

(Des)Conexión hidrológica de los sistemas fluviales Senguerr y Chubut por factores naturales y culturales en el siglo XX

Hydrologic (dis)connectivity of the fluvial systems Senguerr and Chubut due to natural and cultural factors in the 20th century

Gabriel Kaless⁽¹⁾, Alan Marguet⁽²⁾ y Rodrigo Bastida⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería. Trelew, Argentina.
e-mail: gkaless@ing.unp.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7370-1321>

⁽²⁾ Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería. Trelew, Argentina.
e-mail: alanmarguet@yahoo.com.ar. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7749-6104>

⁽³⁾ Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería. Trelew, Argentina.
e-mail: rba@img.unp.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8127-2843>

RESUMEN

Los sistemas fluviales Senguerr y Chubut constituyen el recurso hídrico más importante en la región extraandina de la provincia de Chubut. Ambos sistemas estuvieron conectados al inicio del Holoceno. Sin embargo, las condiciones climáticas de mayor aridez prevalentes en la zona a partir del Holoceno Medio propiciaron su desconexión. Se estudió la (des)conexión de los sistemas mediante un abordaje integral con modelación hidráulica, balance hidrológico y análisis de la morfología fluvial. Se caracterizó la conexión pretérita en términos de paleocaudales del río Chico (módulo de 15.6 m³/s, caudal máximo medio mensual de 36.3 m³/s y un caudal dominante de 70 m³/s). Debido a la alta tasa de evaporación, elevada extensión areal de los lagos Colhué Huapi y Musters, y obturación del nacimiento del río Chico, la frecuencia actual de conectividad es muy baja y depende de la ocurrencia de varios años húmedos consecutivos. Por otro lado, se caracterizó la conexión de los sistemas Chico-Chubut, registrándose crecidas de 80 m³/s y aporte medio anual de 20.1 Hm³ al sistema Chubut. Los resultados del presente estudio sugieren que la desconexión observada actualmente en los sistemas fluviales Senguerr-Chubut inició antes de los cambios culturales en el uso del recurso hídrico del siglo XX.

Palabras clave: Conectividad Hidrológica, Paleohidrología, Modelación Hidráulica, río Senguerr, río Chico.

ABSTRACT

The Senguerr and Chubut River systems constitute the most important water resource in the extra-Andean region of the Chubut Province. Both systems were connected at the beginning of the Holocene. However, the more arid climatic conditions prevailing in the area from the Middle Holocene onwards led to their disconnection. The (dis)connection of the systems was studied through an integrated approach using, hydraulic modelling, hydrological balance and fluvial geomorphology analysis. The former connection was characterized in terms of the paleo-discharges of the Chico River (module of 15.6 m³/s, mean maximum monthly flow of 36.3 m³/s and a dominant flow of 70 m³/s) and its frequency. Due to the high evaporation rate, high areal extension of the Colhué Huapi and Musters Lakes, and the obstruction of the beginning of the Chico River, the current frequency of connectivity is very low and depends on the occurrence of several consecutive wet years. On the other hand, the connectivity of the systems Chico-Chubut was characterized, estimating floods of 80 m³/s and an average annual contribution of 20.1 Hm³ to the Chubut system. The results of the present study suggest that the current disconnection in the Senguerr-Chubut River systems began before the cultural changes in the use of the water resources during the 20th century.

Keywords: Hydrological Connectivity, Paleohydrology, Hydraulic Modeling, Senguerr River, Chico River.

INTRODUCCIÓN

Las cuencas de los ríos Chubut y Senguerr constituyen un recurso hídrico de relevancia tanto para la provisión de agua a gran parte de la población actual de la provincia de Chubut, como así también para la actividad económica de la región. Ambos ríos tienen sus nacientes en la precordillera y atraviesan un paisaje de mesetas con clima semiárido (Coronato et al., 2008). En un contexto de baja precipitación anual (inferior a 170 mm) su relevancia es notoria (Figura 1a).

La cuenca del río Senguerr es de carácter endorreico en la actualidad, resolviéndose el balance hídrico

con la evaporación en los lagos Musters y Colhué Huapi. Sin embargo, se estima que hasta mediados del Holoceno drenaba a través del río Chico que la conectaba con el río Chubut (González Díaz y Di Tommaso, 2014). De este modo se producía un drenaje hacia el Atlántico de una amplia cuenca de 114366 km² (Valladares, 2004a y 2004b). A partir de mediados del Holoceno se produjo un cambio en el clima de la región hacia condiciones de mayor aridez que determinó el descenso de los niveles en los lagos (González Díaz y Di Tommaso, 2014). Estudios palinológicos revelan fluctuaciones en el nivel del Lago Colhué Huapi desde el año 239 DC, y una recuperación en los últimos dos siglos (Fabiani et al., 2014).

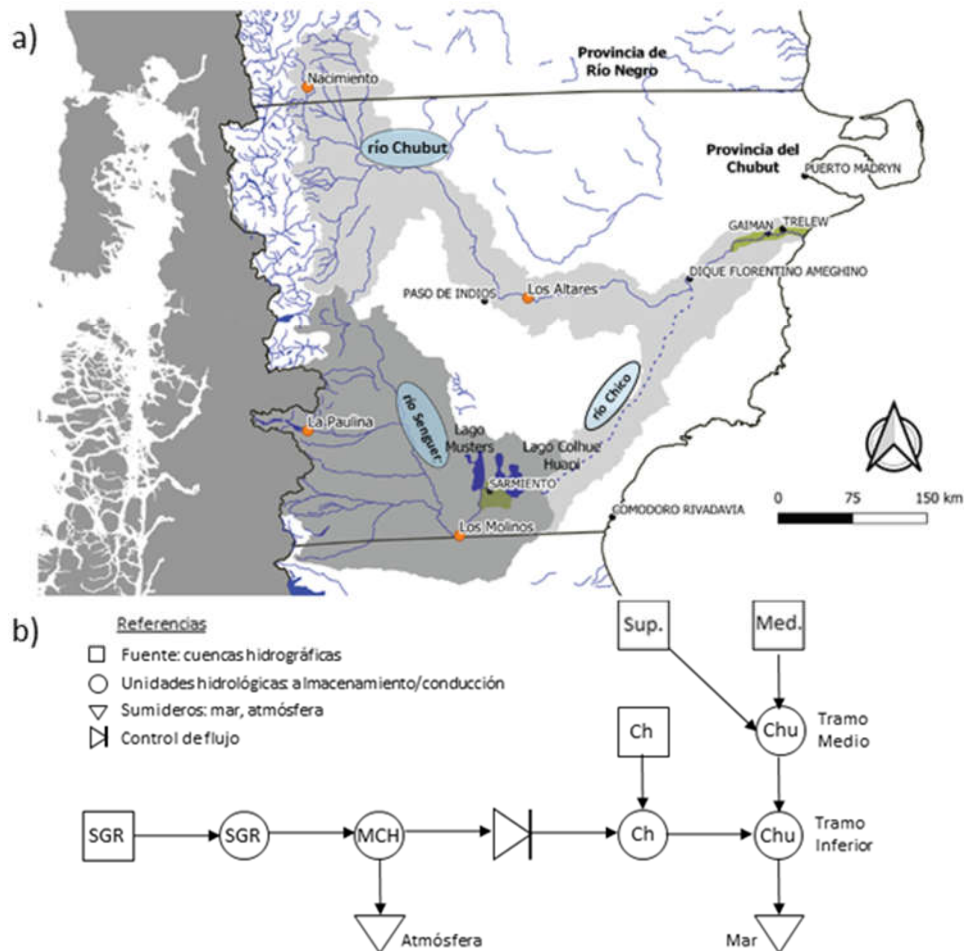


Figura 1. a) Ubicación de las cuencas de los ríos Senguerr, Chubut y Chico en la Patagonia central (Provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz), Modificado de Pessacg et al. (2021); b) Modelo topológico simplificado del sistema hidrológico Senguerr-Chubut. Se indican las cuencas de aporte del río Senguerr (SGR), Chico (Ch) y del río Chubut (Chu) su cuenca superior (Sup.) y cuenca media (Med.), el sistema lacustre (MCH), sumideros (atmósfera y mar) tramos de conducción y reservorios. Se ha explicitado el control de flujo hacia el río Chico.

En el año 1897 el Gobierno Nacional creó la Colonia Pastoral Sarmiento (Dumrauf, 1996) que iniciaría un cambio cultural en el uso del recurso hídrico debido al comienzo de la actividad agrícola en el valle de Sarmiento. Desde mediados del siglo XX se acrecentó la presión sobre el recurso hídrico en la cuenca del río Senguerr, mediante extracciones para el abastecimiento de agua a varias localidades (Sarmiento, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly y Caleta Olivia) y uso en la actividad petrolera (Scordo, 2018). Además, la construcción de infraestructura vial e hídrica (con un umbral para regular la descarga del Lago Musters) ha modificado el flujo dentro del sistema lacustre en perjuicio del Lago Colhué Huapi. En años recientes se han producido episodios de desecamiento del lago (Coronato, 2003; Llanos et al., 2016) y erosión eólica del material fino del lecho del lago (Montes et al., 2017; Paredes et al., 2024). De acuerdo a Scordo et al., (2020) el río Chico continuó conectando los sistemas Senguerr-Chubut desde mediados del Holoceno, pero con magnitud de caudales oscilante en función de la variabilidad climática, y decrecientes debido a las persistentes condiciones de aridez. Según estos investigadores, el curso devino intermitente a mediados del siglo pasado debido a la presión antrópica. Sin embargo, el carácter pulsátil de la conexión de los sistemas fluviales ha sido documentada por los testimonios de fines del siglo XIX (Fontana, 2006; Coronato, 2003) y mediados del siglo XX (Pronsato, 1950). Con lo cual, resulta de interés discernir la importancia relativa del factor cultural sobre el natural en la (des)conexión hidrológica de los sistemas fluviales Senguerr-Chubut.

OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio es caracterizar los distintos tipos de conectividad hidrológica de los sistemas Senguerr-Chubut, determinando: a) el régimen de paleocaudales del río Chico; b) la frecuencia de ocurrencia de la conexión entre sistemas fluviales bajo la condición climática actual; c) el régimen impermanente actual del río Chico. En base a esta investigación se procura discriminar el rol cultural sobre el natural en la desconexión actual de los sistemas fluviales.

MARCO CONCEPTUAL

La (des)conexión hidrológica de los sistemas Senguerr-Chico fue estudiada integrando distintas

disciplinas tales como la modelación hidráulica, la hidrología y la geomorfología fluvial. Mediante un estudio de geomorfología fluvial se realizó la retrodicción de paleocaudales del río Chico y se caracterizó la conexión hidrológica en cuanto a su magnitud. Mediante un modelo hidrológico de balance de masa se analizó la frecuencia de la (des)conexión hidrológica. Finalmente, mediante técnicas avanzadas de modelación hidráulica se reconstruyeron los eventos intermitentes actuales en el río Chico.

Modelo de balance hidrológico para analizar la (des)conexión de los sistemas fluviales

Se formuló un sistema hidrológico simplificado de las cuencas de los ríos Senguerr y Chubut (Figura 1b) identificándose como fuentes la cuenca de cabecera del río Senguerr, cuenca intermedia del río Chico, y cuencas alta y media del río Chubut. Se identificaron como sumideros, la atmósfera que recibe la evaporación del sistema lacustre y el mar, punto de síntesis de todo el sistema. Las Unidades Hidrológicas están clasificadas en objetos de almacenamiento (lagos) y conducción (tramos de ríos). La dinámica lacustre, en términos hidrológicos y geomorfológicos, oficia de interruptor en el sistema. Por tal motivo, el análisis se centra en este componente del sistema. Se plantea un balance de masa del sistema lacustre:

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = (E_v - I_m)(A_{LM} + A_{LCH}) + (Q_S - Q_{CH}) \quad (1)$$

En donde ΔV es el volumen de agua almacenado en el sistema lacustre durante el periodo de tiempo ΔT , E_v es la tasa de evaporación anual, I_m es la tasa de precipitación media anual, A_{LM} es el área del Lago Musters, A_{LCH} es el área del Lago Colhué Huapi, Q_S es el caudal módulo del río Senguerr, y Q_{CH} es el caudal módulo del río Chico.

Para la evaporación se consideró el rango de observaciones reportado por Scordo (2018) en base a mediciones realizadas en la localidad de Sarmiento (periodo 1994–2015), con un valor medio anual de 1761 mm; para la precipitación se consideró un valor medio de 151 mm (periodo 1979–2022 en Sarmiento, Paredes et al., 2024); respecto a la superficie de los lagos, se consideró una superficie media para el Lago Musters (igual a 437 km²; Scordo, 2018) y la relación Área-Elevación del lago Colhué Huapi fue elaborada utilizando el modelo digital del terreno MDE-Ar [Instituto Geográfico

Nacional (IGN), 2021]. La elevación máxima fue estimada en 260 m considerando la extensión máxima observada para el lago Colhué Huapi en el año 1972 (Llanos et al., 2016); para el río Chico se adoptó el módulo estimado en el presente estudio. En base a los registros de caudales del río Senguerr en la estación “Los Molinos” (nro. 2297 del Sistema de Información Hídrica de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación) se obtuvo la serie de caudales medios anuales para el periodo 1987-2023, cuyo valor medio es de 50.4 m³/s, similar al reportado por Coronato (2003) para el periodo 1937-1959, en la estación “Vuelta del Senguerr” (valor de 49.5 m³/s; la estación está inactiva en la actualidad). Se ajustó un modelo de distribución log-normal (Fattorelli y Fernandez, 2011).

Se formularon distintas hipótesis de nivel inicial del lago Colhué Huapi y se calculó la variación de volumen asumiendo como estado final el nivel máximo del lago. A partir del balance hidrológico se calculó el caudal módulo del río Senguerr. Finalmente se determinó la probabilidad de excedencia de tal derrame anual, y así, la probabilidad de conectividad hidrológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

Se seleccionaron 12 tramos de ríos con estaciones de aforo de la Secretaría de Recursos Hídricos ubicados en el contexto patagónico (Tabla 1). Para la selección se consideró la duración de la serie, con un mínimo de 30 años y la presencia de un tramo con trazado planimétrico meandriforme en las proximidades de la estación de aforo.

Con respecto al río Chico, se seleccionaron 3 tramos a lo largo de su trayecto entre el lago Colhué Huapi y el actual embalse Florentino Ameghino. El tercer tramo se ubica en el cruce del río con la Ruta Provincial N°58 de la provincia de Chubut, donde se encuentra emplazada la estación de monitoreo N°2327 de la Subsecretaría de Recursos Hídricos. Por tal motivo, en dicho tramo se realizó el relevamiento topográfico base para la modelación hidrodinámica (Figura 2).

El cauce del río Chico se caracteriza por un trazado meandriforme, con pendiente media de 0.0001 m/m, ancho superficial de 37 m y profundidad media de 1.16 m. Se observa la presencia de un nivel de

planicie inferior y de uno superior (a 0.5 m sobre el nivel de planicie), para el cual el ancho medio del cauce es de 136 m. El valle inundable a este nivel superior tiene un ancho de 360 m y está limitado por dos terrazas, una izquierda de 4.0 m de desnivel y la derecha de 1.5 m de desnivel.

El material superficial del lecho está conformado por una mezcla de gravas y arenas, con $D_{50} = 23$ mm y $D_{90} = 56$ mm. En las márgenes se observan materiales finos clasificados como ML y CL.

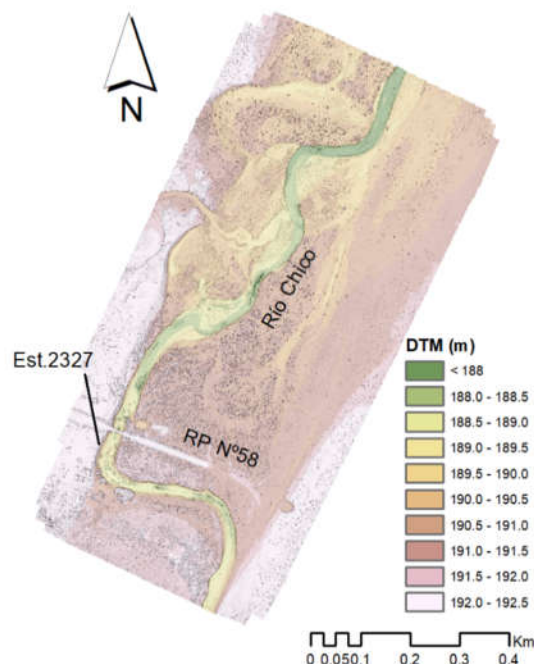


Figura 2. Tramo relevado del río Chico en el cruce con la Ruta Provincial N°58 en la provincia de Chubut. El área abarca el cauce actual, su planicie de inundación y las terrazas que limitan lateralmente. Se indica la ubicación de la estación de monitoreo de niveles N°2327.

Digitalización y caracterización morfológica

Se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución provistas por la plataforma Google Earth. Para cada tramo se digitalizaron dos polilíneas, una siguiendo el eje del río y otra uniendo los puntos de inflexión.

La primera polilínea fue utilizada para obtener dos longitudes de meandro siguiendo el curso. Se utilizaron las funciones de densidad espectral y autocorrelación implementadas en las librerías del software R (Poncet, 2019). Se define la longitud de meandro, L_e , como la inversa de la frecuencia para la

cual se obtiene el valor máximo de densidad espectral; también se definió la longitud, L_a , que corresponde al primer mínimo del análisis de autocorrelación, siguiendo la definición propuesta por Ferguson (1975).

A partir de la segunda polilínea se obtuvo la longitud de meandro, L_m (longitud de onda), igual a la longitud de la poligonal dividida por la cantidad de ciclos del meandro (Leopold et al., 1964).

Caracterización hidrológica

Se utilizaron distintos descriptores para dar cuenta del régimen de cuales: caudal medio, denominado módulo (Q_m); el caudal máximo medio mensual (Q_{mm}), el caudal de cauce lleno, denominado bankfull (Q_b), el caudal dominante definido para una duración del 1% (Q_d) y el caudal de la crecida más probable, determinado para un periodo de retorno de 1.58 años ($Q_{1.58}$). Para cada estación de aforo se procedió a verificar el registro y seleccionar los años hidrológicos con registro completo. Posteriormente se determinaron los caudales medios y medios mensuales para obtener Q_m y Q_{mm} . Con respecto a $Q_{1.58}$, se seleccionó el caudal máximo de cada año y

se ajustó la función de distribución de probabilidad de Gumbel (Fattorelli y Fernández, 2011). Finalmente, el Q_b fue calculado para el tramo de estudio del río Chico a partir de simulación hidrodinámica que se expone más adelante.

Cabe señalar que el análisis hidrológico se realizó a un total de 17 estaciones de aforo. Se incluyeron 5 estaciones que se encuentran ubicadas en tramos de ríos emisarios de lagos en Patagonia, con la finalidad de comprobar la incidencia de la regulación producida por el lago en los parámetros hidrológicos del emisario.

Con respecto al río Chico, se cuenta con una serie de niveles hidrométricos en la estación N°2327. Los niveles están reportados cada 4 h, desde el 25/5/2020 al 2/5/2024, completándose así casi 4 años de observación. Se filtró la serie utilizando un nivel mínimo de 0.50 m, que se definió en base a observaciones in-situ, corroboradas posteriormente con modelación hidrodinámica, como nivel mínimo de escurrimiento. Se identificaron los eventos singulares de crecidas y para cada uno se determinó la altura máxima, el caudal máximo y el volumen de escorrentía.

Tabla 1. Parámetros geométricos e hidrológicos de los tramos seleccionados ubicados en la región patagónica de Argentina (para la definición de los parámetros consultar el texto), (*) emisarios de lagos, () código de la estación de aforo de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación.**

CURSO	ID (**)	Parámetros geométricos			Parámetros hidrológicos			
		Le (m)	La (m)	Lm (m)	Qm (m³/s)	Qmm (m³/s)	Qd (m³/s)	Q _{1.58} (m³/s)
1 CHUBUT	2207	1184.2	800	783	45.9	117.5	217.0	173.9
2 CHUBUT	2211+2301	1442.3	1200	1093.5	41.7	115.4	219.2	147.5
3 CHUBUT	2301	1760	1200	1040.3	31.1	84.1	163.2	108.9
4 CHUBUT	2206	1440	700	738.2	20.0	44.4	82.6	86.9
5 GUALJAINA	2211	752.9	640	750	12.8	36.9	70.2	55.5
6 SENGUERR (*)	2215	173	160	568.7	33.7	70.1	98.2	74.2
7 SENGUERR	2297	1323.5	1050	789.7	46.8	108.2	193.3	127.2
8 SENGUERR (*)	2264	981.8	1200	444	18.8	46.3	87.9	33.8
9 STA CRUZ (*)	2802	4285.7	4500	2230.1	719.9	1392.4	1798.0	1390.8
10 COLORADO	1801	2892.9	3000	2343.6	132.8	346.5	530.5	329.4
11 NEGRO	1809	4153.8	4000	3160.9	908.6	1760.9	2621.0	2006.2
12 PENITENTES	2819	1429.4	800	1035.7	13.6	38.7	82.1	72.3
13 CARRILEUFU (*)	2203				25.0	40.3	61.4	40.2
14 EPUYEN (*)	2208				13.9	28.7	49.3	42.7
15 CARRILEUFU (*)	2204				48.9	92.0	179.3	179.4
16 LA LEONA (*)	2801				257.6	555.2	735.0	554.8
17 LIMAY (*)	1804				734.0		2055.0	

Relevamientos topográficos

Se delimitó un polígono en Google Earth con una superficie de 628 ha, que abarca un tramo del río Chico de 1080 m de longitud (Figura 2). Lateralmente se extiende hasta las terrazas adyacentes (ancho total de 580 m, aproximadamente). Se utilizó un equipo DJI Mavic y se programó un vuelo con doble grilla con altura de vuelo de 100 m. Se tomó un total de 989 fotografías. El relevamiento se llevó a cabo el día 31 de marzo de 2023. Además, se realizaron dos relevamientos topográficos con el fin de referenciar planialtimétricamente el modelo digital del terreno. El primer relevamiento se realizó junto con el vuelo del dron y se utilizó un equipo GPS Diferencial Magellan PRO. Se colocaron puntos de control en el terreno (GCP) y se midió su coordenada. También se relevaron puntos del terreno natural elegidos aleatoriamente dentro del área de vuelo. El segundo relevamiento se realizó el día 18 de septiembre de 2023. Se utilizó una estación total Kolida. Se relevaron: a) la altura de la escala hidrométrica ubicada aguas arriba del puente de la Ruta Provincial N°58, b) puntos del terreno natural, c) marcas de una crecida reciente (ocurrida el 19 de agosto de 2023).

Construcción del modelo digital del terreno

Se utilizó el software AgiSoft Megashape® para realizar el procesamiento fotogramétrico de las fotos tomadas por el dron. Los modelos de terreno (DTM) procesados en base a fotos tomadas con cámaras en posición vertical presentan distorsiones radiales (James y Robson, 2014). Se procedió a desarrollar un modelo estadístico de regresión lineal múltiple considerando al error como variable respuesta ($y = \text{DoE}$, diferencia entre la elevación según el DTM y los puntos relevados) y como variables explicativas la siguiente combinación de las coordenadas: x , y^2 , $x \cdot y$. Se utilizaron funciones de R para el análisis estadístico (Wilkinson y Roger, 1973). Finalmente se corrigió el DTM con la superficie polinómica del modelo de regresión.

Los productos del proceso son un DTM con tamaño pixel de 0.14 m y una ortofoto con tamaño de pixel de 0.035 m.

Caracterización sedimentológica y rugosidad del lecho

Se tomaron fotos del material superficial del lecho en cuatro lugares con exposición de gravas. Se colocaron jalones en el terreno dispuestos en forma ortogonal

delimitando un cuadrado de 1 m². Se tomaron cuatro fotos en cada sector. Posteriormente se procedió a su escalado con el software ArcGis, se aplicó el método grid-by-number para el muestreo y conformación de las curvas granulométricas (Bunte y Abt, 2001). Adicionalmente se tomaron dos muestras del material de las márgenes que fueron procesadas en el Laboratorio de Investigaciones y Ensayos Viales (LABIEVI, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Sede Trelew), mediante técnicas usuales de tamizado (normas VN-E1, VE-E7, Dirección Nacional de Vialidad, s.f.).

Se determinó la rugosidad equivalente del lecho, relacionándola con el percentil 90% de la curva granulométrica: $ks = 2 \cdot D_{90}$ (Kamphuis, 1974; Kaless, 2017). En base a la ecuación de resistencia al flujo de Keulegan (1938) y la fórmula de Manning se obtuvo el valor del coeficiente de Manning, $n = 0.029$ (Kaless y Bastida, 2017).

Modelos morfológicos

Se construyeron modelos empíricos morfológicos que relacionan una variable geométrica del curso, utilizada como variable explicativa (La , Le , o Lm) con una variable del régimen de caudales, que se define como variable respuesta (Qb , Qd , etc.). En general se emplean fórmulas potenciales:

$$y = b_0 x^{b_1} \quad (2)$$

En donde y es la variable respuesta, x es la variable explicativa, y b_0 y b_1 son parámetros a ajustar. Mediante una transformación logarítmica se obtiene un modelo lineal:

$$\ln y = \ln b_0 + b_1 \ln x \quad (3)$$

Se conformó una base de datos con los sitios de Patagonia y 18 ríos británicos reportados por Ferguson (1975), 94 ríos en EE.UU. publicados por Dury (1976) y Carlston (1965). Mediante esta composición de datos se pudo obtener el intervalo de confianza para las predicciones.

Dado que el río Chico es un emisario de un lago, se requiere verificar la influencia del lago en la variabilidad de los caudales. Se definió el índice de variabilidad (V_q) como el cociente entre el caudal dominante y el módulo (Ferguson, 1975):

$$V_q = \frac{Q_d}{Q_m} \quad (4)$$

El modelo morfológico empírico propuesto es:

$$\ln y = \ln b_0 + b_1 \ln x + b_2 V_q \quad (5)$$

Alternativamente, se consideró otro modo la influencia de un lago a través de una variable categórica, r , que adopta el valor 0 para el caso de tramos sin regulación aguas arriba, y 1 para tramos con regulación debido a la presencia de un lago aguas arriba. El modelo morfológico empírico propuesto es:

$$\ln y = \ln b_0 + b_1 \ln x + b_2 r \quad (6)$$

Para estos dos últimos casos se utilizó la base de datos de los ríos patagónicos estudiados en el presente trabajo debido a la ausencia de dicha información en las publicaciones antes mencionadas para ríos en Reino Unido y EE.UU. También se utilizaron librerías del software R para el análisis estadístico de los modelos empíricos (Wilkinson y Rogers, 1973).

Modelación hidrodinámica

Se construyó una curva de aforo mediante modelación hidrodinámica bidimensional, utilizando el software IBER (Bladé et al., 2014; Cea et al., 2020) que resuelve las ecuaciones del flujo promediado en la vertical e incorpora un modelo de turbulencia k-ε. Si bien es posible realizar simulaciones con fondo móvil, se impuso una condición de fondo fijo. Como IBER resuelve el flujo en régimen transitorio, a fin de calcular una curva H-Q bajo la hipótesis de régimen permanente, que se definió como la diferencia en el tirante de menos de 0.01 m, o diferencia en el caudal menor al 1% (entre entada y salida).

Las condiciones de borde se establecen tanto aguas arriba como aguas abajo. En la sección de entrada, aguas arriba, se impone un caudal constante. Para la sección de aguas abajo se impuso una curva H-Q calculada usando la geometría local y la ecuación de Manning, y la pendiente media del tramo.

Se utilizó un caudal de 60 m³/s en las primeras simulaciones y se estableció que el tiempo mínimo de simulación de régimen transitorio debe ser de 3700 s para alcanzar el régimen permanente.

Se estimó el error en la predicción del calado en la sección de aforo utilizando el Índice de Convergencia de Grilla (Roache, 1997; Wilcox, 2006). Se armaron tres grillados con densidad creciente para el cauce: 3 m, 2.1 m y 1.5 m. Se adoptó un tamaño de grilla de 1.5 m para la zona de cauce que se redujo a 0.70 m

para el entorno del puente donde está ubicada la escala hidrométrica. Para la zona de terraza se adoptó un valor de 7.0 m.

A fin de obtener una estimación de la incertidumbre en la determinación del caudal se consideraron varios valores para el parámetro de resistencia al flujo (n de Manning), elevación del fondo que surge del DTM y la incertidumbre en la predicción del calado.

El error en la estimación del caudal es:

$$s_Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial h} s_{LE}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial n} s_n\right)^2} \quad (7)$$

En donde s_n es el error en el parámetro n y s_{LE} es el error en la lectura de escala, evaluado del siguiente modo:

$$s_{LE} = \sqrt{s_{DTM}^2 + s_h^2} \quad (8)$$

En donde s_{DTM} es el error en el nivel medio del DTM, evaluado en 0.011 m a partir del relevamiento topográfico; s_h es el error que surge del modelo hidrodinámico por el tamaño de grilla, evaluado en 0.016 m; finalmente, el error en el parámetro n se estimó como el 10% del valor adoptado para el tramo, según surge del rango de variación de k_s/D_{90} obtenido de mediciones de campo por Kaless (2017).

Finalmente, para construir la curva H-Q se impuso un hidrograma escalonado en el rango de 5 a 100 m³/s y se obtuvieron los niveles hidrométricos en la sección de aforo.

A partir de los resultados del modelo hidrodinámico se determinó la competencia de la corriente para los caudales bankfull y de inundación de nivel de terraza inferior. Se determinó la distribución de frecuencia del esfuerzo de corte que ejerce la corriente sobre el lecho del cauce. Se comparó dicha distribución con las tensiones de referencia de los agregados encontrados en el lecho, aplicando las expresiones de Parker y Klingeman (1982).

Validación del modelo hidrodinámico

El día 18 de agosto de 2023 ocurrió una crecida para la que se registró un nivel máximo de 2.09 m en la escala hidrométrica (evento N°14 en la Tabla 2). Se realizó una simulación para el caudal máximo estimado a partir de la curva Altura-Caudal y se compararon los niveles predichos con los observados en el lugar (Figura 3). Se observa que el perfil de la

superficie libre calculado por el modelo hidrodinámico es una envolvente de los niveles máximos observados en campo. Las discrepancias se atribuyen a dos factores.

Por un lado, la permanencia de los niveles hidrométricos genera marcas a elevaciones más bajas durante el mismo evento (Heritage et al., 2019; Kaless, Walker y Malnero, 2020); o por otro lado, la

ocurrencia de un evento posterior. En tal sentido se comprobó que había ocurrido otro evento menor una semana antes de realizar la salida a campo del 18/9/23 (evento N°15 en Tabla 2).

Considerando la incertidumbre en los caudales y los factores antes señalados, se concluyó que el modelo hidrodinámico explica adecuadamente los niveles máximos observados en campo.

Tabla 2. Eventos de crecidas torrenciales en el río Chico en el periodo 5/2020 a 5/2024. Se presenta información sobre el nivel máximo medido, estimación del caudal máximo y derrame con rango de incertidumbre (entre paréntesis).

Evento N°	Fecha	Hmax (m)	Qmax (m³/s)	Vol (Hm³)
1	01/07/2020	1.30	10.5 (9.6-12.6)	3.7 (3.7-5.2)
2	20/07/2020	1.99	35.8 (32-39.3)	10.9 (10.5-14.2)
3	22/08/2021	1.91	32 (28.7-35.4)	5.0 (4.7-6.3)
4	06/09/2021	0.80	1.8 (1.9-2.8)	0.3 (0.3-0.5)
5	09/09/2021	0.98	4.0 (3.8-5.4)	1.5 (1.6-2.4)
6	18/12/2021	1.42	13.8 (12.6-16.1)	2.7 (2.7-3.7)
7	20/01/2022	1.98	35.3 (31.6-38.8)	2.8 (2.7-3.6)
8	07/04/2022	2.03	37.7 (33.7-41.3)	10.8 (10.4-14)
9	17/07/2022	0.86	2.4 (2.4-3.6)	1.0 (1-1.6)
10	27/07/2022	1.15	7.1 (6.6-8.8)	2.2 (2.3-3.3)
11	20/09/2022	2.98	80.5 (77-85.9)	15.8 (15-18.2)
12	13/11/2022	2.19	45.9 (42.7-49.9)	7.6 (7.1-9.1)
13	11/01/2023	1.62	20.3 (18.3-23.1)	3.0 (2.9-4)
14	18/08/2023	2.09	40.7 (36.4-44.4)	6.5 (6-7.9)
15	10/09/2023	0.85	2.3 (2.3-3.4)	0.7 (0.7-1.1)
16	19/09/2023	1.60	19.6 (17.7-22.3)	3.2 (3-4.1)
17	19/12/2023	1.17	7.5 (6.9-9.3)	1.6 (1.6-2.2)

RESULTADOS

La caracterización morfológica e hidrológica de los ríos patagónicos viene resumida en la Tabla 1. Se pudo componer una muestra con un amplio despliegue de escalas: la longitud del meandro (Lm) varía entre un mínimo de 444 m y un máximo de 3161 m; mientras que el caudal dominante (Qd) varía entre un mínimo de 49.3 m³/s y un máximo de 2621 m³/s.

En la Tabla 3 se exponen los 7 modelos empíricos conformados por distintas combinaciones de variables geométricas e hidrológicas. Se incluyen las predicciones de caudales para el río Chico basadas en

su geometría actual y los modelos morfológicos. Se presenta el promedio de los tres tramos (que corresponde a considerar un único tramo que conectaba el sistema lacustre con el río Chubut).

Con respecto al río Chico, se determinó la curva de aforo (Figura 4c) que presenta dos comportamientos diferenciados. Para ambos casos se ajustó un modelo polinómico de segundo grado:

$$Q = b_0 + b_1 h + b_2 h^2 \quad (9)$$

En donde Q es el caudal (en m³/s) y h, la lectura en la escala hidrométrica (en m). Los parámetros son: $b_0 =$

5.83, $b_1 = 17.945$, $b_2 = 16.572$ para $h \leq 2.17$ m ($r^2 = 0.998$); y $b_0 = 147.40$, $b_1 = -112.50$, $b_2 = 130.215$ para $h > 2.17$ m ($r^2 = 0.997$).

El gráfico de área en función del caudal revela que existen dos niveles de desborde (Figura 4d). Cuando el caudal alcanza los $45 \text{ m}^3/\text{s}$ se produce el primer desborde evidenciándose en el rápido aumento del área inundada hasta un caudal de $70 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 4a), cuando se completa la inundación de la planicie. A partir de este caudal el área aumenta lentamente conforme se llena este nivel morfológico. A partir del caudal de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ se produce un segundo desborde, esta vez sobre el nivel de terraza fluvial, aumentando así la tasa de variación del área (Figura 4b).

Se identificaron 17 eventos para el periodo de cuatro años de registro en el río Chico (Tabla 2). El caudal pico de la crecida tiene un valor mínimo de $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ y uno máximo de $80.5 \text{ m}^3/\text{s}$. El volumen de escorrentía máximo es de 15.8 Hm^3 , con un promedio anual de 20.1 Hm^3 .

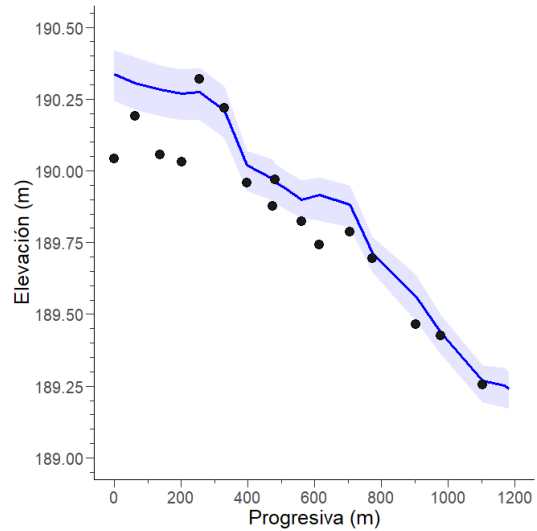


Figura 3. Validación del modelo hidrodinámico comparando los niveles predichos (línea azul) y los observados (círculos negros). Además, se indica la incertidumbre en la predicción del nivel (banda celeste).

Tabla 3. Resultados de los distintos modelos morfológicos para caracterizar el régimen de paleocaudales del río Chico, relacionando distintas variables que describen la geometría (variable explicativa) y el caudal (variable respuesta).

Modelo Nro.	1	2	3	4	5	6	7
Modelos $\ln(y) = b_0 + b_1 \ln(x) + b_2 r$							
Var Exp.(x)	Le	La	Lm	Lm	Lm	Lm, r	Lm, r
Var. Resp.(y)	Qd	Qd	Qm	Qb	Qmm	Qm	Qmm
N	31	29	43	66	43	11	11
b_0	-4.9471	-3.592	-10.775	-5.4747	-9.9573	-11.727	-10.004
b_1	1.4098	1.2468	2.1209	1.6041	2.1104	2.2147	2.1031
b_2						1.1822	0.9876
R^2	0.8311	0.826	0.9563	0.7296	0.9585	0.8485	0.8684
p-valor	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Predicción							
Media	69.6 (34.6 - 140)	71.4 (34-149.8)	7.0 (4-12.2)	62.9 (29.2-135.8)	14.8 (8.6-25.5)	15.6 (2.9-83.6)	36.3 (15.6-84.2)

Finalmente, en la Figura 5 se muestran la conectividad de los sistemas Senguerr-Chubut en términos de probabilidad de ocurrencia para dos intensidades de derrames (conexión) en el río Chico y en función del estado antecedente del sistema (nivel del lago Colhué Huapi). Para la

intensidad de descarga se consideró el caudal módulo del río Chico, otro valor intermedio y caudal nulo. Con respecto a la evaporación, al considerar tasas máximas y mínimas se estimó un rango para la Frecuencia de excedencia calculada (Figura 5).

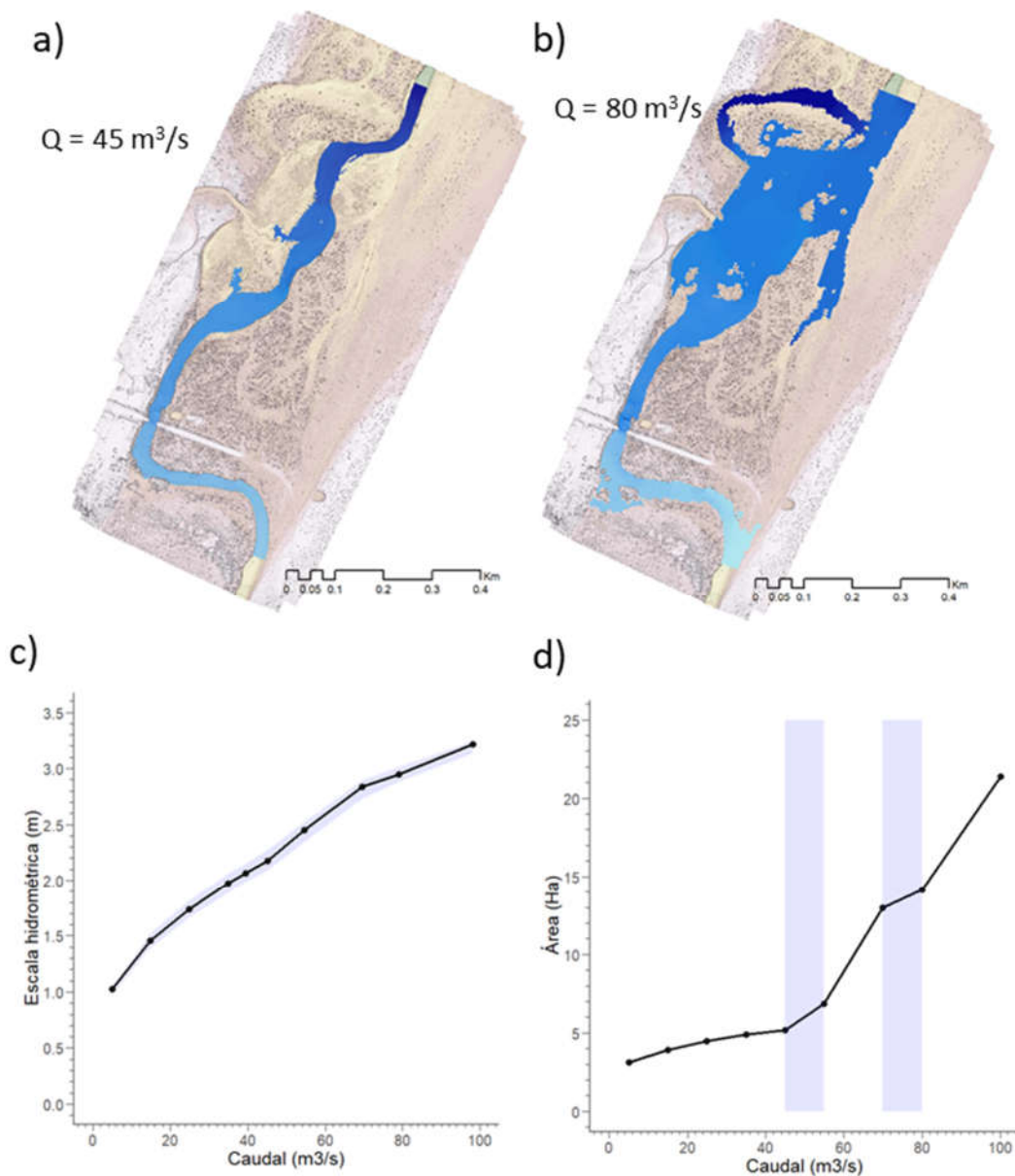


Figura 4. Resultados de la modelación hidrodinámica mostrando el área inundada para los caudales de $45 \text{ m}^3/\text{s}$ y $80 \text{ m}^3/\text{s}$ (a y b respectivamente); c) curva altura-caudal construida mediante modelación hidrodinámica; d) extensión del área inundada para diferentes caudales; se ha resaltado con dos franjas verticales los caudales para los cuales se producen desbordes a diferentes niveles.

DISCUSIÓN

Paleocaudales del río Chico

El paleocaudal dominante del río Chico, durante el periodo de conexión de los sistemas Senguerr-Chubut, fue estimado en torno a $70 \text{ m}^3/\text{s}$ (modelos 1 y 2 – Tabla 3) y resulta similar al caudal de cauce

lleno (modelo 4). La incertidumbre asociada al método morfológico es importante, existiendo un 95% de probabilidad de encontrar el caudal dominante entre $35 \text{ m}^3/\text{s}$ y $140 \text{ m}^3/\text{s}$. Por otro lado, a partir de la modelación hidrodinámica se estimaron dos niveles de desbordes: el primer nivel corresponde a la actual planicie que es inundada a partir de un caudal de $45 \text{ m}^3/\text{s}$; y otro para un nivel de terraza

inundable a partir de 80 m³/s. Esto sugiere que el caudal más bajo correspondería al modelado actual de una nueva planicie de inundación, producto del régimen de caudales actuales. En cambio, el primer nivel de terraza correspondería al nivel de planicie de inundación de un régimen hidrológico y sedimentológico anterior.

Los caudales dominante y bankfull caracterizan crecidas muy frecuentes y son responsables de modelar el cauce

(Leopold, 1994; Wohl, 2014). El rol morfológico del caudal bankfull fue analizado en términos de la movilidad del material del lecho. En la Figura 6 se muestra la distribución de frecuencia del esfuerzo de corte de la corriente para los caudales de 45 m³/s; y de 80 m³/s. La distribución del esfuerzo de referencia para la movilidad de las partículas se encuentra próxima a la moda de las distribuciones hidrodinámicas, por lo que se sigue que estas crecidas son capaces de movilizar todas las fracciones granulométricas.

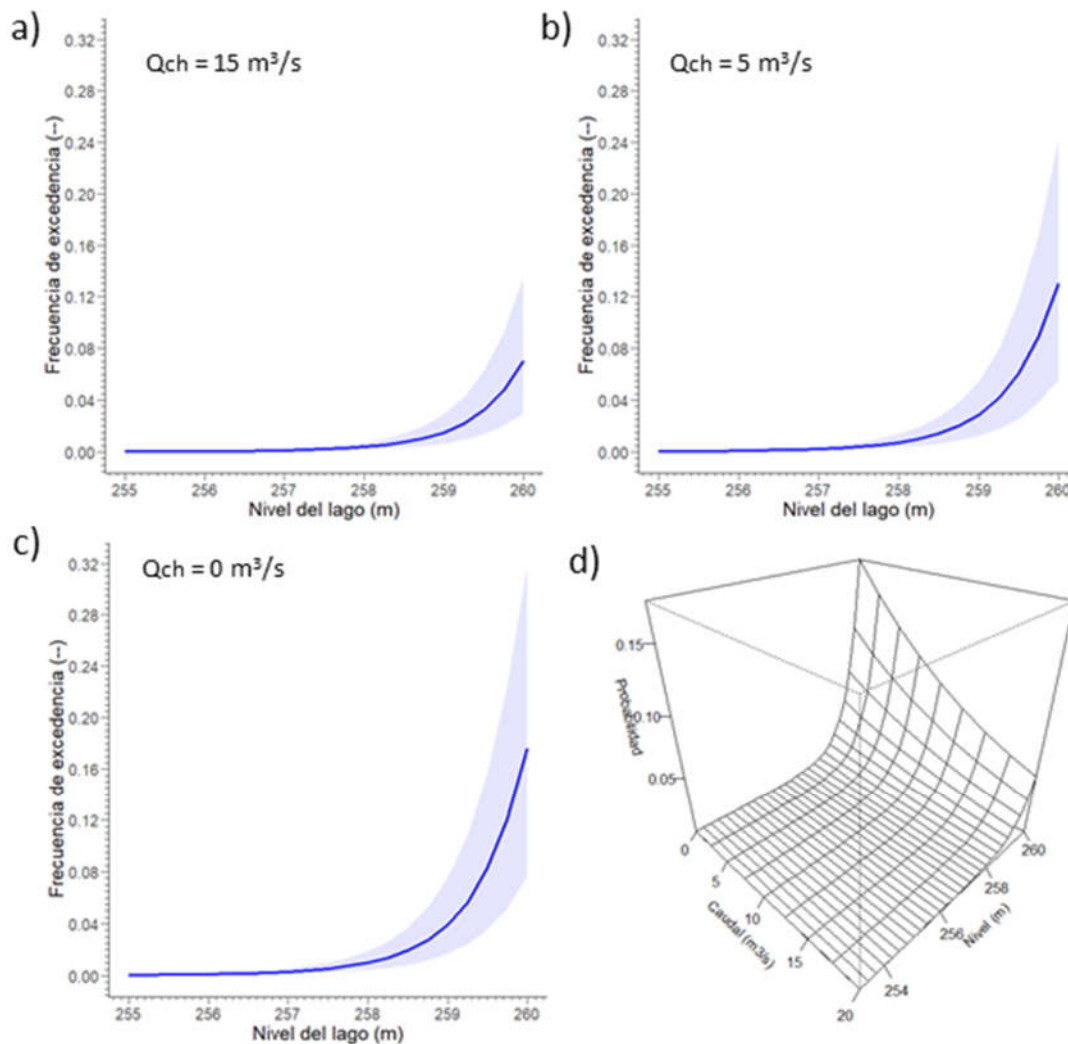


Figura 5. Resultados del modelo hidrológico en términos de Frecuencia de Excedencia de años en los que se producen derrames en el río Chico (Probabilidad de conectividad hidrológica de los sistemas Senguerr-Chubut) según el estado antecedente del sistema lacustre (Nivel del lago). En a), b) y c) se muestran resultados para distintas hipótesis de caudal circulante por el río Chico. El rango en la predicción de la Frecuencia de Excedencia se obtuvo asumiendo distintos valores de evaporación. En d) se muestra una representación 3D.

Existe abundante literatura que indica que el caudal bankfull ocurre, en media, dos veces cada tres años (Leopold, 1994; Kaless, 2013; Wohl, 2014). Tal frecuencia fue también obtenida para ríos de la Patagonia cordillerana por Kaless (2013), variando el tiempo de retorno en el rango de 1.1 a 2.4 años. La duración de dicho caudal se encuentra entre el 1% y 5%, con lo cual, el caudal bankfull tiende a ser inferior al caudal dominante (duración 1%).

El módulo del río Chico fue estimado en $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$ según el modelo 3 (Tabla 3), variando entre 4.0 y $12.2 \text{ m}^3/\text{s}$ (derrame medio de 219 Hm^3). Este valor indicaría que el caudal dominante era un orden de magnitud superior al módulo. Tal magnitud resulta extraña para el caso del río Chico por tratarse de un emisario de un lago. Se esperaría una atenuación de las crecidas por efecto de la laminación en el lago. La relación V_q para tramos emisarios de lagos es 3.175 (desvío estándar de 0.7463) que resulta un tercio de la relación mencionada anteriormente.

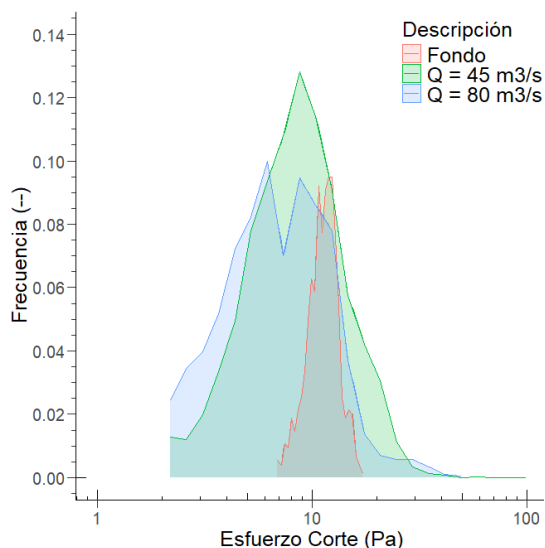


Figura 6. Frecuencia de esfuerzos de corte generados por la corriente en el fondo del cauce para dos caudales de avenidas (45 y $80 \text{ m}^3/\text{s}$). Se incluye la curva granulométrica convirtiendo el tamaño del agregado en esfuerzo de corte de referencia.

El modelo 6 (Tabla 3) incluye la diferenciación entre tramos con/sin un lago regulador aguas arriba. En base a este modelo se estima que el módulo del río Chico fue de $15.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (con un 95% de probabilidad de encontrarse entre 2.9 y $83.6 \text{ m}^3/\text{s}$). Lamentablemente las bases de datos publicadas de L_m y Q_m están basadas en tramos sin la influencia de lagos. Para el presente estudio se pudo compilar solamente tres

tramos emisarios de lagos con trazado meandriforme en el contexto patagónico. A partir de dicho modelo, la relación V_q es de 4.6 y el derrame anual es de 492.3 Hm^3 , que representa el 32.0% del módulo del río Chubut (determinado en $48.8 \text{ m}^3/\text{s}$, para el periodo 1943-2011 por Lauro et al., 2019) y el 31% del derrame del río Senguerr (periodo 1987-2023).

En el año 1947 se inició la medición sistemática de caudales en la Provincia de Chubut (Kaless, 2021). La instrumentación estuvo relacionada con los estudios básicos para el proyecto del Dique Florentino Ameghino y comprendió la colocación de escalas en el río Chico (aguas arriba de la confluencia con el río Chubut) y en el río Chubut (en Los Altares, Las Plumas y Gaiman). Pronsato (1950) reportó las mediciones de caudales realizadas en el emisario del lago Colhué Huapi durante el último desborde documentado (desde octubre de 1945 hasta diciembre de 1947). El caudal medio fue de $12.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (derrame de 391 Hm^3), con un mínimo de $5.3 \text{ m}^3/\text{s}$ en los meses de marzo/abril y un máximo de $24 \text{ m}^3/\text{s}$ en diciembre. Si bien el periodo del registro es muy corto, se señala que el caudal medio medido está dentro del rango de predicción para los paleocaudales del río Chico.

Finalmente, con respecto al caudal máximo medio mensual, las estimaciones dependen igualmente de la inclusión de la diferenciación de tramos emisarios. Cuando se considera solamente el parámetro morfológico como variable explicativa (modelo 5) se estima un Q_{mm} de $14.8 \text{ m}^3/\text{s}$. En cambio, al diferenciar entre tramos emisario y aquellos sin regulación, la estimación es de $36.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Conexión hidrológica actual de los sistemas fluviales Chico-Chubut

En la actualidad el río Chico es un curso efímero. En cuatro años de registro se observaron 17 crecidas, que se caracterizan por una fase creciente moderada (tasa máxima registrada de $4.4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$ en el evento N°7), si se compara con las crecidas repentinas observadas en la cuenca del arroyo Sagmata (Kaless et al., 2024). Por el contrario, las fases recesivas suelen ser más prolongadas, durando varios días. En la Figura 7 se muestra la curva de permanencia de caudales. En promedio, el curso transporta agua 25 días por año ($Q > 1 \text{ m}^3/\text{s}$). El caudal que llena el cauce tiene una permanencia de 11 h.

El carácter torrencial de los aportes del río Chico al sistema del río Chubut fue tempranamente reconocido por Pronsato (1950), quién, en su estudio

hidrogeológico, estimó aportes instantáneos del orden de $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Más recientemente, Sainz-Trápaga et al. (2019) analizaron las fluctuaciones en la elevación del embalse Florentino Ameghino (periodo 1993-2018). Atribuyeron dichas anomalías al ingreso de caudales desde el río Chico o de la cuenca del río Chubut ubicada aguas abajo de la estación de aforo de Los Altares. En la Figura 8 se muestra una comparación entre el volumen derramado y el caudal pico de cada evento. Los eventos detectados por Sainz-Trápaga et al. (2019) superan un valor pico de $148 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el evento más intenso del periodo 2020-2024 solamente supera levemente la mitad de dicho valor (máximo de $80 \text{ m}^3/\text{s}$). Es posible que la ausencia de eventos menos intensos en el estudio citado se deba a una limitación metodológica. En efecto, las crecidas reportadas en el presente estudio tienen un volumen de derrame que, si se considera una superficie media del embalse de 4661 Ha , en promedio producirían una perturbación de 0.10 m en el nivel del embalse (y máximo de 0.34 m). Tal diferencia se encuentra dentro del error asociado a la curva cota-volumen del embalse. Finalmente, cabe señalar que no se encontró diferencia significativa entre la tendencia de los eventos reportados por Sainz-Trápaga et al. (2019) y los del presente estudio ($p\text{-valor} = 0.55$).

La crecida del año 2017 se destaca como un evento extraordinario en la Figura 8. Sainz-Trápaga et al. (2019) estimaron un caudal pico de $753 \text{ m}^3/\text{s}$ y un volumen de 439.7 Hm^3 .

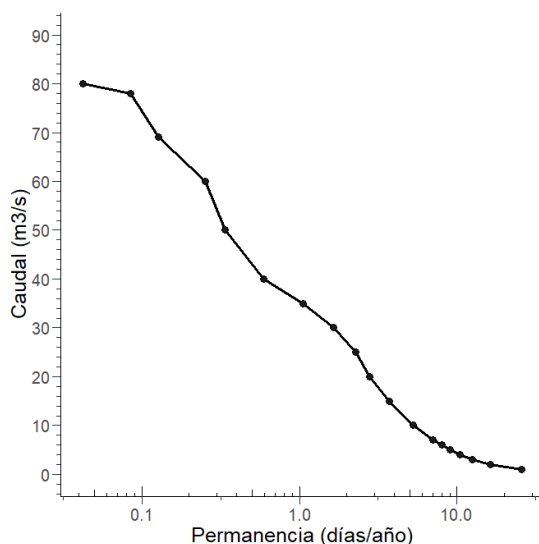


Figura 7. Permanencia de caudales del río Chico entre mayo-2020 y mayo-2024.

(Des)conexión hidrológica de los sistemas fluviales Senguerr-Chubut

La conectividad de los sistemas fluviales Senguerr-Chubut ha sido cuantificada con dos variables: el caudal en el río Chico y la frecuencia de desborde del lago Colhué Huapi. La conectividad depende de una serie de factores intrínsecos al sistema lacustre, tales como su estado antecedente (nivel de los lagos al inicio del año hidrológico) y de la morfología [relación entre volumen almacenado, área y elevación de la superficie libre, umbral de salida – ver ecuación (1) y Figura 1]. Por otro lado, entre los factores extrínsecos hemos considerado la evaporación y el aporte hídrico del río Senguerr.

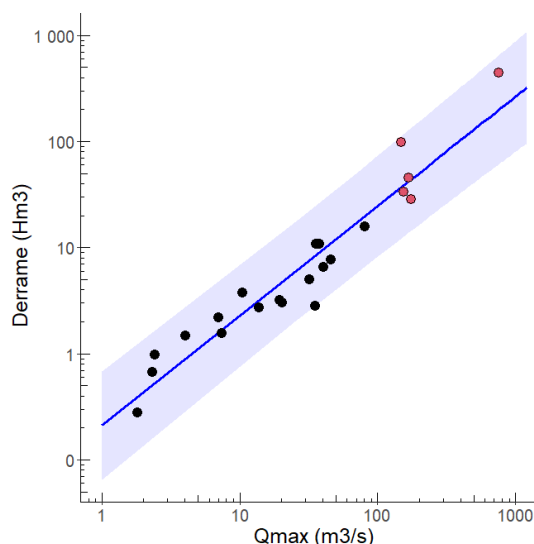


Figura 8. Comparación entre el volumen de derrame de eventos torrenciales con el caudal máximo, para los eventos registrados en el periodo 2020 – 2024 (puntos negros) y los inferidos por ascensos repentinos del nivel del embalse Ameghino (puntos rojos).

Si se considera un estado final próximo al nivel umbral de desborde (adoptado en 260 m en este estudio) y el estado antecedente es próximo (259 m) la frecuencia de conectividad varía entre 0.015 (derramando el río chico el caudal módulo estimado en este estudio alrededor de $15 \text{ m}^3/\text{s}$) y 0.04 si simplemente alcanza el nivel umbral. En cambio, ante situaciones precedentes más favorables, por ejemplo para un nivel del lago igual al umbral, la probabilidad de mantenerse en dicho nivel o derramar varía entre 0.17 y 0.07 , respectivamente. Esto indica que bajo condiciones húmedas, donde a lo largo de varios años el río Senguerr aporta caudales superiores a la media, es probable que se registren episodios de niveles altos en

el lago o se supere el umbral y se conecten los sistemas. Esta intermitencia en la conexión hidrológica fue observada en enero de 1886 por la expedición dirigida por el Gobernador Luis Fontana (Fontana, 2006), de agosto de 1939 a enero de 1943; y desde octubre de 1945 a diciembre de 1946 (Pronsato, 1950). En tiempos recientes (y un escenario de intervención antrópica sobre el sistema) se han observado situaciones con niveles elevados del lago Colhué Huapi en los años 1972 y 2006 (Llanos et al., 2016) y en 1981 (Juan Serra, comunicación personal).

Llanos et al. (2016) determinaron una superficie del lago Colhué Huapi para el periodo 1996-2016, obteniendo un valor medio de 528 km². Esta superficie corresponde a una cota de 256.25 m (profundidad máxima de 4 m). Para estados antecedentes del lago similares o inferiores a este nivel, la probabilidad de conectividad hidrológica decae rápidamente y resulta extraordinariamente baja (<0.001). Este comportamiento del sistema está relacionado con las características morfológicas del lago Colhué Huapi que se discuten más adelante.

El río Senguerr aporta un volumen anual medio de 1589 Hm³ (desvío estándar de 555 Hm³), con una distribución de frecuencia log-normal. Por otro lado, la evaporación en la zona tiene un valor medio de 1761 mm (con un mínimo medido en 1506 mm/año y máximo de 2086 mm/año, según Scordo, 2018). El egreso de agua a través de la evaporación depende del factor atmosférico, cuantificado anteriormente, y de la superficie de ambos lagos. Por tratarse de una concavidad somera, muy aplanada, el área del lago Colhué Huapi aumenta rápidamente, pasando de 0 a 1500 km² en 8 metros de variación del nivel del lago. Esto genera una aceleración en la tasa de transferencia de agua a la atmósfera (Ev·A) alcanzando (bajo condiciones de evaporación media) un valor mínimo de 720 Hm³ desde el lago Musters y el Colhué Huapi seco y hasta 3411 Hm³ para el nivel de 260 m en el lago Colhué Huapi. Claramente estos valores, no sólo son comparables al módulo del río Senguerr sino que lo duplican para condiciones de lago lleno. Además, por las mismas características morfológicas del lago Colhué Huapi, su capacidad de almacenamiento varía rápidamente. Se estimó un volumen de llenado de 3780 Hm³. Bajo las condiciones atmosféricas actuales (velocidad del viento, temperatura en verano) el sistema lacustre, y principalmente el lago Colhué Huapi, se constituye en un elemento interruptor de la continuidad hidrológica de los sistemas fluviales, difícilmente (baja probabilidad) de ser superado.

Por otro lado, a principios de siglo XX se produjo un cambio cultural en el uso del territorio. Las comunidades originarias (cazadoras-recolectoras) fueron apartadas del territorio y se impuso un patrón de asentamiento sedentario y agrícola en el Valle de Sarmiento, y minero aguas arriba del valle. Tal cambio ha producido una presión sobre el recurso especialmente desde mediados del siglo XX. Se estima una derivación anual de 263 Hm³ para riego y 37 Hm³ para uso en las poblaciones (Paredes et al., 2024). Este volumen es la mitad del derrame mínimo observado en el río Senguerr en el periodo 1987-2023 y el 18.8% del derrame medio anual. Además es el 9% de la máxima tasa de evaporación en el sistema lacustre.

Otro aspecto geomorfológico que controla la (des)conexión hidrológica es el nivel del umbral del inicio de desborde. Debido a la acción eólica, que se incrementa durante los periodos en los que el lago Colhué Huapi permanece seco, se generan médanos en la costa oriental (Scordo et al., 2020). La conformación de médanos obtura la descarga del lago. Las primeras observaciones de la formación de médanos datan de fines del siglo XIX, según testimonios de Lwyd ap Iwan en 1893 (en Roberts y Gavirati, 2018); Lewis Jones en 1898 (Jones, 2015) y Francesco Pietrobelli en 1898 (en Pietrobelli, 2012). En términos de desconectividad, este factor oficia como una retroalimentación negativa al potenciar los factores resistentes del sistema (aumento del área del lago Colhué Huapi y la evaporación y aumento de la capacidad de almacenamiento).

Evolución de la (des)conexión hidrológica de los sistemas fluviales Senguerr-Chubut

Se propone un modelo de evolución de la (des)conexión hidrológica de los sistemas fluviales Senguerr-Chubut (Figura 9). El espacio de sucesos del sistema lacustre está definido por el aporte hídrico desde el río Senguerr, el área de los lagos, y el área de los lagos que corresponde al inicio de derrame en el río Chico. Cuando el sistema se ubica por debajo del plano “umbral”, los sistemas fluviales Senguerr y Chubut están desconectados.

De acuerdo a González Díaz y Di Tommaso (2014), para inicios del Holoceno el bajo de Sarmiento estaba inundado al igual que los lagos Musters y Colhué Huapi bajo un único cuerpo de agua, denominado protolago Sarmiento. Las condiciones climáticas reinantes eran más húmedas, con inviernos más fríos (Mardones et al., 2011; Markgraf et al., 2003). Las

variables del sistema seguían una trayectoria cíclica (con histéresis) determinada por el almacenamiento transitorio en el lago del aporte hídrico del río Senguerr (Figura 9a). Con un régimen hídrico más voluminoso y menor tasa de transferencia por evaporación, el sistema se mantuvo por sobre el plano umbral, conectando los sistemas Senguerr—Chubut.

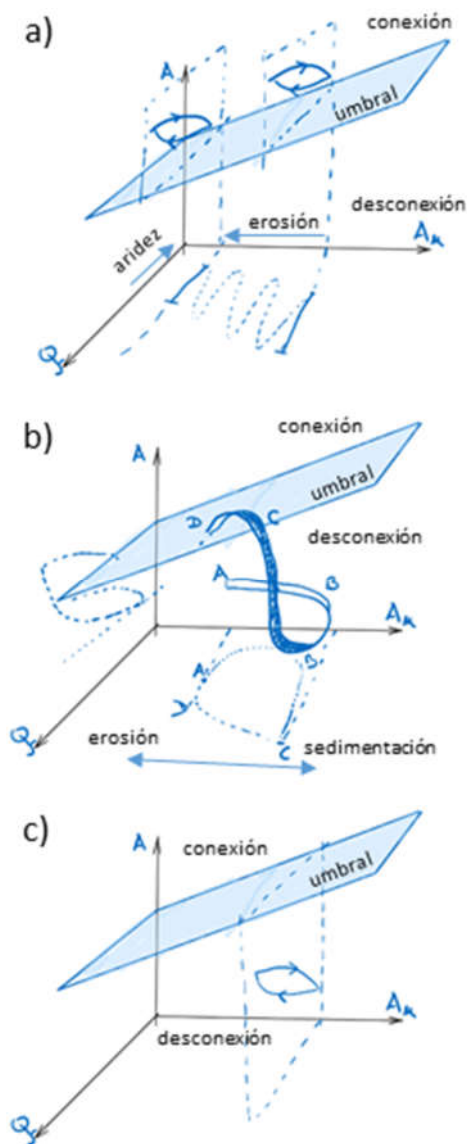


Figura 9. Trayectorias del sistema lacustre produciendo (des)conexiones entre los sistemas fluviales Senguerr-Chubut. El espacio de sucesos está definido por el área de los lagos (A) el caudal del río Senguerr (Q_s) y el área máxima del lago para el inicio del desborde (A_u). Caso a) conexión entre los sistemas Senguerr y Chubut. Caso b) conexión intermitente entre los sistemas. Caso c) desconexión permanente de los sistemas.

A partir del Holoceno medio prevalecieron condiciones climáticas más desfavorables, de mayor aridez (Markgraf et al., 2003) y aumento en la intensidad de los vientos del oeste (Moreno et al., 2016), que aumentaron la tasa de evaporación del lago. Por otro lado, la descarga por el río Chico produjo la erosión del umbral y descenso del nivel de base del sistema. En la Figura 9a se observa un desplazamiento de la trayectoria del sistema lacustre que, si bien continúa conectando hidrológicamente las cuencas Senguerr-Chubut, oscila con una amplitud menor (menor caudal y mayor evaporación) y con un nivel umbral inferior.

Bajo las condiciones de mayor aridez y menor nivel de base el protolago Sarmiento descendió descubriendo el abanico aluvial y formándose los lagos Musters y Colhué Huapi. En algún momento de los últimos 6000 años el sistema entró en un nuevo estado, de intermitencia, al atravesar el plano umbral en el espacio de sucesos (Figura 9b). En la medida que se mantuvo el flujo por el boquete, o el lago Colhué Huapi tuvo niveles altos, el umbral permaneció inalterado y la trayectoria del sistema se ubica en un plano (con $A_u = \text{cte.}$). De acuerdo a Neukom et al. (2010) durante los siglos XVII y XIX los inviernos en la zona austral eran más húmedos que en el presente, que propició niveles más altos del lago Colhué Huapi. Los estudios palinológicos realizados por Fabiani et al. (2014) en el sitio “La Campanita” (extremo sureste del lago) sugieren que el lago habría superado el nivel de 258.4 m (desvío estándar de 1.75m). Por otro lado, los estudios de Neukom et al. (2011) señalan la ocurrencia de episodios de veranos cálidos durante el siglo XVIII que son coherentes con la tendencia a la disminución del lago detectada por Fabiani et al. (2014). Para los periodos de menor aporte hídrico de la cuenca y más favorables a la evaporación, la extensión del lago Colhué Huapi se habría reducido activando los procesos eólicos; se acumuló material en el boquete y aumentó el nivel de desborde. En esta nueva fase el sistema describe una nueva trayectoria más compleja (Figura 9b) debajo del plano umbral y desconectándose los sistemas fluviales. En ocasión de abundancia hídrica, el sistema logra superar el umbral, se erosiona el cuerpo sedimentario acumulado en el boquete y se produce el desembalse. Esta modalidad de intermitencia habría perdurado hasta mediados del siglo XX, según ha sido documentado por Pronsato (1950).

La acción antrópica ha modificado el flujo en el interior del sistema lacustre, dirigiéndolo preferencialmente hacia el lago Musters y realizando

extracciones para consumos y fines productivos (Scordo et al., 2020; Paredes et al., 2024). En este nuevo escenario, con una merma en el aporte hídrico al lago Colhué Huapi, la trayectoria del sistema se ubica en un plano por debajo del umbral (sistemas desconectados) y se supone que el umbral ha alcanzado un nivel máximo definido por la estabilidad de los cuerpos sedimentarios (Figura 9c).

Finalmente, cabe señalar que los sistemas fluviales perennes y efímeros de la Provincia de Chubut presentan eventos de carácter torrencial y extraordinario, tal como ha sido documentado recientemente para el río Chico (Kaless et al., 2019; Sainz-Trápaga et al., 2019), el río Chubut con crecidas extraordinarias en los siglos XX y XXI (Griffiths y Tooth, 2021; Kaless, 2021) y arroyos efímeros chubutense con descarga al mar (Paredes et al., 2021) y en ambiente de meseta (Kaless, Bastida et al., 2020; Kaless y Bastida, 2017). Estos eventos, aún infrecuentes, sugieren que el sistema lacustre podría recibir un volumen hídrico ingente en el futuro, desde la cuenca alta (por aporte pluvio-nival) o lluvias extraordinarias en el extremo oriental. Por ejemplo, en el año hidrológico 2022-2023 el río Senguerr aportó un volumen de 2973 Hm³. Bajo tal hipótesis el sistema podría superar el plano umbral, verificándose una posible situación de riesgo hídrico en la planicie de Sarmiento y ulterior desembalse rápido del lago Colhué Huapi con repentina conexión del sistema Senguerr con el sistema Chubut (cambio de trayectoria, de la Figura 9c a la 9b).

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio hidrológico para evaluar la conectividad de los sistemas fluviales Senguerr-Chubut. En la actualidad los sistemas se encuentran desconectados, y el río Chico conecta la cuenca homónima con el sistema Chubut. La conexión se caracteriza por pulsos torrenciales, registrándose 17 eventos en 4 años (mayo-2020 a mayo-2024) con pico máximo de 80 m³/s, y un aporte medio anual de 20.1 Hm³.

La conexión entre los sistemas Senguerr-Chubut fue caracterizada a través de la retrodicción de paleocaudales del río Chico. Se estimó un caudal módulo de 15.6 m³/s, un caudal máximo medio mensual de 36.3 m³/s y un caudal dominante de 70 m³/s.

La (des)conexión hidrológica está regulada por la dinámica de los lagos Musters y Colhué Huapi. Entre

los factores adversos se destaca la alta tasa de evaporación anual, la elevada extensión areal de los lagos, la elevada variabilidad de la superficie del lago Colhué Huapi con el nivel de la superficie libre, el volumen necesario para llenarlo y la modificación del nivel de desborde luego de la generación de médanos en la costa oriental. Además, el módulo actual del río Senguerr es comparable a la tasa de evaporación. Por lo tanto, se estimaron probabilidades muy bajas de conectividad, salvo la ocurrencia de varios años húmedos o de eventos extraordinarios.

Hacia fines del siglo XIX inició un cambio cultural en el uso del recurso hídrico ocurrido con la creación de la Colonia agraria Sarmiento. En la actualidad, las extracciones de agua del río Senguerr representan el 18.8% de su derrame medio anual y el 9% de la máxima tasa de evaporación en el sistema lacustre.

Estos resultados sugieren que el estado de intermitencia en la conectividad de los sistemas fluviales Senguerr-Chubut sería anterior a la creación de la Colonia agrícola de Sarmiento. De este modo, la acción antrópica sobre el recurso hídrico, habría alterado solamente la dinámica interna del sistema hidrológico.

Los trabajos futuros estarán orientados hacia un abordaje más detallado del sistema, complejizando la topología interna del sistema lacustre, reduciendo la escala espacial de estudio e incorporando procesos hidrológicos y antrópicos no considerados en el presente estudio. Se espera proporcionar escenarios de riesgo hídrico (por excesos y sequías en los aportes hídricos) en un contexto de cambio climático y aumento de la presión antrópica sobre el recurso hídrico en toda la cuenca del río Senguerr.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación por proveer la información hidrológica de las estaciones de aforo consultadas. El presente estudio se realizó en el marco del Convenio Específico celebrado entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia (UNP), con el Instituto Provincial del Agua (Provincia de Chubut). También forma parte de la investigación realizada en el marco del P.I. N°1652 titulado “Cambios en la dinámica fluvial del estuario del río Chubut con la construcción de la Presa Florentino Ameghino”, avalado por Res R/ N°109-2021 – UNP.

REFERENCIAS

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cedón, E., Dolz, J. y Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 30(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>
- Bunte, K. y Abt, S. R. (2001). *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. General Technical Report. RMRS-GTR-74. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428p. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-74>
- Carlston, C. W. (1965). The relation of free meander geometry to stream discharge and its geomorphic implications. *American Journal of Science*, 263(10), 864-885. <https://doi.org/10.2475/ajs.263.10.864>
- Cea, L., Bladé, E., Sanz-Ramos, M., Fraga, I., Sañudo, E., García-Feal, O., Gómez-Gesteira, M. y González-Cao, J. (2020). *Benchmarking of the Iber capabilities for 2D free Surface flow modelling*. Servicio de Publicacións, Universidade da Coruña. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497640>
- Coronato, F. (2003). El problema de la desecación del Lago Colhué Huapi desde la geografía histórica. En *Actas de la 64ª Semana de Geografía, Congreso Nacional de Geografía*. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA, Bahía Blanca, Argentina.
- Coronato, A. M. J., Coronato, F., Mazzoni, E. y Vázquez, M. (2008). The Physical Geography of Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in Quaternary Sciences*, 11, 13-55. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(07\)10003-8](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(07)10003-8)
- Dirección Nacional de Vialidad (s.f.). *Normas de ensayos*. Dirección Nacional de Vialidad. Argentina. 243p.
- Dumrauf, C. I. (1996). *Historia de Chubut*. Editorial Plus Ultra, 2a. ed.
- Dury, G. H. (1976). Discharge prediction, present and former, from channel dimensions. *Journal of Hydrology*, 30(3), 219-245. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(76\)90102-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(76)90102-5)
- Fabiani, A. C., Burry, L. S. y Escalante A. H. (2014). Pollen and microalgae in sediments at southern margin of Colhué Huapi Lake, Chubut, Argentina. An insight to among shore comparison. *Anales del Instituto Patagonia*, 42(1), 35-52. Chile. <https://analesdelinstitutodelapatagonia.cl/index.php/analespatagonia/article/view/562>
- Fattorelli, S. y Fernández, P. (2011). *Diseño hidrológico*. 2da. Edición digital WASA-GN. ISBN 978-987-05-2738-2. <https://es.scribd.com/doc/150251801/Libro-Diseño-Hidrologico-Edicion-Digital>
- Ferguson R. I. (1975). Meander irregularity and wavelength estimation. *Journal of Hydrology*, 26(3-4), 315-333. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(75\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(75)90012-8)
- Fontana, J. L. (2006). *Viaje de exploración en la Patagonia Austral 1885-1886*. Ediciones Continente. 128p.
- González Díaz, E. F. y Di Tommaso, I. (2014). Paleogeformas lacustres en los lagos Musters y Colhué Huapi, su relación genética con un paleolago Sarmiento previo, centro-sur del Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(3). <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/411>
- Griffiths, H. M. y Tooth, S. (2021). Remembering and forgetting floods and droughts: Lessons from the Welsh colony in Patagonia. *Cultural Geographies*, 28(2). <https://doi.org/10.1177/1474474020963135>
- Heritage G., Entwistle, N., Milan, D., y Tooth, S. (2019). Quantifying and contextualising cyclonedriven, extreme flood magnitude in bedrock-influenced dryland rivers. *Advances in Water Resources*, 123, 145-159. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.11.006>
- Instituto Geográfico Nacional (2021). *Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina. Versión 2.1*. Dirección de Geodesia, Instituto Geográfico Nacional. https://www.ign.gob.ar/archivos/Informe_MDE-Ar_v2.1_30m.pdf
- James M. R. y Robson, S. (2014). Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(10), 1413-1420. <https://doi.org/10.1002/esp.3609>
- Jones, L. (2015). *La Colonia Galesa: historia de una nueva Gales en el territorio del Chubut, en la República Argentina, Sudamérica*. Editorial Gaiman: El Regional, 2da ed. – Gaiman. 306 p. ISBN 978-987-261039-5.
- Kaless, G. (2013). *Stability analysis of gravel-bed rivers: comparison between natural rivers and disturbed rivers due to human activities* [Tesis Doctoral, Università degli Studi di Padova]. <https://www.research.unipd.it/handle/11577/3422602>
- Kaless, G. (2017). Rugosidad equivalente en ríos con lecho de gravas en condiciones de flujo de cauce lleno, Casos de ríos en Patagonia. En C. M. García, P. Spalletti y H. D. Farías (Eds.), *Hidráulica de*

- Ríos: *Avances científicos, tecnológicos y metodológicos (Memorias del VIII Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos 2017)*, Córdoba, Argentina.
- Kaless, G. (2021). Crónica de las inundaciones en el Valle y la meseta del Chubut. Desde los relatos de los pioneros galeses a los informes técnicos (1865 – 2021). *Revista Párrafos Geográficos*, 20(2), 51-104. <https://www.revistas.unp.edu.ar/index.php/parrafosgeograficos/article/view/641/509>
- Kaless, G. y Bastida, R. (2017). Estimación del caudal máximo de crecidas extraordinarias en arroyos efímeros. Casos de los arroyos Salado y Verde (Patagonia Norte). *Cuaderno del Departamento de Ingeniería Civil Hidráulica, Volumen 3*(1), 59-82, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. <https://dich.edu.ar/ojs/index.php/cich/issue/view/3/3>
- Kaless, G., Bastida, R., Iglesias, S., Belcaro, F., Villar, M., Brandizi, L., Días Farías, C., Rubinch Queupan, M., Bianchi, E., Zappellini, D. y Serra, J. J. (2020). Estimación del caudal máximo de inundaciones históricas en arroyos efímeros. Casos de la Patagonia semiárida (Argentina). *Cuadernos del Departamento de Ingeniería Civil Hidráulica*, 4(1), 67-88. <https://dich.edu.ar/ojs/index.php/cich/issue/view/12/6>
- Kaless, G., Malnero, H., Frumento, O. y Pascual, M. (2024). Rainfall and hydrograph styles in ephemeral streams of the drylands of Patagonia (South America–Argentina). *Water Resources Research*, 60(8), e2024WR037601. <https://doi.org/10.1029/2024WR037601>
- Kaless, G., Pascual, M., Flaherty, S., Liberof, A. L., García Asorey, M. I., Brandizi, L. y Pessacg, N. (2019). Ecos de la tormenta de Comodoro Rivadavia en el Valle Inferior del Río Chubut. Aporte de sedimentos al Río Chubut desde la cuenca del Río Chico. En J. M. Paredes, M. L. Gallelli y M. Gómez (Eds.) *Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017. Visiones Múltiples para una ciudad en riesgo*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina. <http://hdl.handle.net/11336/107426>
- Kaless, G., Walker, D. E. y Malnero, H. A. (2020). Tras las huellas de las crecidas extraordinarias en la Patagonia semiárida (Argentina): Tipologías de improntas, modelo teórico y resultados preliminares. *Cuadernos del Departamento de Ingeniería Civil Hidráulica*, 4(1), 38-66. <https://dich.edu.ar/ojs/index.php/cich/issue/view/12/6>
- Kamphuis, J. W. (1974). Determination of sand roughness for fixed beds. *Journal of Hydraulic Research*, 12(2), 193-203. <https://doi.org/10.1080/00221687409499737>
- Keulegan, G. H. (1938). Laws of turbulent flow in open channels. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 21, Research Paper RP 1151, 707-741. Washington, D.C. <https://doi.org/10.6028/jres.021.039>
- Lauro, C., Vich, A. I. J. y Moreiras, S. M. (2019). Streamflow variability and its relationship with climate indices in western rivers of Argentina, *Hydrological Sciences Journal*, 64(5), 607-619. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1594820>
- Leopold, L. B. (1994). *A view of the River*. Harvard University Press, Cambridge.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. y Miller, J. P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. Dover Publications. 544p.
- Llanos, E., Behr, S., Gonzalez, J., Colombani, E., Buono, G. y Escobar, J. M. (2016). *Informe de las variaciones del Lago Colhué Huapi mediante sensores remotos y su relación con las precipitaciones*. <https://inta.gob.ar/documentos/informe-de-las-variaciones-del-lagocolhue-huapi-mediante-sensores-remotos-y-su-relacioncon-las-precipitaciones>
- Mardones, M., González L., King, R. y Campos, E. (2011). Variaciones glaciales durante el Holoceno en Patagonia Central, Aisén, Chile: evidencias geomorfológicas. *Andean Geology*, 38(2), 371-392. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-71062011000200007
- Markgraf, V., Platt Bradbury, J., Schwalb, A., Burns, S. J., Stern, C., Ariztegui, D., Gilli, A., Anselmetti, F., Stern, C., Ariztegui, D., Gilli, A., Anselmetti, S. F., Stine, S. y Maidana, N. (2003). Holocene palaeoclimates of southern Patagonia: limnological and environmental history of Lago Cardiel, Argentina. *Holocene*, 13(4). <https://doi.org/10.1191/0959683603hl648rp>
- Montes, A., Rodríguez, S. S. y Domínguez, C. E. (2017). Geomorphology context and characterization of dunefields developed by the southern westerlies at drying Colhué Huapi shallow lake, Patagonia Argentina. *Aeolian Research*, 28, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.08.001>
- Moreno, E. J., Pérez Ruiz, H. y Ramírez Rozzi, F. (2016). Esquema cronológico y evolución del paisaje en el Bajo de Sarmiento (Chubut). En CIEP y Nire Negro (Eds.) *Arqueología de la Patagonia: De mar a mar*, 978-956-9832-00-0, 477-486. Santiago de Chile. <https://hal.science/hal-03896518/document>

- Neukom, R., Luterbacher, J., Villalba, R., Küttel, M., Frank, D., Jones, P. D., Grosjean, M., Esper, J., Lopez, L. y Wanner, H. (2010). Multi-centennial summer and winter precipitation variability in southern South America. *Geophysical Research Letters*, 37(14). <https://doi.org/10.1029/2010GL043680>
- Neukom, R., Luterbacher, J., Villalba, R., Küttel, M., Frank, D., Jones, P. D., Grosjean, M., Wanner, H., Aravena, J.-C., Black, D. E., Christie, D. A., D'Arrigo, R., Lara, A., Morales, M., Soliz-Gamboa, C., Srur, A., Urrutia, R. y von Gunten, L. (2011). Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. *Climatic Dynamics*, 37, 35-51. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0793-3>
- Paredes, J. M., Ocampo, S. M., Foix, N., Olazábal, S. X., Valle, M. N., Montes, A. y Allard, J. O. (2021). Geomorphic and Sedimentological Impact of the 2017 Flash Flood Event in the City of Comodoro Rivadavia (Central Patagonia, Argentina). En P. Bouza, J. Rabassa y A. Bilmes (Eds.) *Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina*. Springer Earth System Sciences. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66161-8_1
- Paredes, J. M., Ocampo, S. M., Oporto Romero, F., Valle, M. N., Turra, J. M., Griznik, M., Correia, P., González Svoboda, E., Rueter, B. y Coluccio, N. (2024). *La cuenca de drenaje del río Senguerr: situación actual y perspectivas*. Informe Técnico Observatorio del agua de la Cuenca del Senguerr, FCNyCS, UNPSJB, 27p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20915.03367>
- Parker G. y Klingeman P. (1982). On why gravel bed streams are paved. *Water Resources Research*, 18(5), 1409-1423. <https://doi.org/10.1029/WR018i005p01409>
- Pessacg, N., Liberoff, A., Salvadores, F., Rimoldi, P., Brandizi, L., Alonso Roldán, V., Mac Donnell, L., Ambrosio, M., Raguileo, D., Malnero, H., Rius, P. y Díaz, L. (2021). *Emergencia Hídrica 2021-2022: Situación socio-ambiental de las cuencas de los ríos Chubut y Senguerr*. Informe técnico. Grupo técnico del Comité de Cuenca del Río Chubut. https://cenpat.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/sites/91/2022/03/Informe_Emergencia_Hidrica_Web1.pdf
- Pietrobelli, F. (2012). *Primeras exploraciones y colonizaciones de la Patagonia Central*. Rawson, Secretaría de Cultura de Chubut, 1ra. Edición, 190p, ISBN: 978-987-1412-43-3.
- Poncet, P. (2019). *modeest: Mode Estimation. R package version 2.4.0*. <https://CRAN.R-project.org/package=modeest>
- Pronsato, A. (1950). Estudio Geo-Hidrológico del Río Chubut (Parte II). *Revista de Agua y Energía, Año IV* (29).
- Roache, P. J. (1997). Quantification of uncertainty in computational fluid dynamics. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 29, 123-160. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.29.1.123>
- Roberts, T. y Gavirati, M. (2018). *Diarios del explorador Llwyd ap Iwan. Por las sendas tehuelches del Chubut, Santa Cruz y Aysén*. 2da. Edición, de Patagonia Sur Libros – La Bitácora. <https://www.scribd.com/document/430808019/Diarios-del-explorador-Llwyd-ap-Iwan-por-pdf>
- Sainz-Trápaga, J. M., Liberoff, A. L. y Flaherty, S. (2019). *Notas sobre el balance hídrico del Dique Ameghino. Reflexiones sobre la información existente y la requerida para la gestión del embalse cabecera del Valle Inferior del Río Chubut*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco y CENPAT-CONICET, 131 p.
- Scordo, F. (2018). *Dinámica integral de los recursos hídricos de la cuenca del río Senguerr* [Tesis de Doctorado]. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4386>
- Scordo, F., Seitz, C., Melo, W. D., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (2020). Natural and human impacts on the landscape evolution and hydrography of the Chico River basin (Argentinean Patagonia). *Catena*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104783>
- Valladares, A. (2004a) *Cuenca del río Chubut – Cuenca N° 65*. Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/65.pdf>
- Valladares, A. (2004b) *Cuencas de los ríos Senguerr y Chico – Cuenca N° 66*. Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/66.pdf>
- Wilcox, D. C. (2006). *Turbulence modeling for CFD*. DCW Industries. ISBN 978-1-928729-08-2. 515p. <http://servidor.demec.ufpr.br/CFD/bibliografia/Carlos%20Eduardo%20Americo/Refer%C3%Aancia%20Carlos%20Eduardo/Wilcox2006.pdf>
- Wilkinson, G. N. y Rogers, C. E. (1973). Symbolic descriptions of factorial models for analysis of

variance. *Applied Statistics*, 22(3), 392–399.
<https://doi.org/10.2307/2346786>

Wohl, E. (2014). *Rivers in the Landscape: Science and Management*. Wiley Blackwell.

Tipo de Publicación: ARTÍCULO.

Trabajo recibido el 12/12/2024, aprobado para su publicación el 16/05/2025 y publicado el 30/05/2025.

LICENCIA

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial -Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)



COMO CITAR

Kaless, G., Marguet, A. y Bastida, R. (2025). (Des)Conexión hidrológica de los sistemas fluviales Senguerr y Chubut por factores naturales y culturales en el siglo XX. *Cuadernos del CURIHAM*, 31. e08.
<https://doi.org/10.35305/curiham.v31.e08>

ROLES DE AUTORÍA

GK contribuyó en la concepción de la idea; GK y AM realizaron las actividades de campo; AM realizó la modelación hidrodinámica; GK, AM y RB realizaron en conjunto el proceso de investigación, análisis, y completaron la preparación, creación y redacción del trabajo. Los autores aprobaron la versión para ser publicada y son capaces de responder respecto a todos los aspectos del manuscrito.