

Caracterización hidrológica de las Subregiones Hidrográficas de los ríos Chico y Chalia (Centro de la provincia de Santa Cruz)

Diaz Boris G.¹, Germán Seeber²

¹ Área Manejo de Recursos Hídricos, Grupo Forestal, Agrícola y Manejo de Agua. INTA EEA Santa Cruz. Mahatma Gandhi 1322 (CP9400) Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina
Correo-e: diaz.boris@inta.gob.ar

² INTA AER Gobernador Gregores. INTA EEA Santa Cruz
Avda. República de Chile 390 (CP9311) Gobernador Gregores, Santa Cruz, Argentina
Correo-e: seeber.german@inta.gob.ar



Octubre 2015

PALABRAS CLAVE

Hidrología, Manejo de Cuencas, Hidrometría, SIG, Ordenamiento Territorial



INDICE

INTRODUCCION	3
<i>Las subregiones hidrográficas de los ríos Chico y Chalia</i>	4
OBJETIVOS	6
MATERIALES Y MÉTODOS	6
<i>Sistema de información geográfica</i>	6
<i>Procedimientos de aforo y análisis de caudales</i>	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
<i>Caudal de ríos – región del Chalia</i>	10
<i>Caudal de ríos – región del Roble y del Belgrano</i>	12
<i>Caudal de ríos – región del Lista y del Capitán</i>	14
<i>Caudal de ríos – tramo medio del Chico</i>	16
CONCLUSIONES	17
RECOMENDACIONES	18
AGRADECIMIENTOS	19
FUENTES CONSULTADAS	20
ANEXO METODOLOGICO	23
<i>Calibración de instrumentos</i>	23
<i>Ajuste de curva HQ en el río Chalia</i>	23
ANEXO FOTOGRÁFICO	25

Foto de portada. Germán Seeber realizando determinaciones con velocímetro en el río Belgrano, inmediatamente bajo la confluencia del Belgrano superior y el río Roble, en la cuenca alta del río Chico.

INTRODUCCION

La cuenca hidrográfica constituye la unidad territorial más apropiada para la planificación y gestión, la conservación y el aprovechamiento sostenido y coordinado de los recursos hídricos considerando sus dimensiones social, productiva y natural, permitiendo la detección de las mejores oportunidades para el aprovechamiento y conservación, minimizando conflictos o impactos negativos para los recursos contenidos en la cuenca (Solanez y Villarreal, 1999; Berelson y otros, 2004; COHIFE, 2013). Esta conceptualización geográfica y territorial hace centro en el recurso agua, el más importante para la sustentación de todo aspecto de la vida y de tal forma, presenta una relevancia determinante en la conformación de los paisajes, los ambientes, sus componentes e interacciones, el desarrollo de las actividades humanas y su supervivencia (Dourojeanni y otros, 2002; SUBDERE-CEPAL, 2013).

El manejo de cuencas puede definirse como el conjunto de esfuerzos tendientes a la identificación y aplicación de herramientas técnicas, socioeconómicas y legales para la solución integral de los problemas derivados del mal uso y deterioro de sus recursos naturales renovables, con especial énfasis en el agua, a fin de lograr un mejor desarrollo de la sociedad inserta en ellas y de la calidad de vida de su población (FAO, 1996; Brooks y otros, 1991). En este sentido, la ordenación y el manejo integral de una cuenca hidrográfica constituyen valiosos instrumentos del Estado y de la Sociedad para ordenar sus actividades, conciliar intereses, conservar la biodiversidad y permitir un uso sostenido de sus recursos naturales (Fitzgerald y otros, 1972; FAO, 1996). La cuenca hidrográfica constituye entonces, la unidad básica de planeamiento orientando al ordenamiento y el manejo integrado de sus recursos naturales.

El análisis regional basado en la cuenca hidrográfica, en el contexto del ordenamiento territorial, es de vital importancia dada la preocupación y debates públicos por los crecientes problemas ambientales, sociales y económicos, que se manifiestan en el desabastecimiento hídrico en amplias zonas, la sequías, el cambio de patrones de precipitación, la desaparición y retroceso de glaciares, la creciente competencia y conflictividad por el agua, la sobreexplotación y subutilización de los recursos hídricos, y la remoción de hábitats relevantes vinculados al agua, problemas que se perciben con cada vez más regularidad (SUBDERE-CEPAL, 2013).

No es posible gestionar aquello que no se conoce apropiadamente. Tampoco es posible asistir técnicamente mediante recomendaciones que apunten al mejor uso y conservación posibles de un recurso. Estos sencillos conceptos implican la necesidad de invertir fuertemente en el conocimiento de recursos naturales estratégicos, como lo es el agua, a fin de asegurar la diversificación y multiplicación de los potenciales usos en un marco de sustentabilidad y sostenibilidad, como también así la mejor conservación de los recursos naturales y ambientes asociados.

Los recursos hídricos en la región prácticamente no han sido estudiados en el poco más de un siglo de ocupación y aprovechamiento económico intensivo de sus tierras, desconociéndose en la actualidad datos mínimos fundamentales para comprender la dinámica natural de sus aguas, cómo se las aprovecha, cuál es el impacto asociado a estas prácticas de aprovechamiento y cuáles podrían ser las tendencias para el recurso en los años por venir. El desconocimiento sobre estado actual de conservación y dinámica de las aguas de superficie, en particular en un escenario de cambio climático global con importantes repercusiones potenciales para la vida socioeconómica en la región, genera fuertes interrogantes acerca de las acciones inmediatas de

intervención, control y gestión requeridas para asegurar una apropiada administración a escala de cuenca hidrográfica.

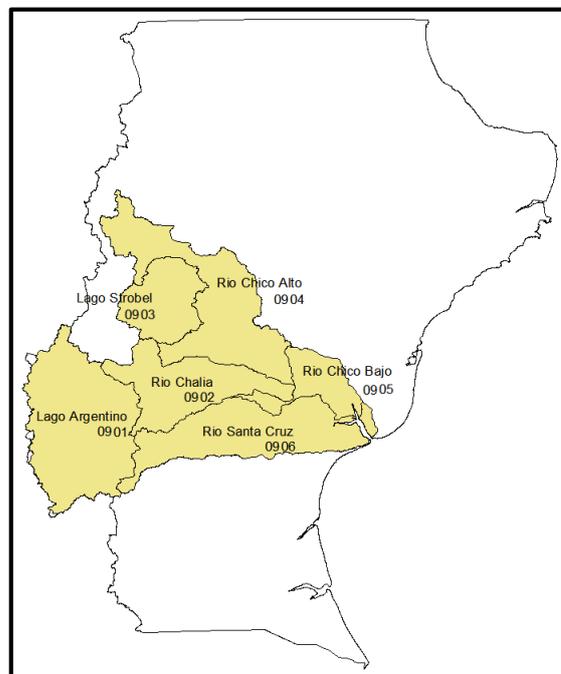
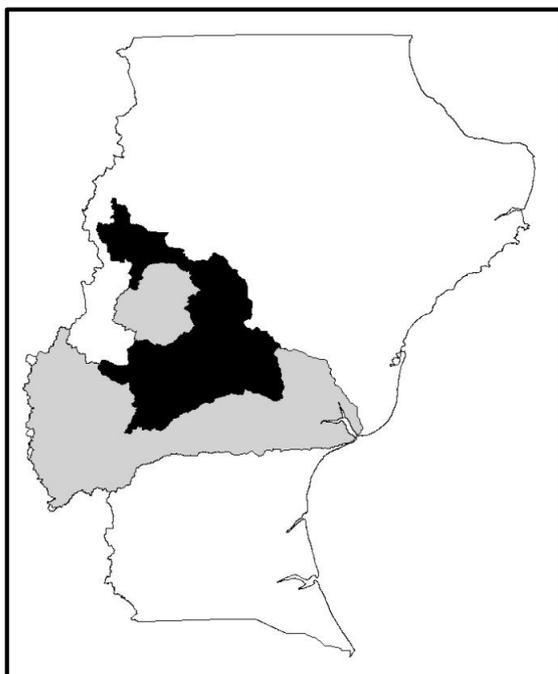
Por todo lo mencionado, resulta de necesidad inmediata la generación de información específica sobre los recursos hídricos en la región de forma que permitan establecer un umbral mínimo de conocimiento sobre el cual comenzar a organizar planes de trabajo para asegurar la mejor gestión sostenible y sustentable del recurso, acompañados de una proyección de tecnologías y acciones que lo garanticen.

Las subregiones hidrográficas de los ríos Chico y Chalia

La región hidrográfica del río Santa Cruz consiste en una de las más extensas de la provincia con unos 64.106 km² (Díaz y Giménez, 2015) con un módulo anual promedio próximo a los 700 m³/s. El sistema hidrográfico del río Chico constituye el segundo gran tributario de aguas superficiales en esta región después de los aportes más importantes provenientes del Campo de Hielo Patagónico Sur y los lagos Viedma y Argentino, con una superficie total de unos 34.310 km² que contribuyen con una descarga media anual estimada del 4% del producido en toda la región hidrográfica.

MAPA 1 (izq.). Ubicación de las subregiones hidrográficas de los ríos Chico Alto y Chalia, objeto del presente estudio (negro), dentro de la región hidrográfica del río Santa Cruz (gris).

MAPA 2 (der.). Zonificación y codificación de unidades en la región de interés extraído de Díaz y Gimenez (2015).



La cuenca de recepción del río Chico se subdivide en 4 subregiones hidrográficas, 3 de las cuales son de descarga exorreica: la subregión del río Chico Alto (SH0904) con 14.609,7 km², río Chalia (SH0902) con 9.354,5 km², y río Chico Bajo (SH0905) formada aguas abajo de la

confluencia de los primeros mencionados, con 4.372,8 km². La subregión del Lago Strobel (0903), en la que se encuentran los lagos Strobel y Cardiel entre numerosas lagunas menores, es la única superficie predominantemente endorreica del sistema, con 5.972,8 km² de extensión. La expansión geográfica total abarca desde los 47°37'49" LS en el norte a los 50°02'56" LS en el sur, y desde los 72°19'28" LO en el Oeste a los 68°32'56" LO en el Este (MAPAS 1, 2).

La región bajo análisis en el presente informe consiste en las subregiones hidrográficas Río Chico Alto (0904) y Río Chalia (0902), con una cobertura total de 23.964,20 km² y una extensión total de 1.817 km de cursos de agua de régimen permanente o temporal, entre los cuales la mayor longitud acumulada se distribuye en 6 de éstos: los ríos Chico (426,2 km), Chalia (230,7 km), Belgrano (101,7 km), Corpen (78,3 km), Lista (60,8 km) y Roble (25,1 km). Los ríos Corpen y Chalia son los únicos de régimen temporal en sus respectivas desembocaduras.

El mayor desarrollo territorial de las regiones hidrográficas analizadas se encuentra en el Departamento administrativo Río Chico no obstante extenderse por toda la franja central de la provincia (TABLA 1).

TABLA 1. Cobertura territorial de los Departamentos administrativos de la provincia para las subregiones hidrográficas de interés.

DEPARTAMENTO	SUP.TOT (km ²) ^a	COBERTURA (km ²) ^b
Río Chico	33.890,7	10.912,3 (32,3%)
Magallanes	20.384,9	254,0 (1,3%)
Lago Argentino	38.667,4	7.354,7 (19,0%)
Corpen Aike	26.290,7	4.073,4 (15,5%)

Dónde: ^a Extensión total en km² del Departamento, determinado sobre cartografía oficial SIG250 del SIT SantaCruz (2013) en proyección WGS84 PosGAR2007; ^b Cobertura de las subregiones en cada Departamento, entre paréntesis proporción de la extensión total del Departamento).

La mayor extensión de la región de trabajo se encuentra en el área de influencia de la AER Gobernador Gregores (subregión hidrográfica del río Chico), seguida de la AER El Calafate (subregión del río Chalia), (TABLA 2).

TABLA 2. Cobertura territorial (hacia 2014) de las Agencias de Extensión Rural (AER) de INTA EEA Santa Cruz para las subregiones hidrográficas de interés.

AER	SUP.TOT (km ²) ^a	COBERTURA (km ²) ^b
San Julián	33.887,9	121,5 (0,4%)
Gobernador Gregores	42.148,9	14.561,1 (34,5%)
Los Antiguos	38.695,3	76,0 (0,2%)
El Calafate	46.426,4	8.942,6 (19,3%)

Dónde: ^a Extensión total en km², de cobertura de cada AER, determinado sobre cartografía oficial INTA EEA Santa Cruz (2010) en proyección WGS84 PosGAR2007; ^b Cobertura de las subregiones en cada área de influencia de AER, entre paréntesis proporción de la extensión total de cada área.

El agua en la región de interés ha sido muy escasamente estudiada, principalmente entre las décadas de 1940 y 1970 (CFI, 1961; Agua y Energía, 1978) a través de unos pocos estudios orientados a establecer la potencialidad de colonización de sus tierras con fines agrícolas. Sin embargo, con la sola excepción de unas pocas publicaciones aisladas que aún persisten sobre el tema, se carece de información descriptiva, en cantidad y calidad, sobre los recursos hídricos en la región.

OBJETIVOS

El objetivo central del presente informe consiste en presentar y discutir el conocimiento actual sobre el recurso hídrico de superficie en la región central de la provincia de Santa Cruz, a través de los antecedentes conocidos disponibles y registros originados en trabajos del INTA EEA Santa Cruz, en el área de influencia del subsistema hidrográfico de los ríos Chico y Chalia, tal que permita su caracterización preliminar y de la forma en que se lo aprovecha, aportando elementos de juicio para la propuesta de estudios, relevamientos o proyectos futuros en la zona.

Los objetivos específicos incluyen:

- (a) Realizar una compilación y análisis preliminar de antecedentes públicos accesibles relacionados con el recurso agua en la región de interés, la producción y dinámica estacional de aguas superficiales y proyectos de aprovechamiento,
- (b) Presentar y analizar resultados de las campañas de medición de caudales realizadas durante los años 2014 y 2015 por INTA EEA Santa Cruz, a través del trabajo colaborativo entre el Grupo Forestal, Agrícola y Manejo de Agua y la AER Gobernador Gregores,
- (c) Describir el estado de conocimiento actual del recurso hídrico en la región,
- (d) Proponer líneas de trabajo y acciones futuras, en relación con objetivos institucionales de INTA en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema de información geográfica

Para la caracterización hidrográfica de la región se partió de la base vectorial de ríos y cuerpos de agua publicada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH-INA, 2002), disponible en formato digital en escala 1:500.000, a su vez éste un subproducto del SIG250 publicado por el Instituto Geográfico Militar (2000), actualizado en 2011. A partir de la geoinformación disponible se realizó una edición preliminar de ambos productos en una escala 1:100.000 publicada en 2012 por el SIT SantaCruz, que consistió en los siguientes procedimientos: (a) vectorización de elementos nuevos y/o ajuste nodos y vértices en polígonos y polilíneas, en el sector argentino; y (b) actualización de datos/atributos de tabla a partir de cartografía en papel disponible oficial del IGN en escalas 1:100.000 y 1:250.000 disponibles. La cartografía vectorial lograda carece de edición topológica.

El principio fundamental para la delineación de cuencas utilizado en este trabajo se apoyó en la división topográfica de los escurrimientos de superficie, para cualquiera de los niveles de

agregación propuestos, en donde el total de escurrimientos superficiales es colectado en un punto común (curso o cuerpo) en su porción topográfica más baja.

El procedimiento de graficación y jerarquización de unidades hidrográficas se basó en los estándares de USGS (2011), comenzando en un nivel superior o de grandes regiones hidrográficas definidas por Diaz y Minatti (2006) y la progresiva subdivisión de territorios, buscando un equilibrio entre el número de unidades para cada nivel y la superficie media resultante hasta la subcuenca o microcuenca. El procedimiento utilizado se basa en la metodología de Pfafstetter, actualmente de amplia utilización mundial, incorporado por normas nacionales en diversos países del continente americano (Ruiz y Torres, 2008; UICN, 2008) y propuesta para la provincia de Santa Cruz (Diaz y Minatti, 2006; Diaz y Giménez, 2015).

Procedimientos de aforo y análisis de caudales

Se establecieron secciones temporales y permanentes de control de caudales en diversos ríos de la región, sobre los que se realizaron 3 campañas de aforo entre septiembre de 2014 y septiembre de 2015. El procedimiento consistió en determinaciones de sección y velocidad siguiendo la metodología estándar habitual para cursos libres (USDI, 2001). Los registros de velocidad se realizaron con molinete universal OTT C31, con hélice No.2 (rango de 0,1 a 10,0 m/s), mediante la técnica de vadeo a lo largo de la sección. En cursos de bajo caudal se trabajó con un molinete Global Flow Probe FP101 (con un rango de 0,1 a 7,62 m/s). Las secciones establecidas se presentan en TABLA 3 y MAPA 3.

TABLA 3. Secciones de aforo establecidas por INTA en cursos naturales de la región.

CURSO	SECCION	LATITUD ^a	LONGITUD ^b
Belgrano	Confluencia río Chico (p)	-48°15'32,6"	-71°12'49,7"
	Menelik (t)	-47°54'46,8"	-71°54'07,4"
	Puente RP37 (p)	-47°56'36,3"	-71°52'58,3"
	Confluencia río Roble (t)	-47°57'42,8"	-71°53'05,5"
Chico	Chico Alto (p)	-48°17'32,3"	-71°33'47,4"
	Confluencia Capitán (t)	-48°21'22,0"	-71°42'26,1"
	Confluencia río Belgrano (p)	-48°15'52,3"	-71°13'10,2"
	Chico Medio (t)	-49°34'45,9"	-69°28'11,9"
	Puente Ea Silvina (t)	-48°22'50,4"	-70°47'06,9"
Roble	Confluencia río Belgrano (p)	-47°57'24,0"	-71°53'45,8"
Capitán	Ea Río Capitán (p)	-48°21'26,7"	-71°42'10,3"
Chalia	Confluencia río Chico (p)	-49°35'26,8"	-69°30'46,4"
Lista	Confluencia río Chico (t)	-48°17'11,8"	-71°33'45,9"

^a y ^b Sistema de referencia WGS84, POSGAR2007 (Instituto Geográfico Nacional); t= sección temporaria/estacional; p= sección permanente.

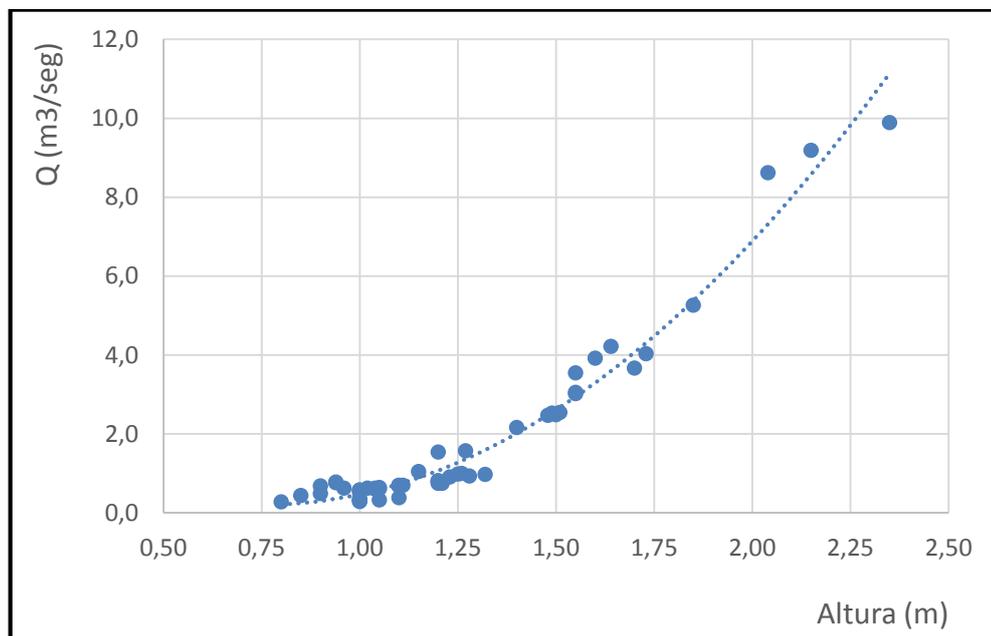
Las secciones permanentes se han definido así como aquellas ubicadas en sitios estratégicos de la red de drenaje que sería recomendable incluir en una red de monitoreo permanente, dado que permiten la caracterización de regiones que contribuyen significativamente en la producción de aguas o bien concentran importantes obras de aprovechamiento de agua para irrigación, todos datos de gran utilidad para realizar balances hídricos de superficie a la vez que monitorear la

calidad de las aguas circulantes. Las secciones temporarias han sido establecidas en momentos puntuales de evaluación pero por las características de los sitios de emplazamiento podrían exigir reubicaciones durante trabajos futuros, especialmente en el caso que pudiera concretarse una red de monitoreo a escala regional.

Se ajustó una función de calibración entre ambos instrumentos utilizados a fin de hacer comparables sus respectivos registros (ver Anexo Metodológico).

La información generada por INTA se complementa con datos procedentes de la BDHI (Base de Datos Hidrometeorológica Integrada), dependiente de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, que registra una sola estación monitoreada en la actualidad en la región de interés, ubicada sobre el puente de la RN40 en proximidad de la localidad de Tres Lagos (Sección Tres Lagos: $-49,5956^{\circ}$ LS, $-71,5628^{\circ}$ LO). La estación, en funcionamiento continuo desde Marzo de 2010 a la fecha, dispone de un limnógrafo y un total de 57 aforos de caudal para el ajuste de una curva altura de tirante-caudales (HQ) con una equitativa distribución de registros para las diferentes estaciones del año (FIGURA 1). Su perfil batimétrico se desconoce (ver Anexo Metodológico).

FIGURA 1. Curva ajustada tirante-caudales (HQ) para el curso superior del río Chalia, a partir de registros de la empresa EVARSA en el período 2010-2015.

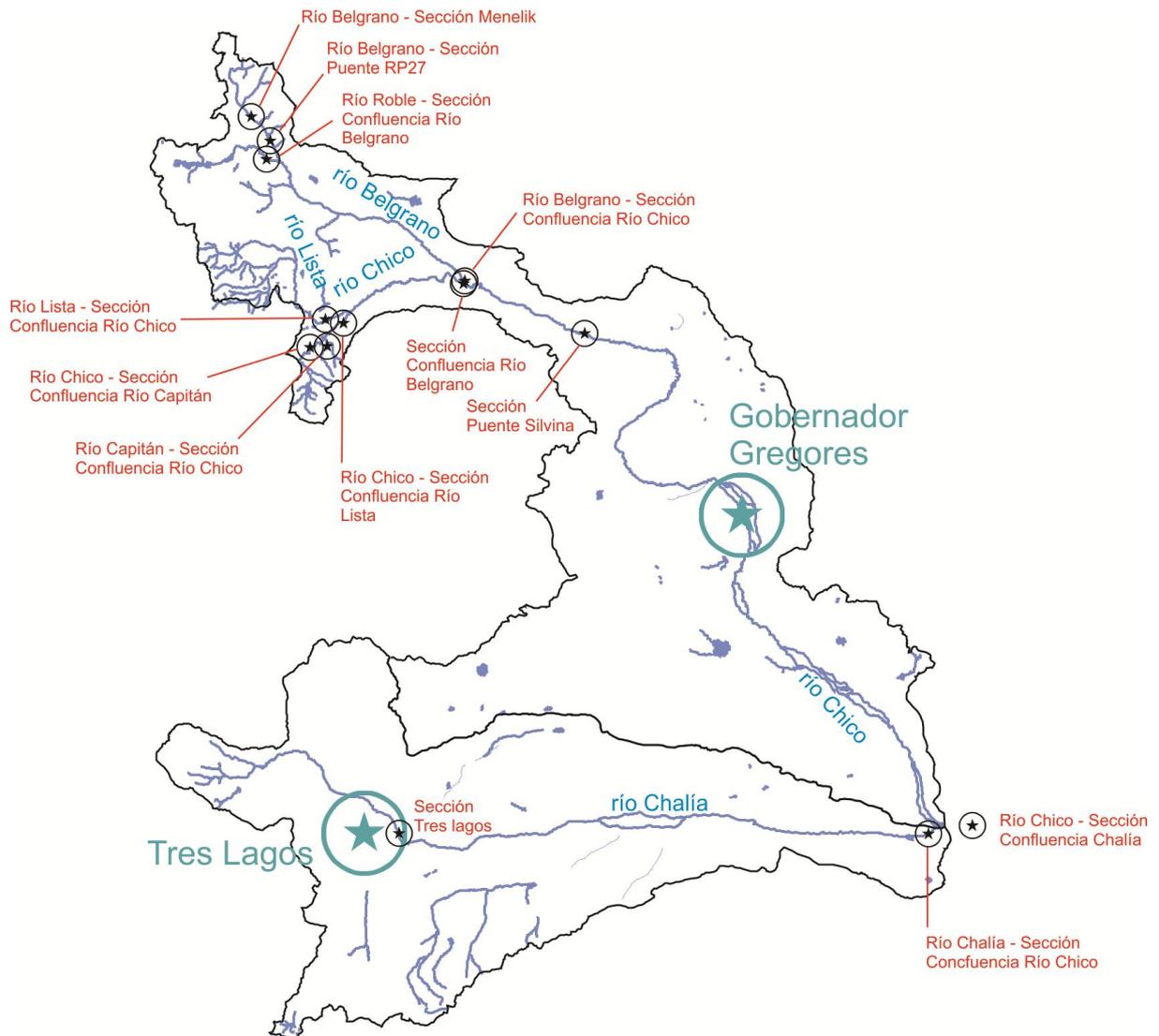


La función de ajuste del caudal en la sección Tres Lagos es la siguiente:

$$Q_{(m^3/s)} = (4,2686 * H^2) + (6,394 * H) + 2,972$$

Donde: $Q_{(m^3/s)}$ es el caudal expresado en m^3/s y H es la altura del tirante del curso registrada por el limnógrafo. Estadísticos de ajuste de la función $R^2=0,703$; $n=57$; error medio= $-0,0002 m^3/s$.

MAPA 3. Ubicación de secciones de aforo y registro permanente de tirantes y caudales en la región de interés.



Se realizó una búsqueda y compilación de antecedentes que involucraron las bibliotecas de la Subsecretaría de Planeamiento de la provincia de Santa Cruz, de la Dirección Provincial de Recursos Hídricos, del Ministerio de la Producción de Santa Cruz (MINPROD) de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA) y del Consejo Federal de Inversiones (CFI). Se realizó también un sondeo a través de técnicos y profesionales que han trabajado en la región en décadas recientes a fin de acceder a datos dispersos, comentarios y opiniones sobre

la realidad del recurso hídrico en la región, complementándolo con entrevistas informales a antiguos propietarios, administradores y puesteros de establecimientos agropecuarios en la región. A la fecha este sondeo no puede considerarse definitivo si bien ha contribuido en gran medida a una interesante caracterización preliminar del recurso hídrico de superficie en la región y su dinámica en años recientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El régimen de caudales en un curso de agua durante un lapso determinado de tiempo es el único parámetro de un balance hidrológico a escala de cuenca que puede ser medido directamente con una buena precisión. Otros parámetros como las precipitaciones, la evaporación, el almacenamiento en suelos, solo pueden ser estimados y modelizados a partir de mediciones puntuales en una cuenca, lo cual siempre condiciona fuentes posibles de error. El régimen de caudales consiste en un dato básico y fundamental para la comprensión del funcionamiento de una región hidrográfica, para el cálculo en el diseño de obras civiles e hidráulicas, viales y ferroviarias, para el aprovechamiento racional y sustentable de las aguas de superficie, para la prevención de riesgos hídricos, entre otros numerosos e importantes usos. De esta forma, los esfuerzos para la cuantificación de caudales a través de la instalación de redes de monitoreo y aforo en los cauces más importantes y sus tributarios en una región en particular consiste en un paso fundamental para establecer el conocimiento de su funcionamiento hidráulico.

Un registro lo más exacto y preciso posible de mediciones de caudales en cursos naturales y canales consiste en una herramienta fundamental para el diagnóstico y la planificación del uso del recurso agua y si bien muchos beneficios derivados de esta práctica son intangibles, es posible mencionar algunos muy importantes (USDI, 2001), como ser: (a) conocer la dinámica en el tiempo de la producción natural de aguas de superficie (recarga) y establecer potenciales relaciones con el cambio climático global y regional, (b) asegurar la propuesta y monitoreo de una distribución equitativa de agua entre demandantes para la producción agropecuaria regional, (c) asegurar una permanente evaluación de prioridades de distribución de cuotas de agua entre demandantes, (d) localizar pérdidas en el sistema y hacer más eficientes los diseños y mantenimientos requeridos para controlarlos, (e) contribuir con información de base indispensable para la decisión de ampliación de redes de irrigación, obras de toma y drenaje, así como también en la implementación de mecanismos de administración de redes de irrigación, (f) contribuir con información de base para la mitigación de impactos negativos derivados de un aprovechamiento intensivo y extensivo del agua, (g) contribuir con información de base para mejorar permanentemente los mecanismos de regulación y control, administrativos y legales en pos de un uso más eficiente y equitativo del recurso agua en la región.

Caudal de ríos – región del Chalia

El río Chalia o Sheuen nace en la Meseta Campo de las Piedras, en la porción occidental del área de influencia, sobre la divisoria de aguas con la cuenca del lago Tar que discurre entre las mesetas de San Adolfo (N) y del Viento (S). Desde estas nacientes, la cartografía oficial del Instituto Geográfico Nacional denomina al curso principal como Chalia o Sheuen, si bien figura

en cartografía de CFI (1961) como arroyo Potranca tras su confluencia con diversos arroyos procedentes de la Vega del Barón de Soria (NW) y del arroyo Los Paisanos o Chaita (SW), según la fuente, el río adquiere un caudal significativo y permanente a la altura de la localidad de Tres Lagos y con la toponimia de Chalia. Con la excepción de este río el resto de sus cursos tributarios son de régimen temporal, como el arroyo Pari Aike, cañadón del Puesto y cañadón Mank Aike, entre los más importantes.

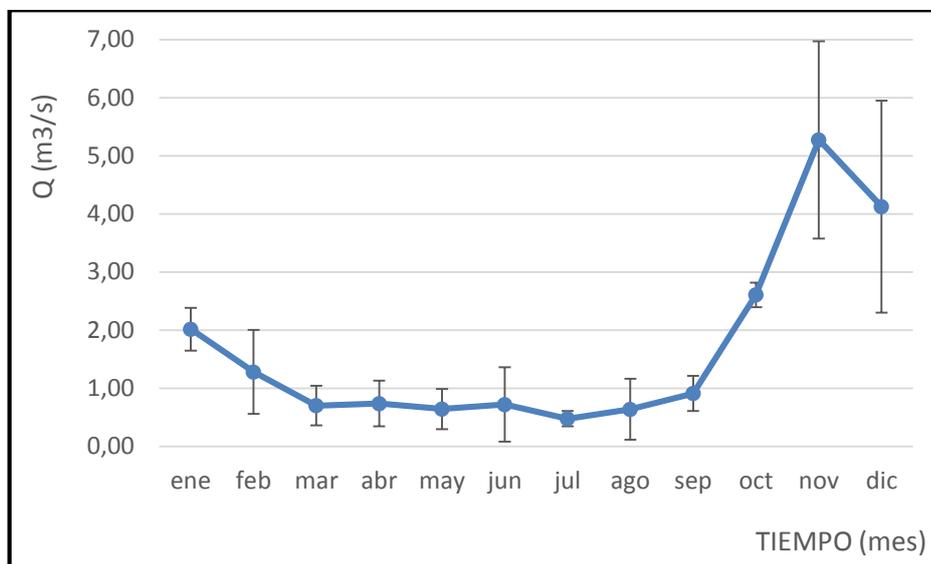
El Chalia carece de aportes glaciares por lo que su alimentación reside exclusivamente en la fusión de nieves estacionales y la precipitación, encontrándose los mayores caudales entorno a los meses de primavera tardía, habitualmente en noviembre y diciembre, momentos en los que también se encuentra la mayor variabilidad interanual en las aguas producidas (FIGURA 2). Presenta un caudal medio anual de $1,67 \text{ m}^3/\text{s}$, determinado en la sección Tres Lagos en el período 2010–2015, con importantes oscilaciones de los promedios estacionales en un rango de irregularidad de $0,18$ a $7,60 \text{ m}^3/\text{s}$. La serie disponible de registros es aún muy corta como para realizar análisis exhaustivos sobre ella, si bien resultan de utilidad para establecer una caracterización preliminar de la dinámica del curso.

Una caracterización publicada por la Secretaría de Minería de la Nación procedente del proyecto PASMA II (2001), menciona un caudal medio anual registrado en el período 1949–1970, obtenido por Agua y Energía de la Nación, en torno a $2,53 \text{ m}^3/\text{s}$ con crecidas máximas anuales promedio de 30 a $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Si bien el primer dato aunque mayor a los registros medios actuales no se encuentra fuera del rango esperado para la misma sección de aforo actual en la RN40, los valores máximos resultan un tanto sobredimensionados (superando incluso a los caudales máximos instantáneos conocidos del río Chico) que oscilan entre $10,5$ y $12,8 \text{ m}^3/\text{s}$ para la serie 2010–2015 (entre octubre y diciembre). Las características geomorfológicas actuales del valle, en particular cerca de la desembocadura del Chalia en el río Chico tampoco permiten corroborar que se hubieran registrado tales caudales citados. El máximo valor citado para el curso se registró en febrero de 1970 y alcanzó los $10 \text{ m}^3/\text{s}$ cerca de la confluencia con el río Chico (CEA, 1970).

El estiaje se produce entre los meses de otoño e invierno, entre marzo y hasta septiembre, en general en torno a una media de $0,69 \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor es corroborado por los escasos antecedentes disponibles, en torno a $0,30$ – $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ (CEA, 1970; Agua y Energía, 1978) si bien éstos son escasos y dispersos, sin información metodológica que permita juzgar su valor. Entre los meses de abril y junio (otoños) suelen presentarse en algunos años, caudales medios mensuales ligeramente mayores, de entre $1,08$ y $1,81 \text{ m}^3/\text{s}$ que tienden a apartarse de la marcada regularidad del régimen en esta época de estiaje, pero con una recurrencia baja, de 2 años aproximadamente. En estos meses también suelen ocurrir las primeras lluvias importantes del año, aunque un fenómeno que comienza a hacerse regular en toda la región W de la provincia es el retraso que experimenta este inicio de temporada.

Durante los meses del invierno y primavera temprana, las bajas temperaturas y escasas precipitaciones líquidas determinan bajos caudales, habiéndose observado un registro mínimo de tan solo 70 lt/s en 2015 (TABLA 4) en la desembocadura del Chalia en el río Chico. La serie 2010–2015 acusa mínimos instantáneos en torno a 160 y 200 lt/s medidos en la sección Tres Lagos. De todas formas, hacia comienzos de la primavera con la elevación progresiva de las temperaturas y la acumulación de algunas pocas tormentas se provocan oscilaciones importantes en los caudales diarios, si bien con valores absolutos bajos, similar a lo que se puede observar en todos los ríos de la subregión del río Chico.

FIGURA 2. Distribución anual de los caudales medios mensuales y una aproximación a su dispersión (desvío estándar) para el período 2010-2015.



Aún no se dispone de una serie de registro de caudales lo suficientemente larga como para concluir acerca de su dinámica reciente o esperada para los próximos años. Sin embargo, cuando menos en los últimos 4 años de la serie de 5 disponibles es posible observar una clara tendencia decreciente en la producción anual y estacional de aguas, especialmente en los esperables para los meses de crecidas, de octubre a diciembre (FIGURA 3).

Caudal de ríos – región del Roble y del Belgrano

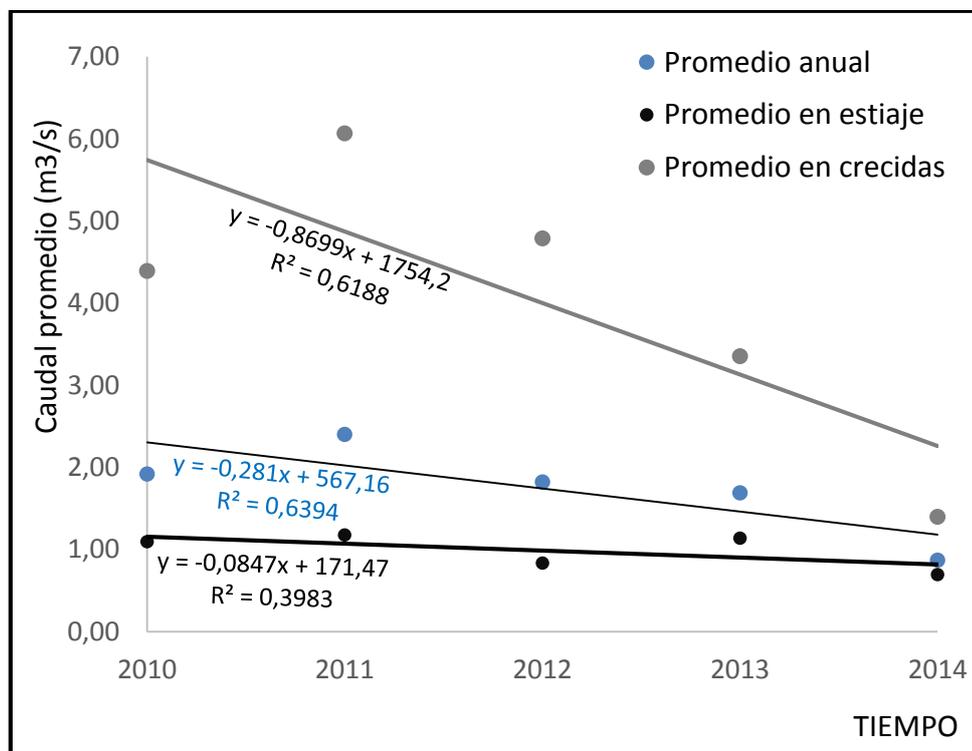
Los ríos Roble y Belgrano contribuyen con una parte sustancial de los caudales estacionales y anuales del sistema del río Chico. El Roble tiene sus nacientes en el lago Burmeister, en el NW de la subregión del río Chico, dentro de los límites del Parque Nacional Perito Moreno. El Belgrano tiene sus nacientes un poco más al norte, entre los cordones del Belgrano y Macizo del San Lorenzo en la divisoria de aguas con el sistema de los lagos Posadas y Pueyrredón. Ambos cursos se unen a la altura de laguna El Potrillo en el casco de la Estancia Los Manantiales y continúa con la denominación de río Belgrano a través de la amplia Pampa del Asador hasta su confluencia con el río Chico.

El río Roble es el que aporta anualmente el mayor caudal del sistema con registros de entre 3,6 y 12,7 m³/s para épocas de estiaje y deshielo respectivamente (TABLA 4). La principal fuente de alimentación del río es la lluvia y la fusión de nieves estacionales y permanentes en su cabecera lo que le asegura una cierta regularidad en los caudales anuales con los picos esperados hacia mediados y finales de primavera.

El río Belgrano solo tiene alimentación de nieves estacionales y lluvia, si bien por la ubicación en altura de su recarga, los picos de caudal esperado también suelen registrarse entre mediados y finales de primavera los valores registrados son marcadamente más bajos a los esperados para el Roble, entre 1,6 y 2,3 m³/s. En ambos casos, Robles y Belgrano, podrían esperarse valores de caudal instantáneos bastante más elevados en los momentos en que comienza el pico de la

fusión estacional si bien en estos ríos así como en otros de la región (río Lista por ejemplo), los picos de avenida suelen rondar estimativamente (si bien aún no existen registros documentados al respecto) 2 ó 3 veces los caudales máximos medios estacionales aunque por unas pocas semanas. Estas características basadas mayormente en la contribución de antiguos pobladores de la zona aún requieren de observaciones y registros para cuantificarse si bien la geomorfología fluvial de los ríos permite confirmar estos comportamientos.

FIGURA 3. Tendencias recientes en la producción anual y estacional de caudales en el río Chalia, sección Tres Lagos, para momentos de estiaje (enero a septiembre), de crecidas (octubre a diciembre) y promedio anual.



A mediados del otoño, con el incremento de las precipitaciones líquidas y antes del comienzo de nevadas, estos ríos vuelven a acusar picos de avenida importantes aunque no se mantienen en el tiempo sino que consisten en pulsos cortos de tiempo aunque importantes en términos de caudal. No se dispone aún de registros medidos para estas épocas.

Hacia el final del recorrido, el río Belgrano muestra comportamientos marcadamente distintos entre las estaciones en que se lo ha medido. Si bien aún es necesario más información para concluir más precisamente, los caudales registrados permiten hipotetizar cuando menos dos claros comportamientos. Durante la primavera tardía el río es claramente perdedor, con una caída a lo largo de su recorrido de unos $2 \text{ m}^3/\text{s}$, desde un promedio de $15,0 \text{ m}^3/\text{s}$ en la confluencia entre éste y el río Roble a $13,0 \text{ m}^3/\text{s}$ registrados en su punto más bajo. Se desconoce qué proporción de esta pérdida se asocia a las únicas dos captaciones para irrigación conocidas en el tramo. Este comportamiento podría esperarse para la mayor parte del año, revirtiéndose tan

solo hacia finales del invierno y comienzos de la primavera en donde el tramo podría estar recibiendo escurrimientos de superficie y subsuperficie asignándole un carácter ganador. En esta época se han observado caudales de uno 5,2 m³/s en su cabecera y entre 6,7 y 10,0 m³/s en su tramo final (TABLA 4). Las temperaturas ascendentes a comienzo de la primavera rápidamente determinan la fusión de las escasas nieves estacionales en tramos medios y bajos del valle determinando importantes anegamientos del valle que duran unas pocas semanas.

TABLA 4. Resultado de aforos en la región de interés en el período 2014 – 2015 (en m³/s).

SUBREGION	CURSO	SECCION	FECHA AFORO			
			2014-09	2014-12	2015-09	
Río Chico Alto (SR0904)	Lista	Confluencia río Chico	8,98	11,10	6,61	
		Confluencia río Chico	6,70	12,95	10,01	
	Belgrano	Menelik ^a	sd	2,34	sd	
		Puente RP37	sd	sd	1,59	
		Confluencia río Roble ^b	sd	15,02	5,22	
	Roble	Confluencia río Belgrano ^c	sd	12,68	3,63	
	Chico	Chico Alto ^d	Puente Ea Silvina ^e	19,73	29,24	30,15
			Confluencia Capitán	1,37	11,73	4,99
		Capitán	Confluencia río Belgrano	sd	sd	2,30
			Ea Río Capitán	13,03	16,29	20,14
Río Chalia (SR0902)	Chalia	Chalia Bajo	sd	sd	2,69	
Río Chico Bajo (SR0905)	Chico	Chico Medio	sd	sd	0,10	
			sd	sd	26,47	

^a Sección reemplazada en 2015 por Puente RP37; ^b En 2014 se aforó en una sección propia, trasladada en 2015 hacia aguas arriba del río Roble (el dato presentado para 2015-09 se trata de suma de caudales obtenidos en secciones previas de ambos ríos); ^c Sección instalada en 2015, datos previos proceden de diferencia de cálculo entre tributarios; ^d La determinación de 2015 procede de la sumatoria de los caudales en las secciones tributarias aguas arriba asumiendo pérdida y aporte nulo en el tramo; ^e No aforado directamente, consiste en la adición de sus afluentes.

Caudal de ríos – región del Lista y del Capitán

Diversos afluentes procedentes de porciones altas del Macizo de las Vacas, en el W de la subregión hidrográfica del río Chico como los ríos Papá, Pescado, Carbón y Las Conchas, contribuyen a la formación del río Lista. Este macizo determina la divisoria entre esta subregión de la del río Mayer, perteneciente a un sistema de drenaje hacia el Pacífico. El río Lista así como sus afluentes consisten en ríos propios de zonas montañosas, con pendientes en promedio altas, importantes planicies de inundación y lechosos rocosos de variada granulometría, en general gruesa. Su alimentación es fundamentalmente por fusión de nieves permanentes lo que le asigna una marcada regularidad a los caudales esperables. Éstos tienden a ser en promedio bajos y regulares en el verano, ligeramente más elevados y regulares entre otoño e invierno si

bien en función de cómo se presenten las precipitaciones anuales en la estación y con crecientes importantes aunque de pulsos cortos, quizás unas pocas semanas, entre la primavera media y tardía, entre octubre y noviembre principalmente, según como se presente el régimen de temperaturas en la estación.

Entre los meses de setiembre y diciembre se han podido registrar caudales de entre 6,6 y 11,1 m³/s en el río Lista los que podrían encontrarse en torno al promedio anual si bien se carece por completo de antecedentes históricos o más registros actuales para éste. No se dispone aún de referencias sobre los umbrales mínimo y máximo si bien en este último caso podría llegar a esperarse crecientes de entre 2-3 veces el promedio tomando en consideración comentarios de pobladores y evidencias geomorfológicas a lo largo de su trazado.

El río Capitán tiene su origen en el encadenamiento de lagos Quiroga, Grande y Chico (en las mesetas altas del Viento y del Strobel). Su fuente de alimentación principal es la fusión de nieves estacionales, que en la región pueden mantenerse desde mediados de otoño hasta entrada la primavera. El único registro de caudal disponible de este río, procedente de setiembre de 2015 alcanzó unos 2,69 m³/s (TABLA 4), similar al registrado en las nacientes del río Chico (2,30 m³/s) con el cual comparten la misma divisoria de aguas en el macizo del cerro Dos Cuernos.

Los límites en la meseta alta resultan un poco difíciles de establecer si bien resulta claro el aporte de los lagos Quiroga al sistema del río Capitán. Persiste aún canales de drenaje de todas las lagunas y lagos de esta planicie elevada hacia el lago Strobel como parte de un sistema hidrográfico endorreico, si bien se desconoce bajo qué tipo de circunstancias parte de los escurrimientos del Quiroga Grande podrían ir al Strobel, o aún si estos escurrimientos existen en la actualidad.

Previo a la confluencia con el río Lista, el río Chico transporta un caudal medio de entre 1,37 a 4,99 m³/s durante su estiaje en el mes de setiembre, el cual se ha registrado hasta 11,7 m³/s durante la primavera tardía (TABLA 4). Según pobladores de la zona y para la última década y media aproximadamente, el registro de diciembre representa al caudal promedio de la primavera media y tardía, momento pico de los aportes estacionales por fusión de nieve estacional en altura. Fuera de esta época, los caudales dentro del rango mencionado se mantendrían relativamente constantes la mayor parte del año, fundamentalmente por el tipo de alimentación que presentan ambos afluentes y la regulación que permiten los lagos de origen.

Los meses de abril y mayo representan para todos los ríos en esta región momentos en los cuales suelen presentarse hidrogramas instantáneos importantes originados en eventos de tormentas al iniciarse la estación de lluvias, pero este comportamiento se asocia a pulsos, acusando los caudales rápidamente una bajante hacia el promedio de la estación, que en general es bajo.

Tanto en setiembre de 2014 como de 2015, el río Lista fue el que más agua entregó al caudal río Chico (medido en la sección Confluencia Belgrano), entre un 69 y 33%, respectivamente. Sin embargo en 2014 la proporción del caudal medido en esta sección que no procedió de sus afluentes directos representó un 21% (2,68 m³/s), mientras que en 2015 éste ascendió a un 42% (8,52 m³/s). En setiembre de 2015 la estación se presentó seca pero con temperaturas moderadas en relación a la media del mes y el tiempo entre los aforos realizados en secciones consecutivas no fue mayor a unas pocas horas, pudiendo tratarse este margen de aguas aportadas por escurrimiento superficial y subsuperficial en el tramo entre secciones procedente de la fusión de hielo estacional y el aporte de suelos saturados en los valles al flujo de base de los ríos. En setiembre de 2015 se presentó una semana previa a los aforos con temperaturas excepcionalmente altas, de entre 18 y 19 °C y los aforos entre secciones se separaron un día y medio, pudiendo ocasionar una diferencia entre caudales que no permite un análisis directo de

su balance, cuando menos para explicar un caudal tan elevado que no procede ni del río Lista ni del río Capitán.

Durante diciembre de 2014, los ríos Lista y Chico Alto (en la confluencia con el Lista) sumaron un caudal conjunto de 22,83 m³/s si bien solo se aforaron 16,29 m³/s en el río Chico aguas abajo en la confluencia con el Belgrano, significando una pérdida promedio de 6,54 m³/s en el tramo (29%). En este tramo, el establecimiento agropecuario Barranca Blanca practica desbordes del río para inundar vegas húmedas aunque no resulta posible con la información al alcance conocer cuál es el margen de agua realmente utilizada y cuanto la pérdida por infiltración del río en el tramo.

Caudal de ríos – tramo medio del Chico

Se conocen escasas referencias relacionadas con la hidrografía de la región y más aún procedentes de estudios bien documentados y con metodologías claras en su determinación. La Subsecretaría de Minería de la Nación (2015), a partir de datos del proyecto PASMA II (2001), menciona rangos de referencia para el río Chico de entre 16,7 m³/s a 31,3 m³/s para los meses de mayo y noviembre de 1948 respectivamente, con un módulo anual esperado en torno a 25,0 m³/s, todos datos determinados aguas abajo de la confluencia con el río Chalia. Esta referencia carece de una descripción metodológica que lo demuestren o cuando menos argumenten los procedimientos empleados. Morales (1984) menciona un módulo anual de 30,0 m³/s, similar al esperado para el río Gallegos, en la región Sur de la provincia, para similar ubicación de sección. En enero de 1960, mediciones puntuales realizadas sobre el río Chico en la localidad de Gobernador Gregores, por técnicos de Agua y Energía de la Nación arrojaron valores entre los 18,0 y 20,0 m³/s (CEA, 1970). Estos registros también carecen de documentación sobre la metodología utilizada para su medición y las fechas específicas de registro, no obstante lo cual resultan consistentes con las observaciones realizadas a partir de 2014 como parte de trabajos conducidos por INTA EEA Santa Cruz. Entre los años 1958 y 1960 existió una escala hidrométrica sobre el río Chico en la localidad de Gobernador Gregores (Cañadón León por entonces, -CFI, 1961-), si bien al momento no se conocen registros documentados de tales datos ni curvas HQ ajustadas.

Setiembre representa un mes de baja producción de caudales en el río Chico, sin embargo 2014 resultó un particularmente más seco respecto a la media de los últimos años y su caudal en la sección Puente Ea Silvina se calculó entorno a los 19,7 m³/s (TABLA 4). Este dato es orientativo pues aún no se cuenta con aforos en la sección y realmente se desconoce la pérdida posible naturalmente en el tramo de río durante el estiaje, así como la proporción de agua que extraen los diferentes establecimientos de la zona durante las estaciones secas. El caudal en setiembre de 2015 se estimó en 30,15 m³/s incluso superior al estimado para diciembre del año anterior en torno a 29,24 m³/s. Tanto las precipitaciones sólidas como líquidas se encuentran en descenso disminución progresiva desde comienzos de la década de 1980 aproximadamente, con excepciones aisladas en algunos pocos años como 1985 y 2005 y a la fecha. Setiembre de 2015 resultó en una primavera anticipada con temperaturas medias elevadas, lo que podría explicar los caudales anormalmente altos en relación a diciembre).

En setiembre de 2015 se pudo aforar por primera vez después de poco más de 40 años el río Chico aguas debajo de la confluencia con el río Chalia, registrándose un caudal de 26,47 m³/s, unos 2,77 m³/s menos que el calculado en la confluencia entre sus tributarios más importantes. Se desconoce si en la época existe un desvío importante de caudales por parte de los

establecimientos ubicados en el tramo pero se pudo identificar cuando menos uno que practica la inundación extensiva de vegas durante año redondo aprovechando parte de este margen. Se desconoce cuál podría ser la pérdida por infiltración u otras prácticas de irrigación dado que en el tramo también se encuentra el sistema que abastece los sectores de chacra en la localidad de Gobernador Gregores.

CONCLUSIONES

La región no dispone de un historial conocido y bien documentado de series de caudales o aún aforo de sus ríos más importantes, si bien se sabe de la existencia de diversas iniciativas durante el siglo XX que han generado o debido generar posiblemente información útil, especialmente sobre el río Chico. La situación no deja de representar una paradoja ya que con la excepción del río Santa Cruz, ésta consiste en una de las regiones de la provincia con una gran potencialidad agropecuaria reconocida desde hace más de medio siglo y sin embargo sobre cuyos recursos naturales se conoce relativamente poco, principalmente el recurso hídrico.

Durante la década de 1990 y hasta la primera mitad de la de 2000, la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), a través del Laboratorio de Hidráulica, condujo varias campañas de aforo en cauces de la región incluso instalando estructuras permanentes aunque sin continuidad posterior ni documentación o registros disponibles públicamente. Tampoco se dispone de datos sobre proyectos posteriores que habiendo sido financiados por el Estado, carecen de documentación fácilmente accesible como FUNDALYF (2003), Acuña y Asociados (2008; 2009), o los trabajos propios de la autoridad provincial del agua durante la década del 2000.

La compilación y caracterización realizada en el presente trabajo en relación con la hidrología de superficie en la región de los ríos Chalia y Chico puede considerarse un interesante punto de partida en términos del conocimiento del recurso en la región. Sin embargo resulta aún insuficiente para lograr una apropiada comprensión de su dinámica a escala de cuenca, incluso de su curso más importante, el río Chico.

También resulta aún insuficiente información para hipotetizar escenarios futuros probables, de mediano y largo plazo, sobre la dinámica de producción de aguas en un contexto de cambio climático reconocido y con evidencias en la región. En este marco, aún con escasa información disponible, tendencias como las evidentes en el río Chalia generan importantes incertidumbres acerca del futuro inmediato de algunas fuentes de agua de superficie en la región que requieren de una pronta intervención para su seguimiento y evaluación. La relevancia de la información generada hasta el momento adquiere un mayor significado si se toma en consideración que los pocos registros antecedentes documentados sobre el tema resultan viejos, escasos e incluso generados con metodologías poco documentadas y dudosas.

El diagnóstico del recurso hídrico y su permanente monitoreo son esenciales para la planificación y su gestión integrada, roles indelegables de la autoridad provincial en materia de su administración. El asesoramiento técnico tanto al sector público como privado sobre las mejores alternativas de aprovechamiento posible para la producción agropecuaria, como lo representa uno de los objetivos y roles más importantes de INTA en la región, apoyado en conceptos de sostenibilidad y sustentabilidad, no puede obviar este conocimiento por desarrollado o no que estuviese dado que toda recomendación posible de uso del agua puede

impactar considerablemente, positiva o negativamente, tanto en ésta como en el suelo y en las propias actividades socioeconómicas que del agua dependen. De allí que resulte una necesidad prioritaria la inversión de recursos en la generación de conocimiento de base sobre el agua, tanto para la contribución en una mejor gestión pública como en el asesoramiento para garantizar un mejor aprovechamiento privado en regiones de reconocida potencialidad agropecuaria.

RECOMENDACIONES

De las experiencias generadas y del conocimiento desarrollado al momento, se considera importante la formulación de las siguientes recomendaciones para orientar trabajos futuros en la región, sean éstos a través de líneas de trabajo propios de INTA como de otros organismos e instituciones con competencia e intereses en materia de recursos hídricos:

- (a) Contribuir institucionalmente en la formulación y gestión de financiamiento para un proyecto integral interinstitucional de monitoreo de la producción de aguas de superficie y su calidad física, química y biológica en la región, a escala de cuenca, orientado a profundizar su caracterización y dinámica como herramienta esencial para permitir una buena planificación del aprovechamiento, regulación y control del uso, así como análisis sobre el impacto en la dinámica del recurso de los diferentes escenarios probables de cambio climático global, en un marco de sustentabilidad y sostenibilidad para el sector agropecuario en la región y asegurando equidad en el acceso al recurso entre los superficiarios.
- (b) Contribuir con la autoridad provincial de aplicación en materia de administración de los recursos hídricos a través de la generación de información y análisis de la situación del recurso en la región y particularmente de su dinámica asociada al aprovechamiento agropecuario, de forma de asistir en mejores procesos de toma de decisión para la gestión integrada.
- (c) Incorporar análisis de calidad físico-química de las aguas de superficie en futuras campañas con el fin de caracterizar su dinámica estacional, para todo curso y canal aforado, de forma de aproximar una primer idea sobre la dinámica natural y antrópica actuales asociadas al uso del agua de superficie para la producción agropecuaria en la región. Sobre la base de los primeros antecedentes que pudieran generarse sobre el tema en futuras campañas debería analizarse la factibilidad técnica y económica para el ajuste posterior de índices de calidad de agua (ICA) orientados al monitoreo de aguas para la irrigación y consumo animal.
- (d) Evaluar la posibilidad de densificar la red de secciones de aforo mediante la incorporación de nuevos sitios en tramos intermedios del curso principal del río Chico, a lo largo de la subregión hidrográfica Río Chico Alto y Río Chico Bajo, de forma de aproximar balances hidrológicos parciales en momentos en los cuales se realizan aprovechamientos extensivos de agua del curso, durante la estación seca y el estiaje. Algunas alternativas preliminares podrían ser (a) puente de la Ruta Nacional N3 sobre el río Chico, previo a la confluencia con el río Santa Cruz (-49°46'38,15"LS; -68°38'28,39"LO); (b) puente de la ex Ruta Nacional N40 sobre el río Chico, en el establecimiento La Verde (-48°24'25,48"LS; -70°32'24,74"LO), a unos 300m aguas abajo del puente actual; (c) tramo medio del río

Chalia. También debería evaluarse la posibilidad de reacomodar algunas secciones instaladas atendiendo a estos objetivos, como el eventual traslado de la actual sección río Lista ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Chico superior, hacia un punto con mejor concentración de aguas evitando meandros activos, tal vez unos 700 m aguas debajo de la confluencia misma ($-48^{\circ}17'21,24''\text{LS}$; $-71^{\circ}33'05,50''\text{LO}$), sobre el curso principal del río Chico.

- (e) Realizar un relevamiento y caracterización preliminar de los sistemas de captación y canalización para la irrigación existentes en la zona de interés, intentando aproximar una cuantificación del agua consumida en la estación de crecimiento entre éstos.
- (f) Iniciar un ejercicio de compilación exhaustiva y documentación sobre registros de pluviometría y temperatura conseguibles en establecimientos ganaderos de la región de interés, registros del SMN y de otras fuentes regionales para conformar un banco de datos de utilidad para el estudio del clima regional y la modelización en la producción de aguas y evapotranspiración. De igual forma, analizar los modelos globales disponibles para caracterizar la distribución pasada de estos fenómenos y ensayar escenarios posibles de cambio para los próximos años, intentando aproximar balances hidrológicos a escala regional.
- (g) Iniciar un ejercicio de compilación exhaustiva y documentación de información sobre aguas subterráneas en la región de interés, a partir de censo de pozos, identificación de acuíferos, de áreas de recarga e interacciones agua superficie–subterránea.
- (h) Diseñar y elaborar un SIG 1:100.000 de la región de interés a fin de complementar futuras descripciones del medio y establecer una base geográfica de utilidad para profundizar la descripción, comprensión y modelización de su hidrometeorología, como así también para contribuir con la autoridad provincial de aplicación en materia de gestión de los recursos hídricos de superficie.

AGRADECIMIENTOS

Para llevar adelante estas actividades en el campo, ha resultado de fundamental importancia contar con el apoyo y autorizaciones de los propietarios y administradores de los establecimientos ganaderos de la zona de estudio, con quienes se consensuaron actividades en conjunto con INTA en caso que se detectaran demandas relacionadas con el agua. Deseamos expresar nuestro agradecimiento a Patricia McLean y Rogelio Vásquez (Estancia El Portezuelo), Hugo Marín y Ángel Rodríguez (Estancia La Ensenada), Teófilo Olivero, Bartolo Olivero y Cristian Villalba (Estancias La Cautiva y El Porvenir), Jorge Villalba y Miguel Crozzoli (Estancia La Verde), Sebastián Navas (Estancia Río Ñires), Luis María Imas (Estancia Río Capitán), Carlos Rivera (Estancia Los Manantiales), Fabricio Del Castillo, Patricia Mosti y Paula Novacovsky (Parque Nacional Perito Moreno), Juan Carlos Gabriel (Delegación Gobernador Gregores del Consejo Agrario Provincial) por el apoyo brindado durante la actividad.

Los trabajos involucrados han contado con el financiamiento del Proyecto Regional con Enfoque Territorial (PRET) Zona Norte de INTA EEA Santa Cruz bajo la coordinación de Liliana SanMartino, así como del Proyecto Específico (PE) 11.33.0.2.2 *Caracterización multidisciplinaria e información básica de cuencas*, y Proyectos Integradores componentes

(PI), en el marco del Programa Nacional AGUA de INTA, bajo la coordinación de Marino Puricelli.

También deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de la República Argentina (CONAE) por el acceso a material SPOT, en el marco de acuerdos de cooperación conjuntos con el Gobierno de la Provincia de Santa Cruz a través de la Subsecretaría de Planeamiento. También así al Sistema de Información Territorial de la provincia (SIT SantaCruz) y su personal, dependiente de la Subsecretaría de Planeamiento de la provincia, por el acceso a escenas y mosaicos Landsat procesados, y modelos de elevación ASTER y SRTM3 procesados, para el presente trabajo.

Deseamos agradecer a los diversos organismos públicos provinciales que han provisto el equipamiento necesario para la realización de los trabajos hidrométricos: Subsecretaría de Medio Ambiente (SMA), Dirección Provincial de Recursos Hídricos (DPRH) dependiente del Consejo Agrario Provincial y la Secretaría de Estado de Minería (SEM), en particular a Christian Hofmann (SMA), Pedro Tiberi (SEM), Débora Zerpa y Marta Mayorga (DPRH).

Durante la elaboración del presente informe han resultado de gran valor los aportes técnicos y discusiones realizados por Rodolfo Iturraspe (Universidad Nacional de Tierra del Fuego), Georgina Ciari (INTA EEA Esquel) y Mabel Amarilla (INTA EEA Santiago del Estero), a quienes también deseamos hacer extensivo nuestro agradecimiento.

FUENTES CONSULTADAS

- ACUÑA Y ASOCIADOS. 2008. Regularización del caudal del brazo norte del río Chico, Gobernador Gregores, provincia de Santa Cruz – Estudio de factibilidad. <http://www.ayaingenieria.com.ar/html/ingenieria-hidraulica>
- ACUÑA Y ASOCIADOS. 2009. Abastecimiento de agua para uso agropecuario en las márgenes del río Chico – Tamel Aike – Gobernador Gregores, Santa Cruz. <http://www.ayaingenieria.com.ar/trabajos.swf>
- AGUA & ENERGIA. 1978. Estudio del Río Santa Cruz en relación con su aprovechamiento hidroeléctrico integral. Agua y Energía Eléctrica.
- ALVAREZ M., GONZALEZ M.E., ZARATE N.C., SCHWEITZER A.F., DIAZ BORIS G. y MARTINEZ G.E. 2006. Articulación de unidades espaciales para el desarrollo y ordenamiento territorial en la Patagonia Austral. MAPPING, Revista Internacional de Ciencias de la Tierra, 113 (octubre): 58-63. ISSN:1131-9100.
- BERELSON W.L., CAFFREY P.A. and HAMERLINCK J.D. 2004. Mapping hydrologic units for the National Watershed Boundary Dataset. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), October: p1231-1246.
- BROOKS K.N., FFOLLIOTT P.F., GREGERSEN H.M. y THAMES J.L. 1991. Hydrology and the management of watersheds. Iowa State University Press, Iowa (USA). 392p.
- CEA. 1970. Estudio de colonización de la zona del río Chico – Santa Cruz. Consejo Federal de Inversiones, Primer Informe. Consultores Económicos Asociados S.A. 80p.
- CFI. 1961. Recursos Hídricos Superficiales. Consejo Federal de Inversiones, Serie Evaluación de los recursos naturales de la Argentina, Tomo IV, Volumen I. Buenos Aires, 459p.
- CFI. 1988. Plan de ordenamiento físico ambiental de la zona de los tres grandes lagos, provincia de Santa Cruz. 6 Tomos.

- COHIFE. 2013. Principios rectores de política hídrica de la República Argentina. Fundamentos del Acuerdo Federal del Agua. 24p. En: <http://www.cohife.org.ar/PrincipiosRPH.html>
- DIAZ B.G. y GIMENEZ M. 2015. Zonificación y codificación hidrográfica en Santa Cruz (Patagonia Austral, Argentina). Actas de CONAGUA2015, Congreso Nacional del Agua, 15 al 19 de Junio. Paraná, Entre Ríos. 12p.
- DIAZ B.G. y MINATTI S. 2006. Aplicación de información topográfica SRTM3 en la delimitación de grandes cuencas hidrográficas de la provincia de Santa Cruz. VI° Jornadas Nacionales de Geografía Física. Río Gallegos, Santa Cruz, 19–21 Abril.
- DOUROJEANNI A., JOURAVLEV A. y CHAVEZ G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Pub. Técn. CEPAL–ECLAC Serie Recursos Naturales e Infraestructura No.47, Sgo. Chile. 83p.
- FAO. 1996. Planificación y manejo integrado de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. Pub. FAO, Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N°7. Santiago, Chile. 321p.
- FITZGERALD L.W., SCHARENBERG H.F., CARRANZA R., MENZ J. y TALAT E. 1972. Planificación y formulación de proyectos. Informe sobre el Seminario Latinoamericano de Ordenación de Cuencas Hidrográficas, FAO-AT3112. La Plata, Buenos Aires 22 Noviembre al 16 Diciembre, 1971: 22-24.
- FUNDALYF. 2003. Propuesta de Desarrollo Agrario Zona Gobernador Gregores - Canal “Tamel Aike - La Lucha”. Fundación Luz y Fuerza, Julio de 2003. <http://www.fundalyf.com.ar/entrada/subcategoria/ciencia-y-tecnologia/97-ingeniera-para-el-desarrollo-econmico-y-social.html>
- GLOBAL WATER. 2004. FP101 – FP201 Global Flow Probe User’s Manual. 15p.
- HCA CONSULTORA. 2010. Estudio técnico económico de pre factibilidad para el desarrollo de áreas irrigables del río Chalia.
- IGN. 2011. Sistema de Información Geográfica 1:250.000 de la República Argentina. Instituto Geográfico Nacional. <http://ftp.glcf.umd.edu/library/guide/fileformat.shtml>
- MANSILLA J. y RIVERA E. 2008. Informe de visita a la Estancia La Margarita. Informe Técnico de la EEA Santa Cruz. 6p.
- METI–NASA. 2015. NASA’s Earth Observing System data and information System (EOSDIS), Rever/ECHO. <http://reverb.echo.nasa.gov>
- MORALES R. 1984. Aprovechamiento integral del recurso hídrico superficial. Doc. Técn. INTA EEA Santa Cruz. 16p.
- RAUQUE COYOPAE M. y DIAZ BORIS G. 2011. Banco de imágenes de resolución media (Landsat & Aster). Publicación Técnica SIT SantaCruz SIT-0211-SIG/v1.3. 36p.
- RUIZ R., TORRES H. 2008. Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas. Publicación UICN – SUR. 61p.
- PASMA II. 1991. Aguas superficiales de la provincia de Santa Cruz. <http://www.mineria.gob.ar/estudios/irn/santacruz/ind-asup.asp>
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION HIDRICA. 2015. Base de datos hidrológica integrada (BDHI), Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. http://www.hidricosargentina.gov.ar/acceso_bd.php
- SOLANEZ M. y VILLARREAL F.G. 1999. The Dublin principles for water as reflected in a comparative assessment of institutional and legal arrangements for integrated water resources management. In: Background Papers No.3, Global Water Partnership, TAC. Sweden. 48p.

- SSRH-INA. 2002. Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina. CD-ROM. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación – Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires. Escala 1:500.000.
- SUBDERE–CEPAL. 2013. Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial. Pub. Técn. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (Chile) y División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (CEPAL). 142p.
- UICN. 2008. Delimitación y codificación de unidades hidrográficas en Sudamérica – nivel 3. Pub. Técn. Oficina Regional de la Comunidad Andina – Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Informe Final. 61p.
- USDI. 2001. Water measurement manual. A water resources technical publication. US Dept. of Interior & US Dept. of Agriculture, USA. 317p.
- USGS. 2011. Federal standards and procedures for the national Watershed Boundary dataset (WBD). Ch.3, Sect. A Federal Standards, Book No.11, Collection and Delineation of Spatial Data. Techniques and Methods 11-A3, USA. 75p.

ANEXO METODOLOGICO

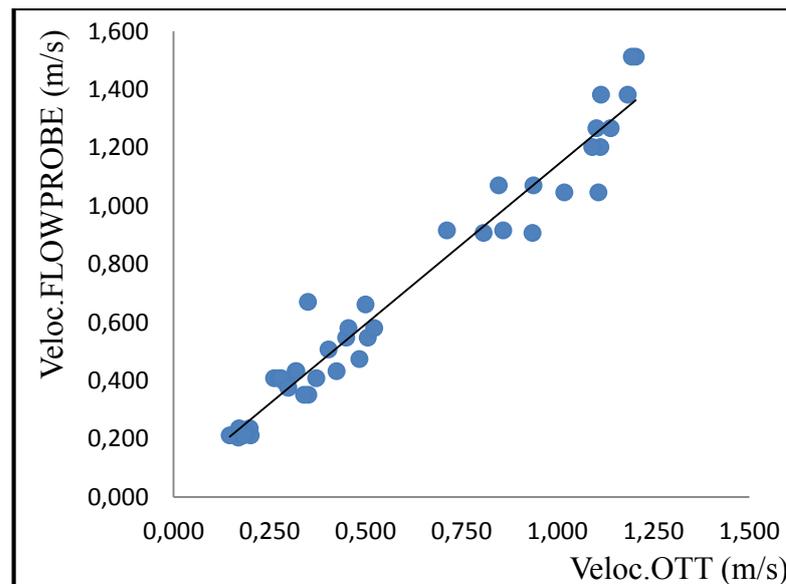
Calibración de instrumentos

Se ajustó una función de calibración entre los instrumentos utilizados durante los aforos a fin de hacer comparativos los registros de velocidades tomados con cada uno de éstos, tomando como base al OTT C31.

$$Vel_{OTT} = (1,0926 * Vel_{FP}) + 0,0476$$

Donde: Vel_{OTT} es la velocidad expresada en m/s equivalente en el molinete OTT C31 y Vel_{FP} es la correspondiente en pie/s medida con Flow Probe. Estadísticos de ajuste de la función $R^2=0,9586$; $n=45$; error medio= $-0,037 \text{ m}^3/\text{s}$ (el umbral de ambos instrumentos se encuentra en $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$).

FIGURA A. Función de calibración entre instrumentos de aforo.



Ajuste de curva HQ en el río Chalia

El ajuste logrado en la función HQ, a partir de aforos realizados por la empresa EVARSA en la sección Tres Lagos es bueno, si bien el análisis exploratorio de los datos disponibles evidencia importantes sesgos en el rango inferior de lecturas de caudal, por debajo de 1,0 m incluso superando el 80% (FIGURA C). El coeficiente de correlación entre los errores (resultados observados – calculados) y los caudales resultó bajo, del orden de $+0,1678$, con un coeficiente de determinación (R^2) de $0,2473$ en la mejor función lograda, de tipo exponencial, lo que no permite sugerir una relación particular entre error y caudal registrado.

La función debería utilizarse con cautela durante la interpretación y análisis de caudales bajos, en los registros históricos de tirante de esta sección, hasta tanto no se disponga de una base de datos con mayor cantidad de aforos.

FIGURA B. Distribución de los sesgos porcentuales en la predicción de caudales, para la curva HQ ajustada, para el rango de caudales conocido.

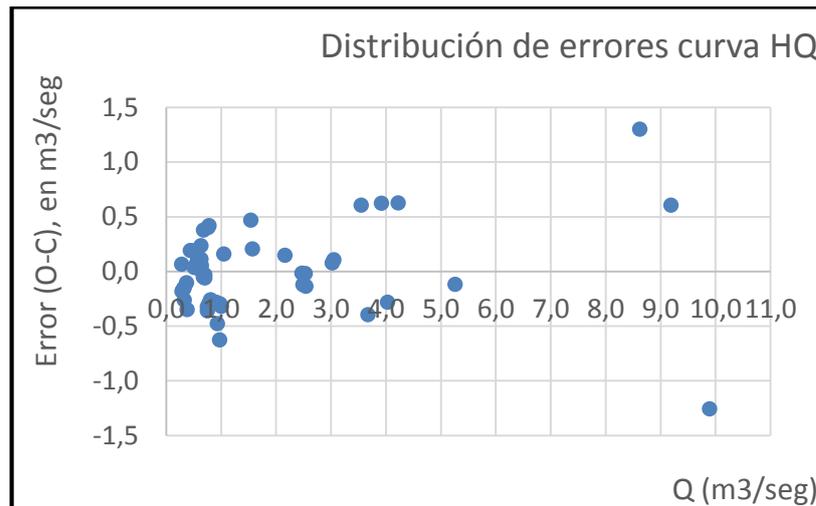
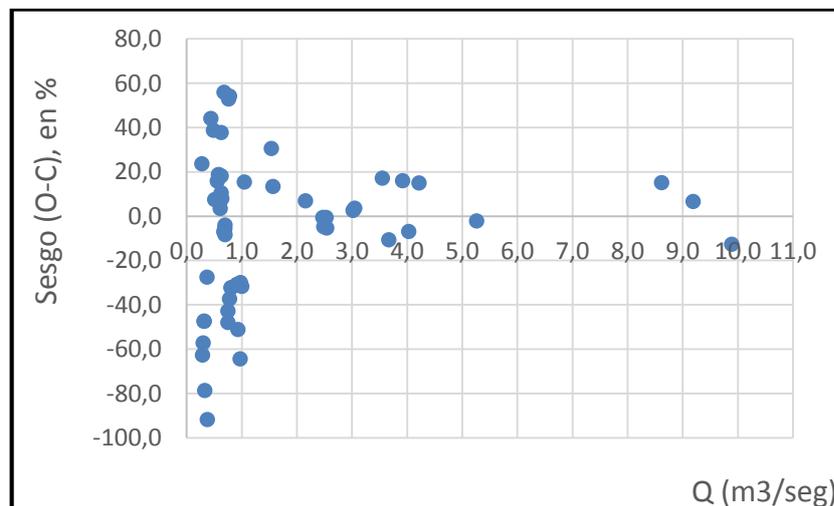


FIGURA C. Distribución de los sesgos porcentuales en la predicción de caudales, para la curva HQ ajustada, para el rango de caudales conocido.



ANEXO FOTOGRÁFICO

FOTO 1. Sección en el río Lista (inferior), previo a la confluencia en el río Chico.



FOTO 2. Sección en el río Chico, previo a la confluencia con el río Lista.



FOTO 3. Río Chico, en la sección previa a la confluencia con el río Belgrano.



FOTO 4. Río Belgrano en su tramo inferior, previo a la confluencia con el río Chico.



FOTO 5. Río Belgrano superior, en la sección Menelik, aguas arriba de la confluencia con el río Roble.



FOTO 6. Aforo en río Belgrano en su tramo intermedio, aguas inmediatamente debajo de la confluencia de los ríos Roble (aguas claras) y Belgrano superior (aguas oscuras).

