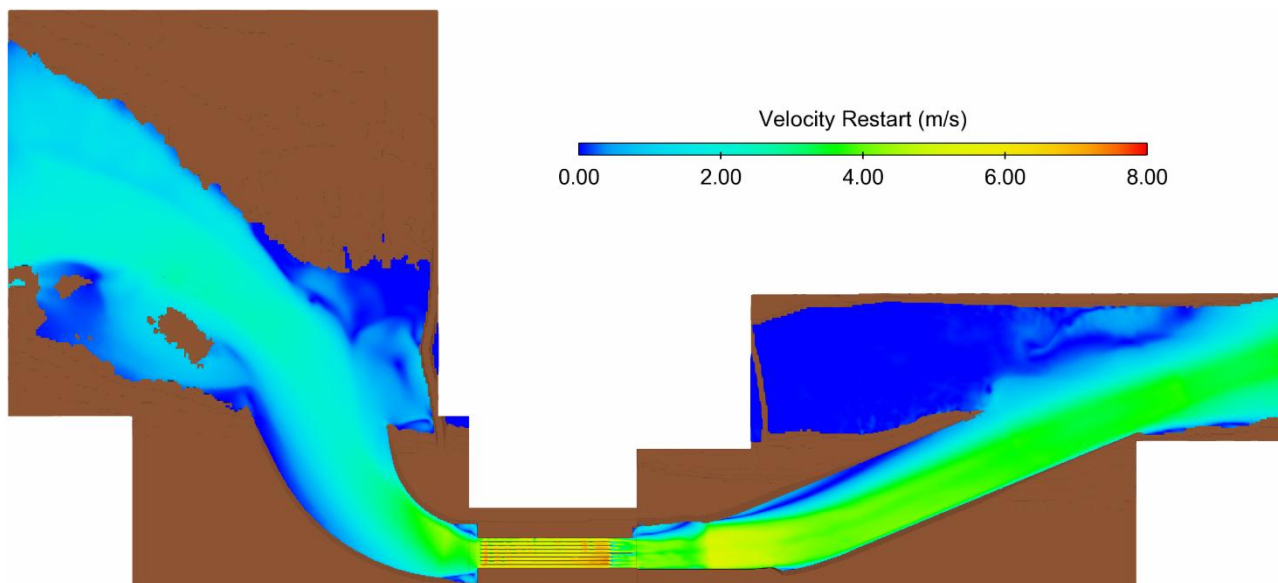


Figura 6 – Velocidades superficiales. Simulación RANS

En la Figura 7 se presentan las velocidades en el canal de aducción a la obra de desvío. En este caso se muestran las velocidades promediadas en la vertical las cuales permiten definir las velocidades admisibles para las protecciones que se proponen. De igual manera en la Figura 8 se presentan las velocidades en el canal de restitución.

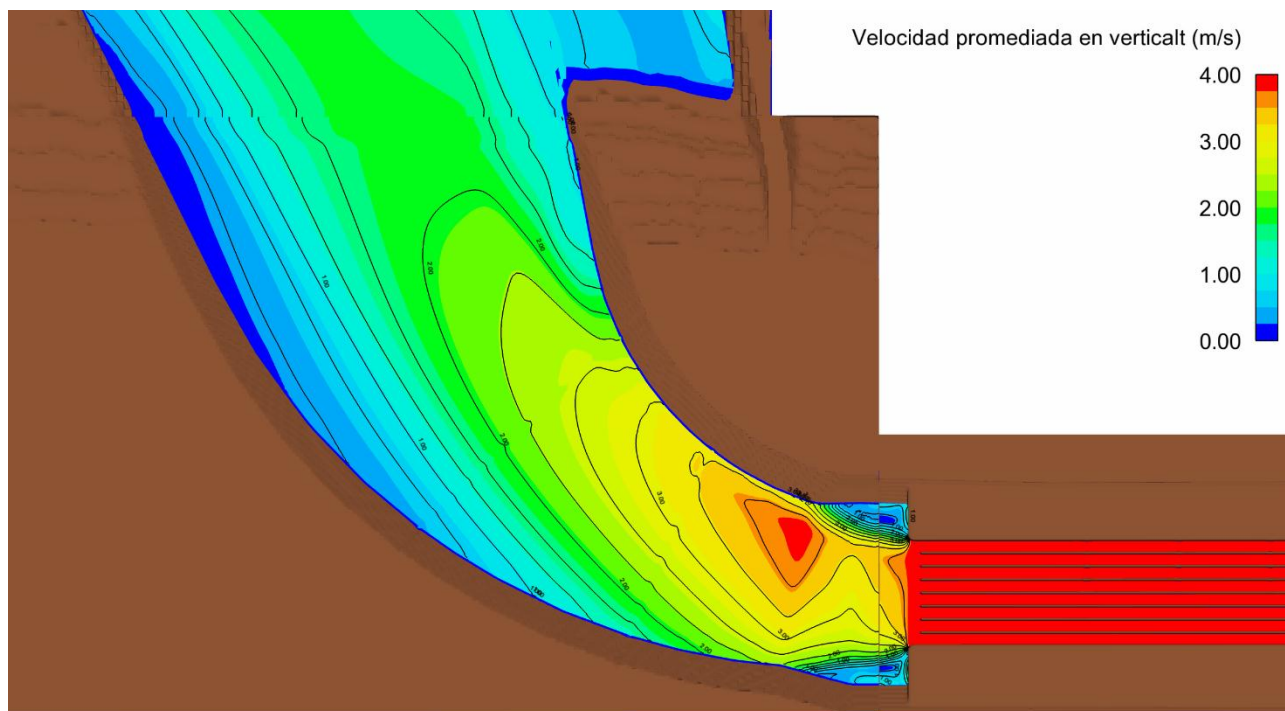


Figura 7 – Canal de aducción. Velocidades promediadas en la vertical. Simulación RANS

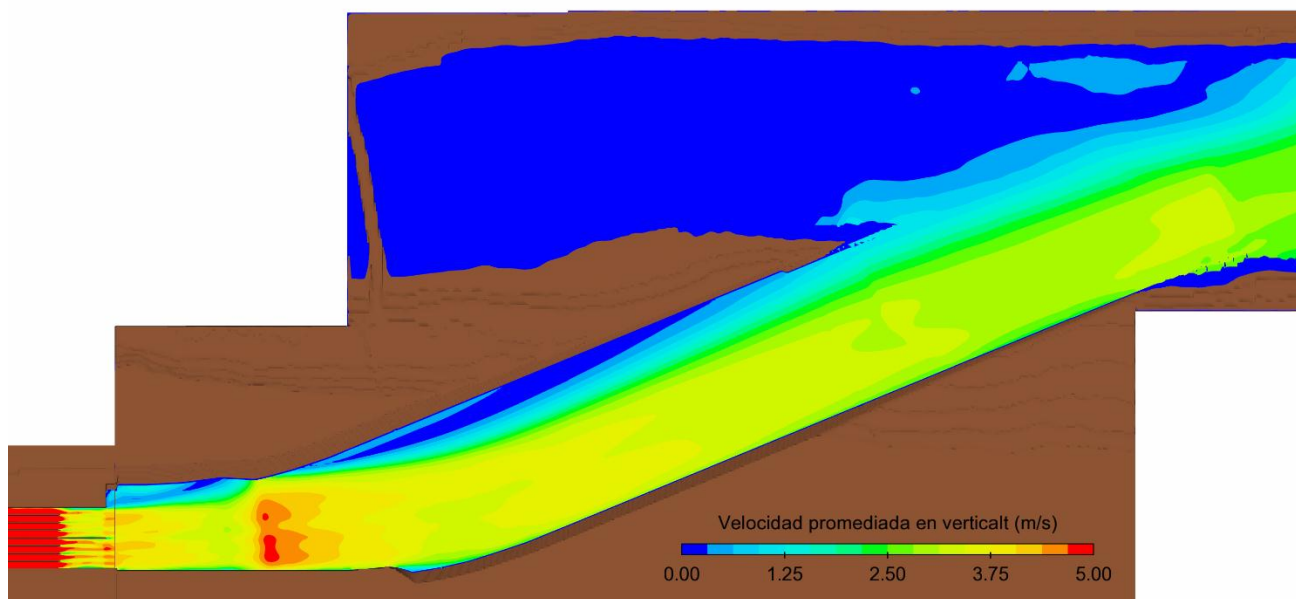


Figura 8 – Canal de restitución. Velocidades promediadas en la vertical - Simulación RANS

Para poder visualizar el comportamiento tridimensional del flujo en la estructura de hormigón y en particular en la descarga, se muestra en la Figura 9 las velocidades de este sector de la obra en una vista en perspectiva.

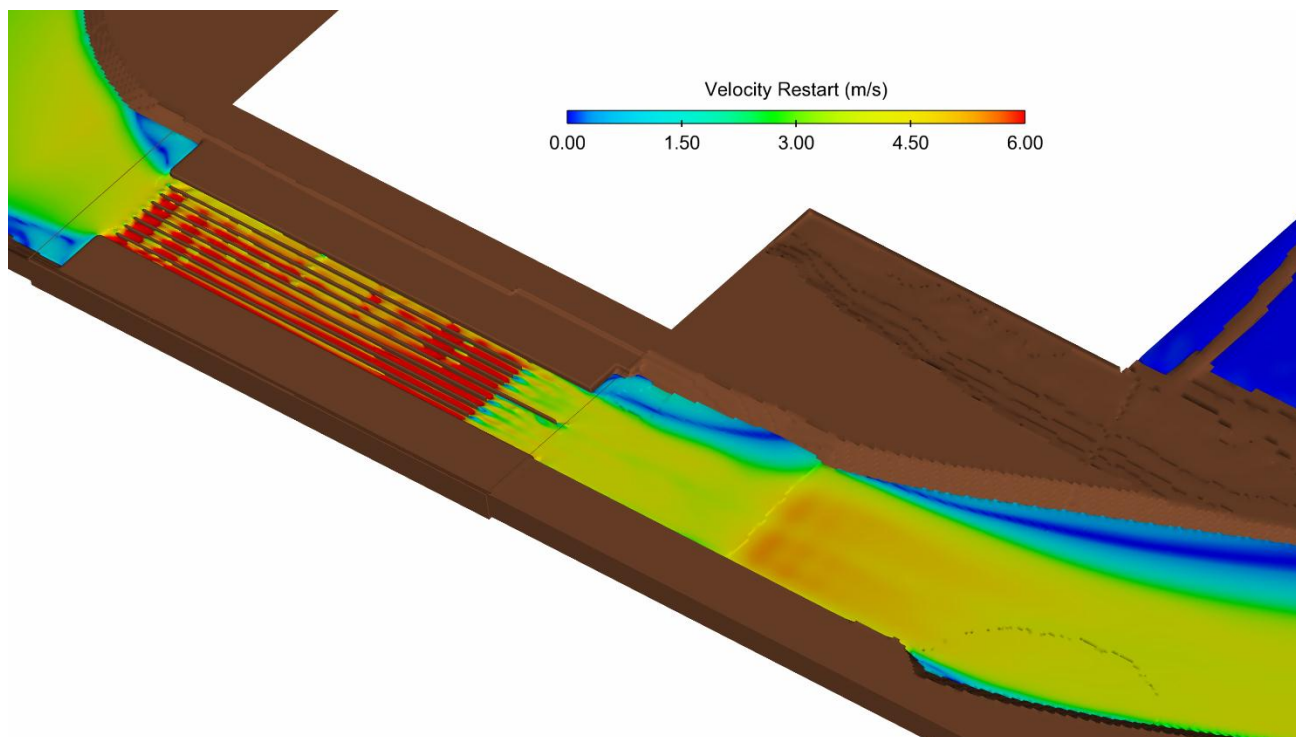


Figura 9 – Vista en perspectiva de las velocidades en la estructura de hormigón. Simulación RANS

A continuación se muestran una serie de planos horizontales que permiten visualizar las velocidades en la estructura de control y en la salida de la misma para diferentes cotas (ver Figura 10).

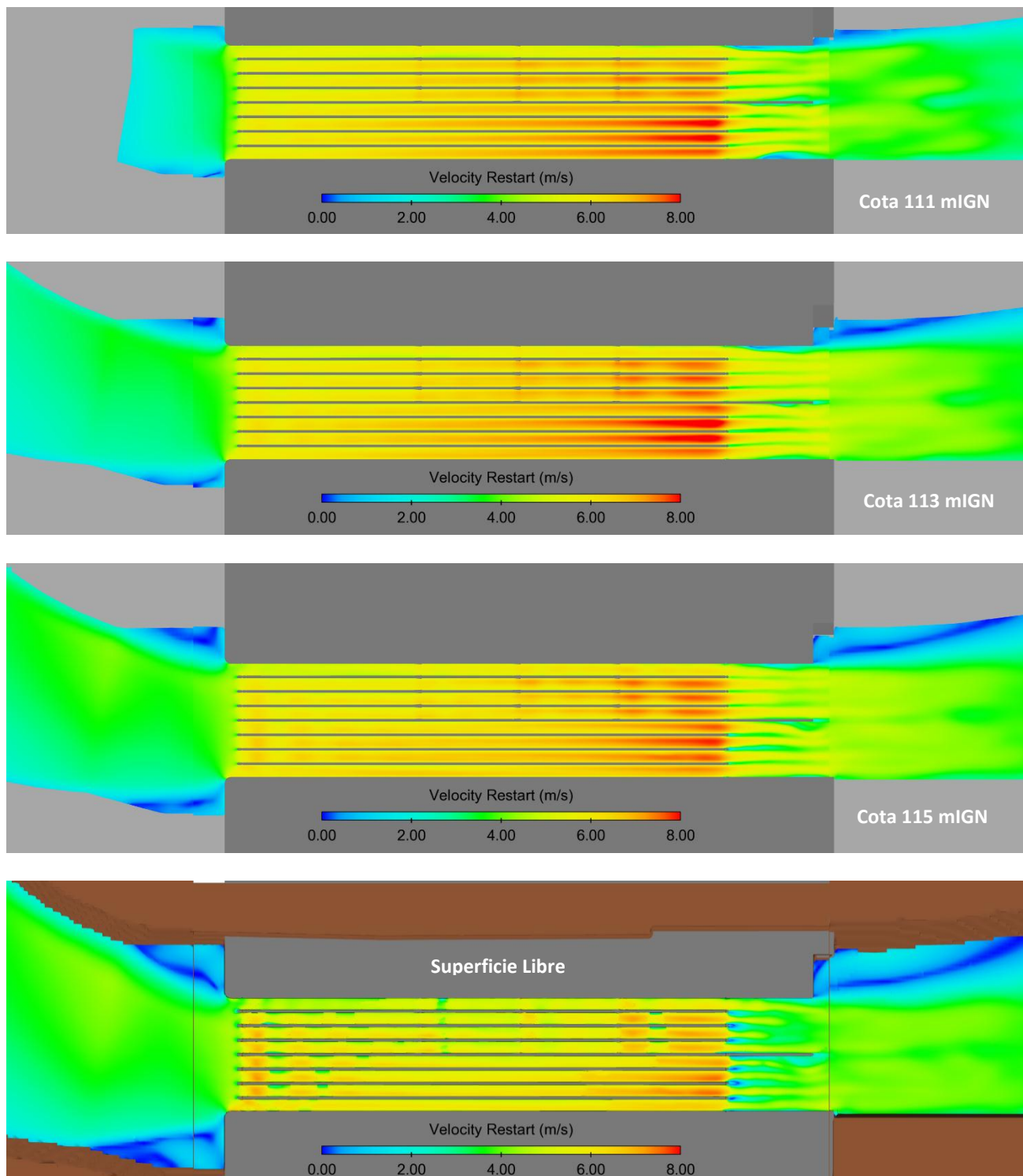


Figura 10 – Planos horizontales de velocidad en la estructura de hormigón y en las zonas cercanas. Simulación RANS

Finalmente, en la Figura 11 se muestra la distribución del número de Froude en la estructura de hormigón.

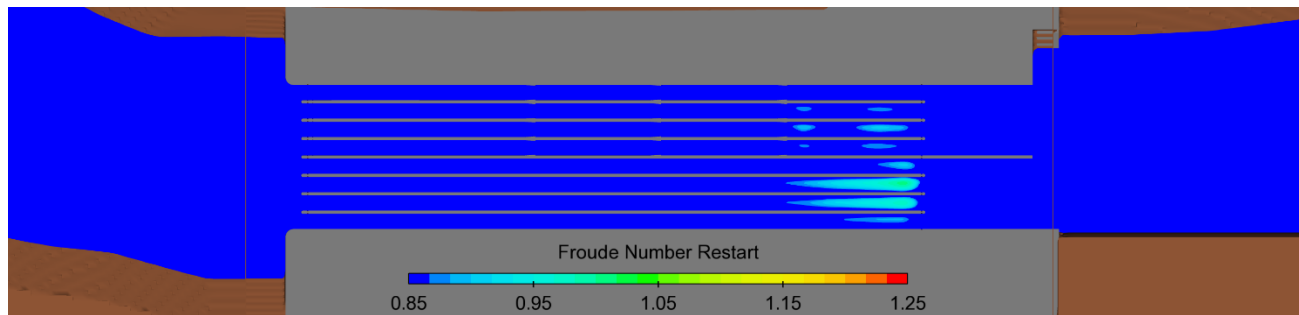
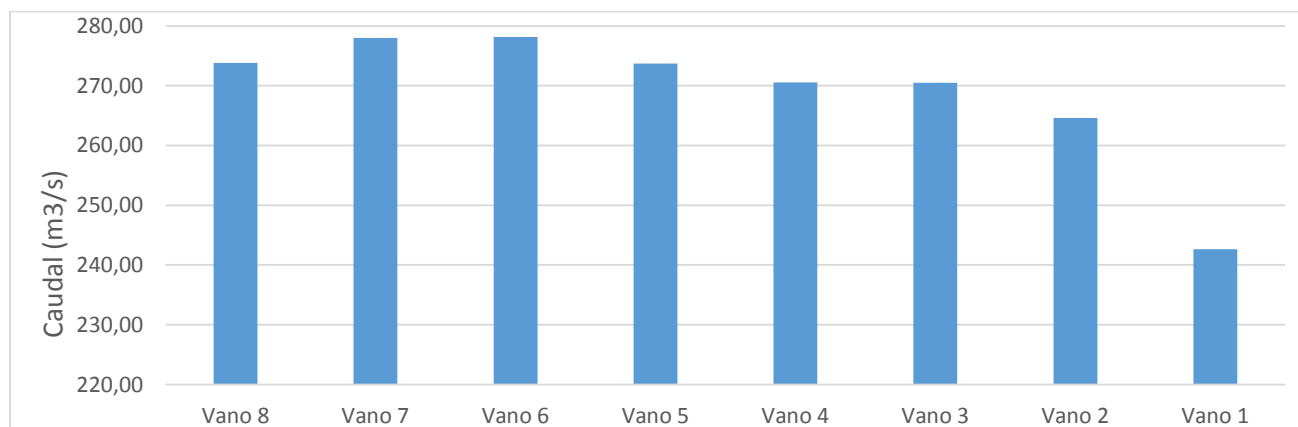


Figura 11 – Numero de Froude aguas abajo de la estructura de hormigón.

Los resultados de caudal por vano se muestran en la siguiente figura, donde el vano 1 corresponde al extremo izquierdo.



Para los niveles simulados por la estructura del desvío pasan **2152 m³/s**, lo que indica que el nivel utilizado para aguas arriba es adecuado. Este nivel piezometrico aguas arriba de la estructura es de 119,03 m.

4.2. Simulación RANS – Escenario 2 – Transformación de celdas en descargador de fondo

Escenario modelado:	Caudal de diseño ($Q= 876 \text{ m}^3/\text{s}$)
Geometría modelada:	NK-A.CV-MC.HD-(DD-00-01)-P001
Tipo de simulación:	RANS
Tamaño de celda mínimo:	0.25 m
Modelo de turbulencia:	K- ϵ RNG
Condiciones de borde:	Aguas arriba: 118.33 mIGN Aguas abajo: 115,40 mIGN (surge de la curva H-Q presentada por la UTE)

En la siguientes Figuras 12 y Figura 13 se puede observar el nivel de la superficie libre y las velocidades superficiales a lo largo de toda la obra de desvío.

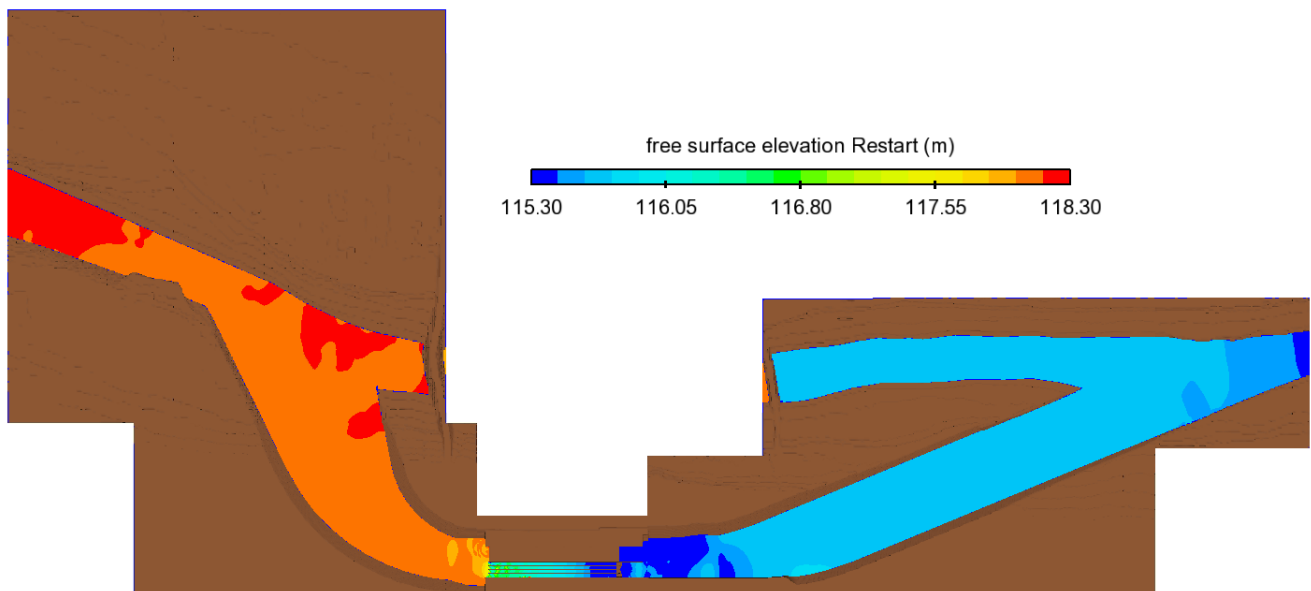


Figura 12 – Cota de la superficie libre. Simulación RANS

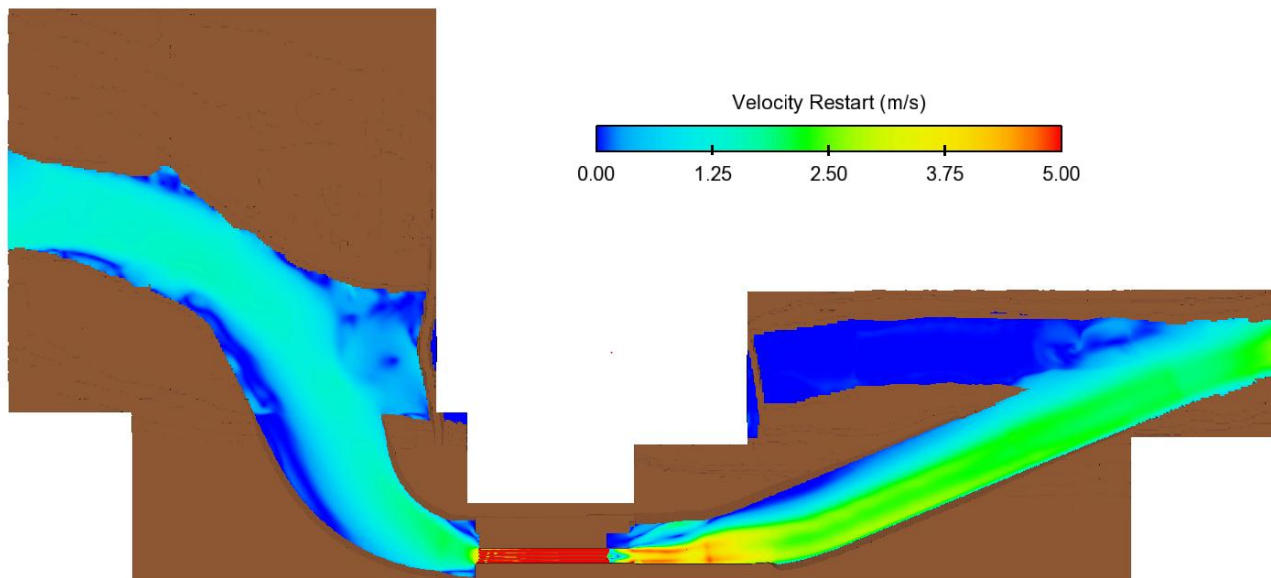


Figura 13 – Velocidades superficiales. Simulación RANS

En la Figura 14 se presentan las velocidades en el canal de aducción a la obra de desvío. En este caso se muestran las velocidades promediadas en la vertical las cuales permiten definir las velocidades admisibles para las protecciones que se proponen. De igual manera en la Figura 15 se presentan las velocidades en el canal de restitución.

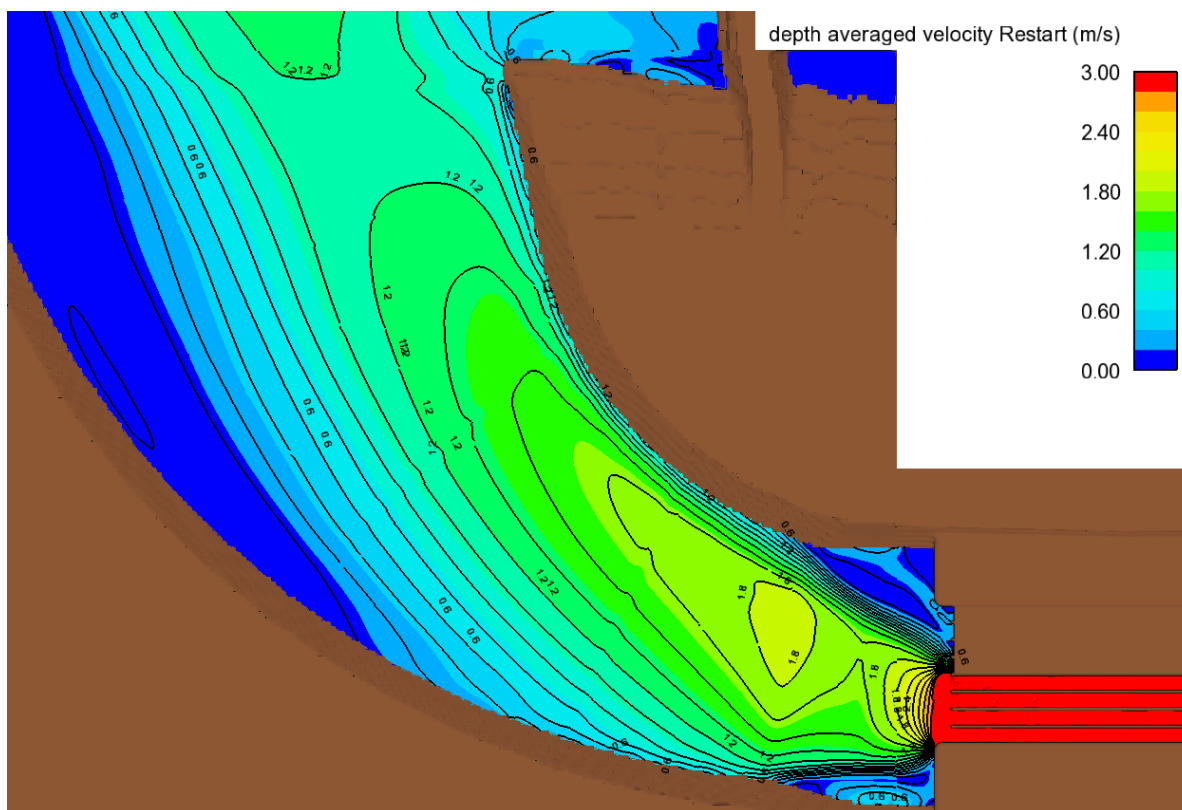


Figura 14 – Canal de aducción. Velocidades promediadas en la vertical.
Simulación RANS

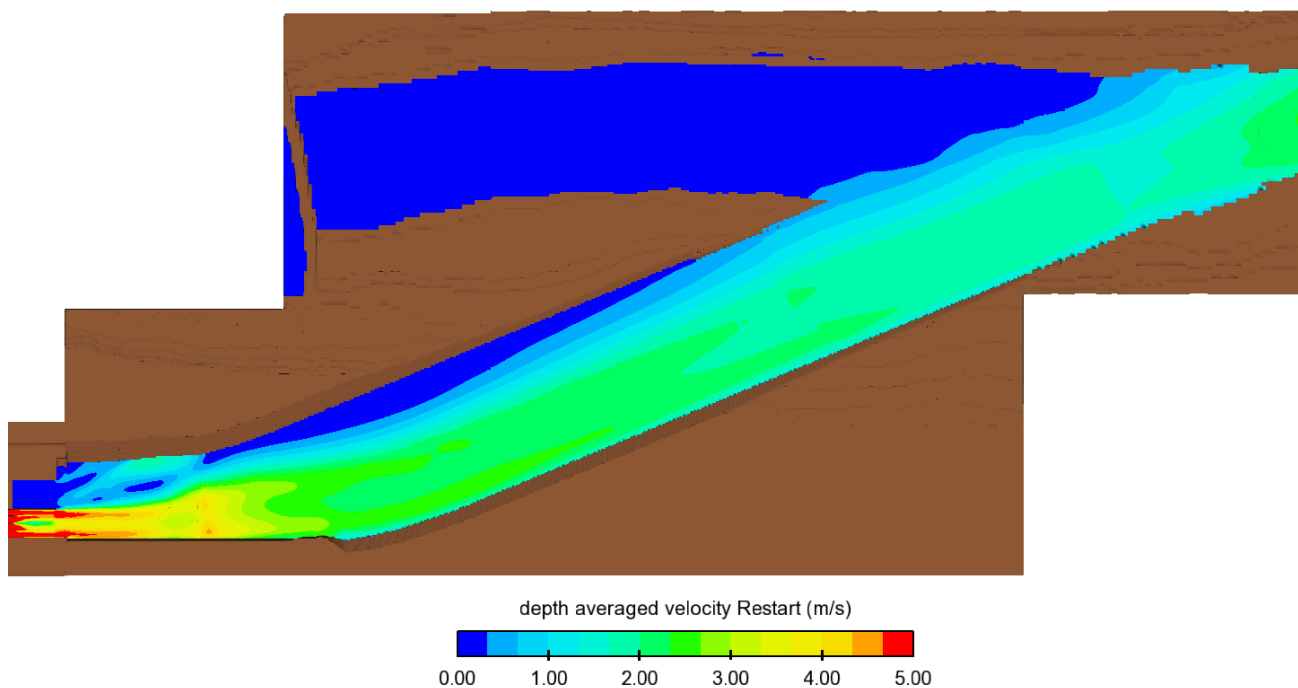


Figura 15 – Canal de restitución. Velocidades promediadas en la vertical.

Simulación RANS

Para poder visualizar el comportamiento tridimensional del flujo en la estructura de hormigón y en particular en la descarga, se muestra en la Figura 16 las velocidades de este sector de la obra en una vista en perspectiva.

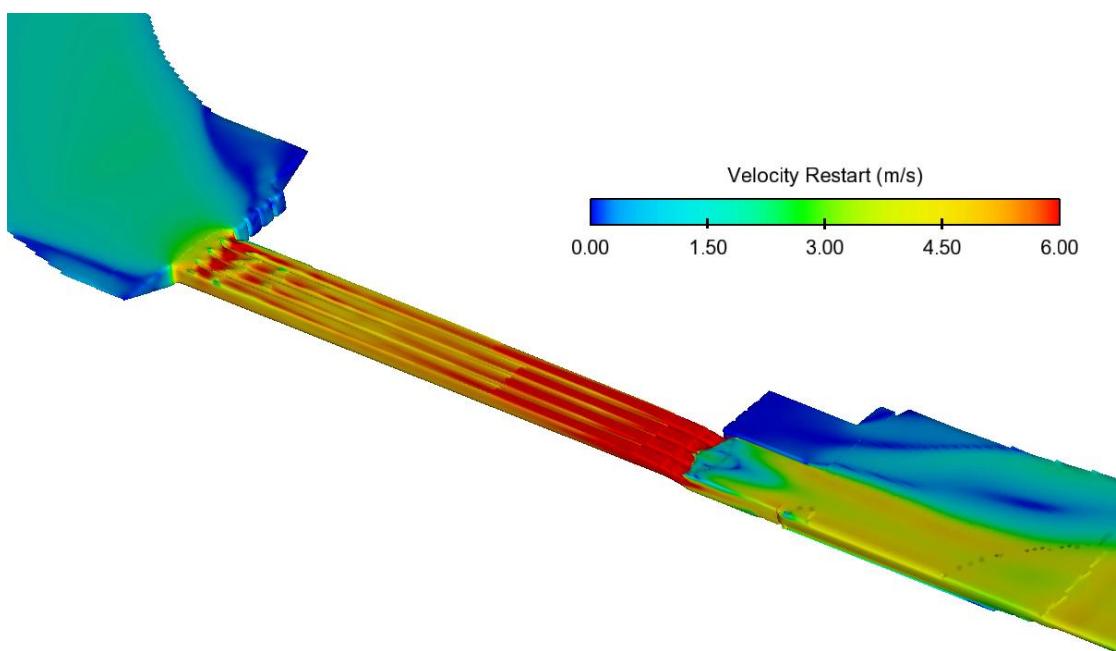


Figura 16 – Vista en perspectiva de las velocidades en la estructura de hormigón.

Simulación RANS

A continuación se muestran una serie de planos horizontales que permiten visualizar las velocidades en la estructura de control y en la salida de la misma para diferentes cotas (ver Figura 17).

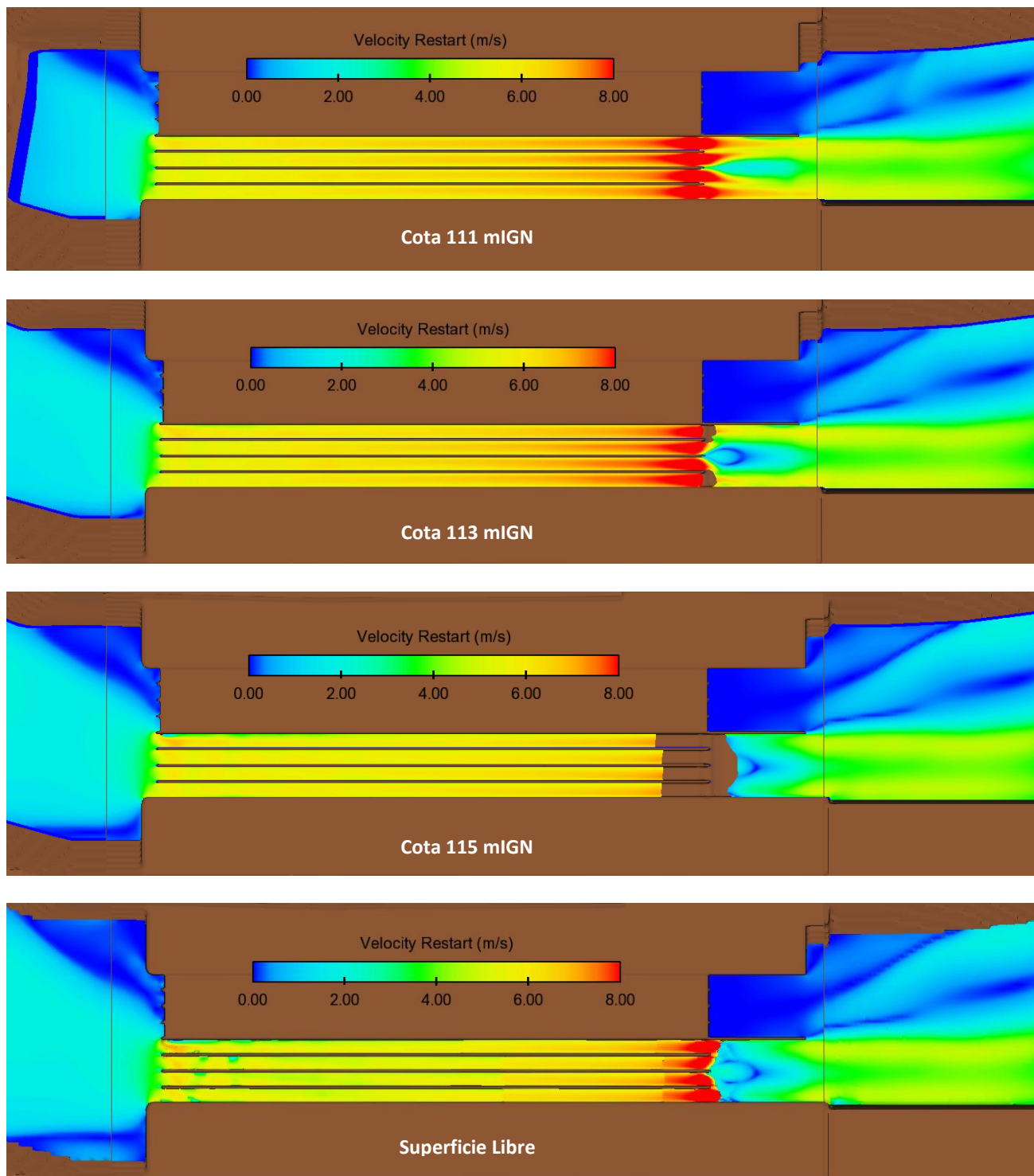
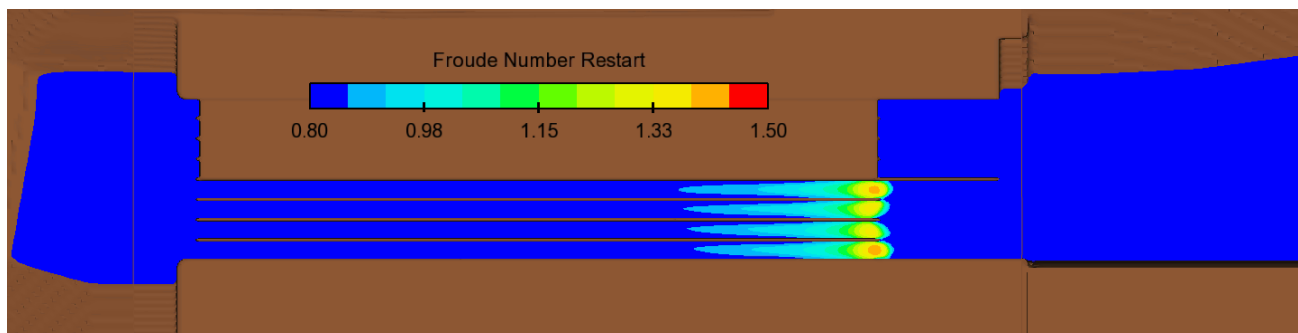
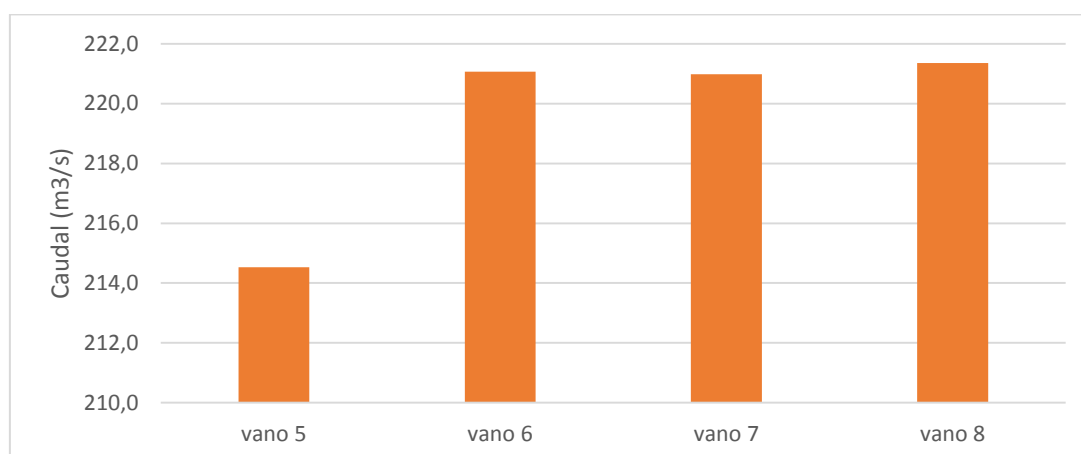


Figura 17 – Planos horizontales de velocidad en la estructura de hormigón y en las zonas cercanas. Simulación RANS

Finalmente, en la Figura 18 se muestra la distribución del número de Froude en la estructura de hormigón.



Los resultados de caudal por vano se muestran en la siguiente figura, donde el vano 8 corresponde al extremo derecho.



Por la estructura del desvío pasan **877.9** m³/s, lo que indica que el nivel utilizado para aguas arriba es adecuado.

4.3. Protecciones propuestas del canal

En la siguiente figura se muestran las protecciones propuestas para el canal de desvío por la Contratista en su documento NK-A.CV-MT.MS-(DD-00-00)-P001-0C.

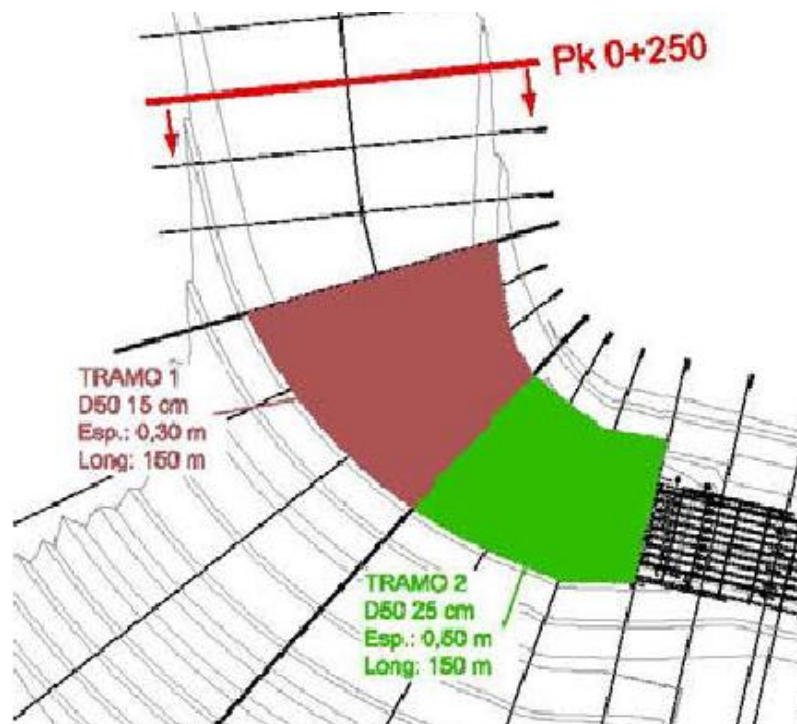


Figura 19 – Protecciones en canal aguas arriba

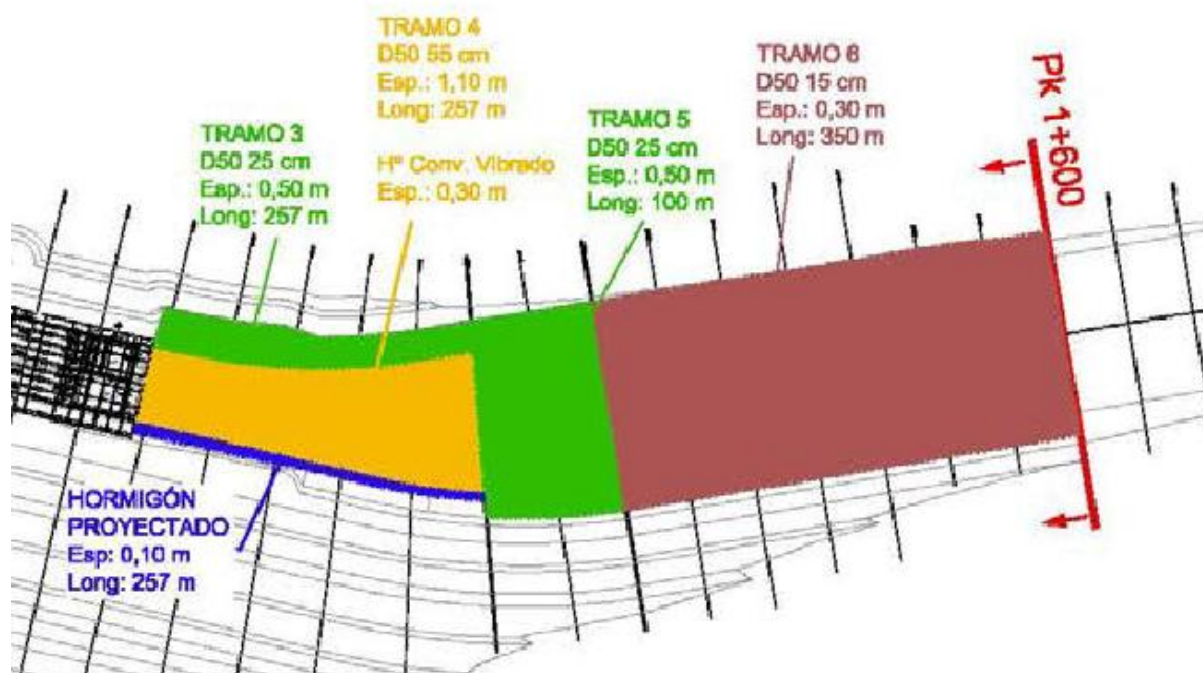


Figura 20 – Protecciones en canal aguas abajo



Las características de las protecciones propuestas se indican en la siguiente tabla.

TRAMO	TRAMO	PROGRESIVA INICIO [m]	PROGRESIVA FINAL [m]	LONGITUD [m]	V MAX Canal [m/s]	V MAX Cierre Parcial [m/s]	V MAX DFI [m/s]	D 50 Adoptado [m]	W 50 [kg]	W 100 [kg]	D 100 [m]	ESPESOR [m]
1	Solera + Taludes	300	450	150	2.4	-	-	0.15	5	10	0.19	0.3
2	Solera + Taludes	450	600	150	3.3	-	-	0.25	22	45	0.31	0.5
3	Talud Margen Izquierda	893	1150	257	3.0	-	2.1	0.25	22	45	0.31	0.5
4	Solera	893	1150	257	4.1	4.6	3.7	0.55	240	479	0.69	1.1
5	Solera + Taludes	1150	1250	100	3.0	1.8	1.6	0.25	22	45	0.31	0.5
6	Solera + Taludes	1250	1600	350	2.7	1.6	1.5	0.15	5	10	0.19	0.3

4.4. Verificación de las protecciones

Existen diferentes metodologías para calcular las dimensiones del riprap frente a la acción de la corriente. Algunos de estos métodos pueden ser utilizados en un amplio rango de aplicaciones, por ejemplo Pilarczyk (1990) o Escarameia (1998), mientras que otros fueron desarrollados para situaciones específicas (Oliver,1967)

El manual *Sedimentation Engineering* (Garcia, 2007) presenta un resumen sobre diferentes metodologías a implementar en el diseño de enrocados:

- CUR Manual
- California Bank and Shore Protection (CBSP) Manual
- Wallingford Desing Manual for River and Channel Revetments
- FHWA Manual – Design of Riprap Revetments (HEC-11)
- Corps of Engineering Manual – Hydraulic Design of Flood Control Channels.

En términos generales los factores que intervienen en la estabilidad del riprap son: velocidad de la corriente, tirante, densidad de la roca, diámetro característico del material, pendiente del talud, intensidad de turbulencia, etc. No todos estos parámetros son utilizados en las ecuaciones implementadas en los métodos antes mencionados. Así por ejemplo, la ecuación de Escarameia y May (1992), utilizada en el Wallingford Desing Manual for River and Channel Revetments, incorpora la intensidad de turbulencia, pero no tiene en cuenta la pendiente del talud. En este sentido expresa que dicha ecuación es válida para taludes menores a 1V:2H. La ecuación de Isbash, usada para protecciones aguas abajo de disipadores de energía, utiliza un coeficiente de mayoración en el caso de flujos turbulentos pero tampoco considera la pendiente del talud. Por el contrario, las ecuaciones de Brown y Clyce, (1989), CDH (1970) y USACE (1994) incorporan el efecto de la pendiente del talud (efecto desestabilizador) pero no presentan correcciones para flujos turbulentos.



En el caso que nos ocupa hay dos factores que influyen de manera considerable y que no pueden ser despreciados: la pendiente del talud y la turbulencia (intensidad turbulenta). En este sentido una de las fórmulas más completas es la propuesta por Pilarczyc (1990) la cual expresa que el diámetro característico de la protección (D_n) puede calcularse como:

$$D_n = \left(\frac{0.035}{\Psi_{cr}} \right) \cdot \varphi_c \cdot k_h \cdot k_s^{-1} \cdot k_T \cdot \left(\frac{U^2}{2g} \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta} \right)$$

Donde:

D_n : Diámetro característico=0.85 x D_{50}

U: Velocidad media promediada en la vertical

Δ : Densidad relativa= $(\rho_{roca} - \rho_{agua}) / \rho_{agua}$
Considerando un peso específico de 2.75 Tn/m³

Ψ_{cr} : Parámetro de movilidad de Shields. Pilarczyc indica un valor de 0.035 para enrocado, pero cuando se requiere absoluta estabilidad ese valor debe considerarse igual a 0.025 (Loschacoff et al., 2003). En este caso se considera este último valor por tratarse de una zona crítica.

φ_c : Parámetro de corrección geométrico para considerar ángulos y transiciones.
0.75 para protección continua
1 a 1.5 para bordes y transiciones
1.5 para roca expuesta en solera
Para el caso en estudio se considera el factor 1.5.

k_h : Factor de profundidad que depende del perfil de velocidades:
 $k_h = 2 / [\log(12h/k_s)]^2$ Perfil logarítmico de velocidades (flujo desarrollado)
 $k_h = (h/D_n)^{-0.2}$ Perfil no desarrollado de velocidades
1 Ecurrimiento muy rugoso ($h/D_n < 5$)
En este caso se considera un perfil de velocidades no desarrollado.

k_s : Factor de reducción por pendiente (Lane, 1995) = $(1 - (\sin\theta^2 / \sin\varphi^2))^{0.5}$
 θ : ángulo del talud con la horizontal

φ : ángulo de fricción interna de la protección. Se adopta un valor de 40°.

k_T : Factor de reducción por turbulencia = $(1+3.I)/1.45$, donde I es la intensidad de turbulencia. En caso de no contar con el valor de I, se proponen los siguientes valores:

1 para turbulencia normal en ríos
1.5 para curvas
2 para turbulencia elevada en resaltos
3 para properller jets

En la siguiente Tabla 1 y 2 se presentan las dimensiones de enrocado necesarias para la estabilidad de la protección de la corriente que resultan de la aplicación de la ecuación presentada. Los valores de velocidad ($U_{prom.ver.}$) e intensidad turbulenta ($I_{prom.ver.}$) corresponden a los máximos valores detectados en el tramo protegido. El ángulo del talud se calcula a partir de lo indicado en los planos de excavación.



DESVIÓ - 2100										
TRAMO	T1		T2		T3	T4	T5		T6	
	SOLERA	TALUD	SOLERA	TALUD	TALUD	SOLERA	SOLERA	TALUD	SOLERA	TALUD
$U_{prom. Vert.}$ [m/s]	3.20	3.20	3.73	3.73	3.89	5.00	4.08	3.20	3.60	3.60
TKE [m ² /s ²]	0.150	0.150	0.250	0.200	0.550	0.850	0.350	0.300	0.200	0.200
I	0.099	0.099	0.109	0.098	0.156	0.151	0.118	0.140	0.101	0.101
Ψ_{cr}	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
ϕ_c	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sup. Libre [msnm]	119.1	119.1	118.8	118.8	117.2	117.1	117.3	117.4	117.4	117.4
Fondo [m]	111.8	111.8	111.8	111.8	108.2	111.3	111.3	111.3	111.3	111.3
h [m]	7.3	7.3	7.1	7.1	9.0	5.8	6.0	6.1	6.1	6.1
θ	0	21	0	21	21	0	0	21	0	21
ϕ	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
K_s	1.00	0.83	1.00	0.83	0.83	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83
K_t	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Δ	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
D_n [m]	0.13	0.17	0.20	0.25	0.27	0.44	0.26	0.18	0.19	0.24
k_h	0.45	0.47	0.49	0.51	0.49	0.60	0.53	0.49	0.50	0.52
D_{50} [m]	0.16	0.20	0.23	0.29	0.31	0.51	0.30	0.21	0.22	0.28
UTE	0.15	0.15	0.25	0.25	0.25	0.55	0.25	0.25	0.15	0.15
% de Variación	5	33	-7	18	25	-7	22	-17	48	87

Tabla 1 – Cálculo de Protecciones – Etapa 1

DESVIÓ - ADECUACION										
TRAMO	T1		T2		T3	T4	T5		T6	
	SOLERA	TALUD	SOLERA	TALUD	TALUD	SOLERA	SOLERA	TALUD	SOLERA	TALUD
$U_{prom. Vert.}$ [m/s]	1.70	1.70	3.00	1.90	1.80	5.00	3.20	2.50	2.50	2.50
TKE [m ² /s ²]	0.050	0.050	0.080	0.065	0.170	0.900	0.200	0.150	0.100	0.100
I	0.107	0.107	0.077	0.110	0.187	0.155	0.114	0.126	0.103	0.103
Ψ_{cr}	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
ϕ_c	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sup. Libre [msnm]	118.3	118.3	118.2	118.2	115.7	115.7	115.7	115.7	115.8	115.8
Fondo [m]	111.8	111.8	111.8	111.8	108.2	111.3	111.3	111.3	111.3	111.3
h [m]	6.5	6.5	6.5	6.5	7.5	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5
θ	0	21	0	21	21	0	0	21	0	21
ϕ	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
K_s	1.00	0.83	1.00	0.83	0.83	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83
K_t	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
Δ	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
D_n [m]	0.03	0.04	0.12	0.05	0.04	0.47	0.15	0.10	0.08	0.10
k_h	0.34	0.35	0.45	0.37	0.36	0.64	0.51	0.47	0.45	0.47
D_{50} [m]	0.03	0.04	0.14	0.06	0.05	0.56	0.18	0.12	0.10	0.12
UTE	0.15	0.15	0.25	0.25	0.25	0.55	0.25	0.25	0.15	0.15
% de Variación	-78	-72	-45	-78	-79	1	-28	-51	-36	-19

Tabla 2 – Cálculo de Protecciones – Etapa 2



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

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico

Número:

Referencia: ANEXO I_Estudios Complementarios

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 541 pagina/s.