



Evolución de los Recursos Hídricos en el “Bajo de Sarmiento” (Patagonia Extra Andina): Impactos Naturales y Antrópico

Evolution of Water Resources in the “Bajo de Sarmiento”
(Extraandean Patagonia): Natural and Anthropogenic Impacts

Facundo Scordo^{1,2}; Carina Seitz^{1,3}; Mariana I. Zilio^{4,5};
Walter D. Melo^{1,2}; M. Cintia Piccolo^{1,2} & Gerardo M. E. Perillo^{1,3}

¹ Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS) - CONICET,
Florida 8000 (Camino La Carrindanga km 7,5), Bahía Blanca, B8000BFW, Buenos Aires, Argentina,

² Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS),
12 de Octubre and San Juan, Bahía Blanca, B8000BFW, Buenos Aires, Argentina

³ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS),
Av. Alem, 1253, Bahía Blanca, B8000BFW, Buenos Aires, Argentina

⁴ Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (IEESS), Universidad Nacional del Sur (UNS) - CONICET,
San Andrés, 800, Altos de Palihue, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

⁵ Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur (UNS),
San Andrés, 800, Altos de Palihue, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

E-mails: scordo@agro.uba.ar; cseitz@iado-conicet.gob.ar; mzilio@uns.edu.ar;
wdmelo@iado-conicet.gob.ar; ofpiccol@criba.edu.ar; gmperillo@criba.edu.ar

Recibido em: 26/04/2017 Aprobado em: 20/06/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_106_117

Abstract

Water resources dynamics within a basin depend on natural variables (latitude, topography, and climatic variability) and the anthropic uses of those resources. Social perception on the basin environmental situation and the priority on resources use, define the degree of conservancy of water resources. Water resources conservancy is critical in the Argentinean Patagonia, where the arid conditions prevail since the early Holocene until the present. On this work, it is studied the dynamics of the hydrological resources (lakes and rivers) within the “Bajo de Sarmiento”, located in the center of Argentine’s extra Andean Patagonia. The aim of this work is to understand whether the social perception regarding the priority use of water resources is leading to management that could increase the impact that naturally affects lakes and rivers in the area by climate variability. Thus, the hidrogeomorfology dynamics of the “Bajo de Sarmiento”, derived from the combined impact of climate variability and human activity, from the Holocene to the present, was rebuilt. Geological Sheet 4569-IV Escalante, the SRTM digital terrain model (30m) and Land Sat (5-7-8) satellite images were analyzed to compare the regime of the main permanent channels described and represented in the literature and historical cartography of “Bajo de Sarmiento” with their current regimes. The data obtained were compared with fieldwork observations. On the other hand, structured survey was made to social actors related with water uses in the basin, in order to analyze the social perception on resources. The results showed that while climate variability (in particular the arid conditions prevailing since the middle Holocene) has historically been the main factor affecting the dynamics of water bodies in the area, the development of various human activities (based on the perception of the resources that the inhabitants have) have increased these effects over the past 120 years. Thus the basin has changed from exoreic to endoreic and one of the lakes located within it has been close to disappeared in 2016.

Keywords: Hydrological resources; Extra Andean Patagonia; Climate variability; Anthropic impact

Resumen

La dinámica de los recursos hídricos dentro de una cuenca depende de factores naturales (latitud, topografía, variabilidad climática) y de los usos consuntivos y no consuntivos que el hombre haga de dichos recursos. La percepción social que se tenga de la situación ambiental de la cuenca y los objetivos que se prioricen sobre el uso de los recursos, terminan definiendo su grado de conservación. Esto es especialmente crítico en la Patagonia Argentina, donde las condiciones de aridez se prevalecen desde el Holoceno temprano a la actualidad. En el presente trabajo se estudia la dinámica de los cuerpos de agua (lagos y ríos) en el “Bajo de Sarmiento”, el cual se localiza en el centro de la Patagonia extra andina. El objetivo de este trabajo es comprender si la percepción social en cuanto a la prioridad en el uso del recurso hídrico está derivando en un manejo que pudiera acrecentar el impacto que naturalmente afecta a los lagos y ríos de la zona por la variabilidad climática de la región. Para ello, se reconstruyó la dinámica hidrogeomorfológica del “Bajo de Sarmiento” derivado del impacto conjunto de la variabilidad climática y la actividad antrópica desde el Holoceno a la actualidad. Se analizó la Hoja Geológica 4569-IV Escalante, el modelo digital de terreno SRTM (30m) e imágenes satelitales Landsat (5-7-8) para comparar el régimen de los cauces permanentes principales descriptos y representados en la bibliografía y en la cartografía histórica del “Bajo de Sarmiento” con sus regímenes actuales. Los datos obtenidos se contrastaron con relevamientos en campo. Por otro lado, se realizaron encuestas estructuradas a actores sociales de la cuenca, con el fin de analizar la percepción social sobre los recursos hídricos. Los resultados permiten observar que si bien la variabilidad climática (en especial las condiciones de aridez imperantes desde el Holoceno medio) históricamente ha sido el principal factor que afecta a la dinámica de los cuerpos de agua de la zona, el desarrollo de diversas actividades humanas (basada en la percepción de los recursos que los habitantes de la cuenca tienen) han acrecentado esos efectos en los últimos 120 años. De esta manera se ha producido el cambio de régimen exorreico a endorreico de la cuenca y el retroceso de uno de sus lagos hasta casi desaparecer en el año 2016.

Palabras-Claves: Recursos hídricos; Patagonia extra andina; variabilidad climática; Impacto antrópico

1 Introducción

El análisis de la dinámica de los recursos hídricos dentro de una cuenca hidrográfica permite a los organismos idóneos realizar un plan de manejo en función de necesidades específicas. Las características de estos recursos depende principalmente de la latitud, la topografía, la variabilidad climática, etc. (Strahler, 1986). Por otra parte, el hombre hace usos consuntivos y no consuntivos de los recursos y construye obras de infraestructura para su explotación. Dependiendo de si estas acciones son llevadas a cabo en el marco de un plan de manejo, el efecto de la variabilidad natural que presenta el recurso puede ser eventualmente controlada o intensificada (UNEP, 2014). Por otro lado, la percepción social que se tenga de la situación ambiental de la cuenca y los objetivos que se prioricen en las decisiones acerca del uso de los recursos, terminan definiendo las políticas de manejo y, en última instancia, su grado de conservación (Poff *et al.*, 2003; Pahl-Wolst *et al.*, 2008; Blackstock *et al.*, 2015).

Comprender la variabilidad climática y su impacto sobre los recursos naturales de un sistema ecológico desde la visión de los actores sociales y tomadores de decisión es fundamental para determinar su dinámica (Leiserowitz, 2006). En el caso particular del manejo de cuencas hídricas, la incorporación de actores sociales en la investigación científica ha tenido un notorio desarrollo (Calheiros *et al.*, 2000; Abers, 2007; Sneddon & Fox, 2007; Voinov & Gaddis, 2008; Mutekanga *et al.*, 2013; Blackstock *et al.*, 2015, entre otros). Esto se debe a que, en función de su percepción, los actores sociales toman distintas decisiones en cuanto al manejo de los recursos, con el fin de adaptarse o mitigar los impactos de la variabilidad climática (Moser, 2006).

La Patagonia Argentina es una región semiárida. Dicha condición se estima prevalece desde el Holoceno medio (Markgraf *et al.*, 2003) hasta la actualidad (Tejedo, 2003; Coronato, 2003). Esto impacta de manera crítica sobre los recursos hídricos de la región (Dore, 2005; Compagnucci & Araneo, 2007; Araneo & Compagnucci, 2008, Scordo *et al.*, 2014) y sobre su disponibilidad para el aprovechamiento antrópico. Así mismo determinadas zonas de la región Patagónica Argentina se están poblando en forma significativa debido a nuevos

emprendimientos petroleros, mineros e industriales. Estas actividades demandan un gran uso de recursos hídricos asociados a ríos y lagos. Por ejemplo, la necesidad de energía eléctrica requiere la construcción de embalses y las poblaciones en crecimiento necesitan agua potable para consumo. Ambos aspectos necesariamente van a modificar las variaciones naturales de estos recursos.

En el presente trabajo se estudia la dinámica de los cuerpos de agua (lagos y ríos) en la cuenca baja del Río Senguer, también denominada “Bajo de Sarmiento” (Figura 1). Esta área está localizada entre las latitudes 44 - 46° S y las longitudes 69° 30 - 66°30 O, en el centro oeste de la provincia de Chubut, Argentina. En ella se encuentran los lagos Musters y Colhué Huapí, los dos mayores cuerpos de agua dulce de toda la Patagonia extra andina Argentina. La zona recibe agua del río Senguer cuya naciente se origina en el lago Fontana, en la cordillera de los Andes y llega al “Bajo de Sarmiento” luego de rodear las Sierras de San Bernardo y atravesar la zona del “Codo del Senguer”, desaguando en el lago Musters por su costa sur (Figura 1). Cincuenta metros antes de dicha desembocadura nace hacia el este el río “Falso Senguer” principal afluente del lago Colhué Huapí. Antiguamente en la costa Este del lago Colhué Huapí nacía el Río Chico que en dirección noreste, transportaba el agua del lago hacia el río Chubut y finalmente al Océano Atlántico (Valladares, 2004). Actualmente el río Chico se encuentra seco y desconectado del lago, recibiendo aportes ocasionales de drenajes locales (Tejedo, 2003; Valladares, 2004). Las precipitaciones en el “Bajo de Sarmiento” son de aproximadamente 150 mm anuales (Valladares, 2004; Scordo *et al.*, 2014). Por lo que el caudal del río Senguer es principalmente aportado por el derretimiento de las nieves invernales de la cordillera de los Andes.

El lago Musters tiene 35 m de profundidad y una superficie de 420 km². Su origen es tectónico y está rodeado por el Oeste por elevaciones que alcanzan los 900 m. Su costa Sur forma parte del abanico aluvial del río Senguer. Por el contrario, el Colhué Huapí es un lago somero (2 m de profundidad) y de mayor superficie (720 km²). También tiene un origen tectónico que posteriormente fue profundizado por acción eólica y fluvial (González Díaz & Di Tomasso, 2014). A excepción de la costa Norte donde se encuentran elevaciones de 500 m, la costa

del lago presenta suaves elevaciones. En su costa Este se observa la formación de médanos y sus costas Sur y Oeste forman parte del abanico aluvial del Río Senguer. Estas diferencias en las características físicas de los dos lagos hacen que su dinámica frente a la variabilidad climática sea diferente. En períodos de escasez de agua el lago somero es el más afectado por el viento y la evaporación (Tejedo, 2003; Scordo *et al.*, 2015).

La variabilidad climática históricamente ha impactado sobre los cuerpos de agua de este área generando variaciones en el caudal del río Senguer y en el área de los lagos, en especial en el Colhué Huapí (Tejedo, 2003; Coronato, 2003; Scordo *et al.*, 2015). Al efecto de las fluctuaciones naturales, se le ha sumado el impacto antrópico producido desde el asentamiento permanente del hombre a principios de siglo XX, especialmente en el “Bajo de Sarmiento”. Cabe destacar que se estima que en este sector de la cuenca se utiliza el 85 % del total del agua extraída en la misma. El aumento de la actividad agrícola ganadera, junto al actual gran desarrollo petrolero que está teniendo la zona y el incipiente turismo, pareciera estar generando cambios drásticos en los cuerpos de agua. Del lago Musters se extrae agua para abastecer a 350.000 habitantes de los principales centros urbanos regionales. En el año 2001, el nivel de agua de dicho lago disminuyó y comprometió la toma de agua. Desde entonces se ha tratado de mantener la cota del lago Musters por encima de un nivel crítico, en detrimento del caudal del río “Falso Senguer” y, por consecuencia del lago “Colhué Huapí”. Esta situación genera una serie de conflictos sociales, no solo entre aquellos que utilizan el agua para diferentes fines, sino entre los habitantes de los distintos sectores de la cuenca y también entre los que desean evitar la desaparición del lago Colhué Huapí. Razón por la cual en la región se encuentra institucionalizado desde el año 2012 el Comité de Cuenca del Río Senguer.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es comprender si la percepción social en cuanto a la prioridad en el uso del recurso hídrico está derivando en un manejo que pudiera acrecentar el impacto que naturalmente ya sufre el lago Colhué Huapí (y por consecuencia los ríos Falso Senguer y Chico) por la variabilidad climática de la región. Para ello se estudia la dinámica hidrogeomorfológica del “Bajo de Sarmiento” reconstruyendo el proceso evolutivo

de los recursos hídricos derivado del impacto conjunto de la variabilidad climática y la actividad antrópica. Por otro lado, el relevamiento y análisis de la percepción social de la cuenca permitirá realizar un estudio integrado de la problemática. La hipótesis del trabajo es que si bien la variabilidad climática (en especial las condiciones de aridez imperantes desde el Holoceno medio a la actualidad) históricamente ha sido el principal factor que afecta a la dinámica de los cuerpos de agua en el “Bajo de Sarmiento”, el desarrollo de diversas actividades humanas (basada en la percepción de los recursos que los habitantes de la cuenca tienen) han acrecentado esos efectos en los últimos 120 años. De esta manera se ha producido el cambio de régimen de permanente a semipermanente del río Falso Senguer e intermitente del río Chico y el paulatino retroceso del lago Colhué Huapí, hasta casi desaparecer en el año 2016.

2 Material y Métodos

Para el estudio de las variaciones hidrogeomorfológicas de los lagos y la definición del régimen actual de los cauces de la Cuenca del Río Senguer se analizaron imágenes satelitales Landsat-5, Landsat-7 y Landsat-8 provistas por el United State Geological Service (USGS, 2016), así como el modelo digital de terreno Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 30 x 30 m) (USGS, 2016). También se consultó la Hoja Geológica 4569-IV Escalante (Sciutto, 2008). Se comparó el régimen de los cauces permanentes principales descriptos y representados en la bibliografía y en la cartografía histórica del “Bajo de Sarmiento” con sus regímenes actuales. Se integró la información en un sistema de información geográfica (ArcGis 10.2). Los datos obtenidos se contrastaron con relevamientos en campo.

El módulo, el mínimo y el máximo del caudal del Río Senguer se obtuvo a partir de los datos proporcionados por la estación fluviométrica Los Molinos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH, 2016) de la Nación Argentina (serie de tiempo disponible 1986-2014). Dicha estación se localiza antes del ingreso del río al cono aluvial en los 45° 59' 27" S - 69° 30' O (Figura 1).

Por otro lado, para alcanzar una comprensión total de la dinámica de la cuenca, se realizó un estudio basado en la percepción sobre los recursos hídricos que tienen los actores sociales y tomadores de decisiones de la cuenca. Recurriendo a técnicas de recopilación de información cualitativa provistas

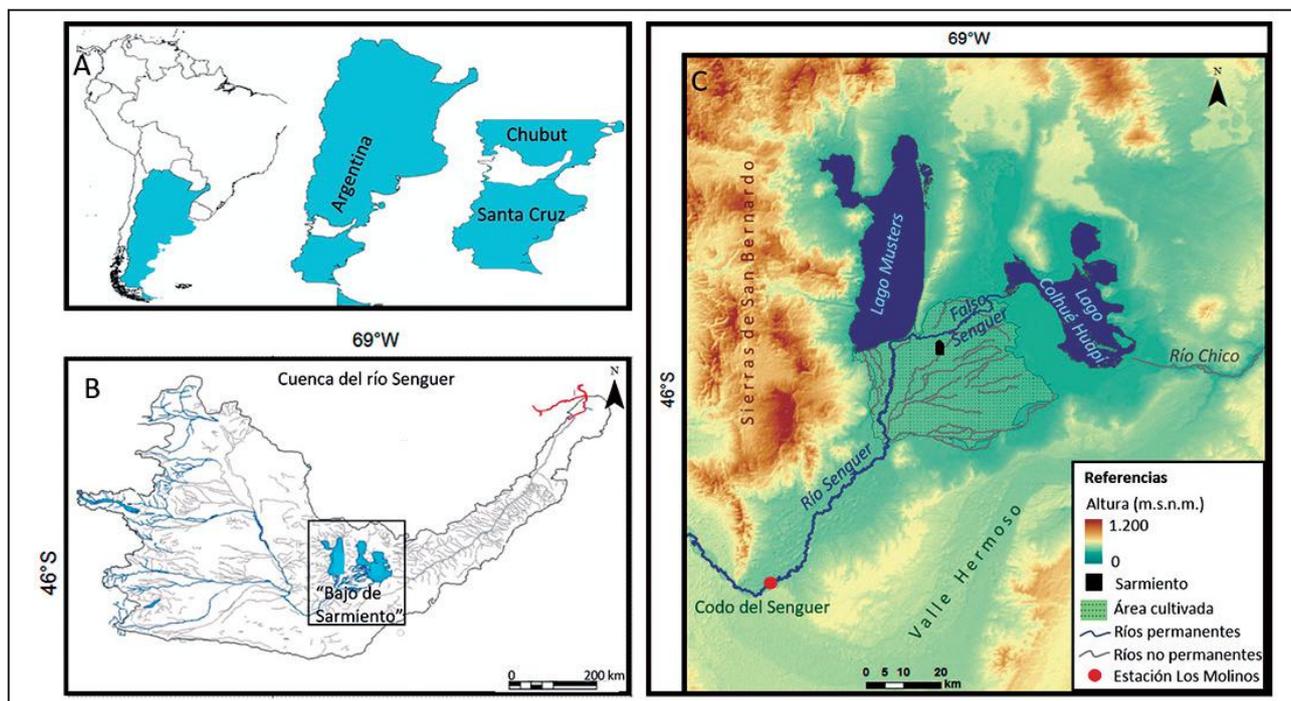


Figura 1 Localización del área de estudio (“Bajo de Sarmiento”); A. Localización de la Cuenca del Río Senguer; B. Localización de “Bajo de Sarmiento”; C. “Bajo de Sarmiento”: se observa la llegada del Río Senguer de régimen permanente, desde el “Codo” en dirección SO-NE hacia el lago Musters; previamente parte del caudal se desvía por el Falso Senguer en dirección al Lago Colhué Huapí; también se observan cauces no permanentes abandonados y el río Chico actualmente de régimen intermitente; esta figura no representa la situación actual de los lagos, solo es un esquema que se utiliza para mostrar la localización del área de estudio; elaboración propia sobre la base de SRTM (USGS, 2016) y SIG 250 (IGN, 2016).

por la investigación acción-participativa (Ander-Egg, 2012), se realizaron entrevistas personales semi-estructuradas a actores sociales de la región previamente identificados tras una tarea de mapeo que también implicó la identificación de interacciones entre actores, variaciones espacio-temporales de dichas interacciones (Quintana Peña, 2006) e identificación de las principales actividades realizadas en el área de estudio. Todos los actores sociales y tomadores de decisiones entrevistados son representantes del Comité de Cuenca del Río Senguer o de las mesas de desarrollo de las localidades representadas en el comité. Las entrevistas estaban dirigidas a saber si la existencia de una percepción diferenciada en cuanto a la importancia de los lagos Musters y Colhué Huapí, está derivando en un manejo del recurso hídrico que pudiera acrecentar el impacto que naturalmente ya sufre el Colhué Huapí (y por consecuencia los ríos Falso Senguer y Chico) por la variabilidad climática de la región.

Las entrevistas fueron realizadas en forma individual en el marco de las campañas realizadas al área de estudio y guiadas por un cuestionario previamente diseñado que brindó lineamientos

generales para el relevamiento de la percepción de cada uno de los entrevistados. A su vez, el desarrollo de la entrevista permitió la apertura de las respuestas con el objetivo de captar el mayor volumen posible de información, motivo por el cual la opción de entrevista prevaleció sobre la de encuesta, dando más posibilidades de indagación a los investigadores. (Martínez Rodríguez, 2011). Por otra parte, la información recabada en el relevamiento de campo sirvió asimismo para obtener mayor precisión sobre las fechas de las construcciones de obras de infraestructura, eventos climáticos y nuevos puntos de conflicto que no habían sido abarcados en un primer momento y contribuyeron al ajuste del modelo evolutivo construido.

3 Resultados

3.1 Esquema Evolutivo de los Recursos Hídricos en el “Bajo de Sarmiento” Desde el Holoceno Temprano a la Actualidad

La cuenca del río Senguer y en especial su sector más distal, el “Bajo de Sarmiento”, desde sus orígenes ha presentado una activa dinámica

geomorfológica. Tomando como referencia el esquema de González Díaz & Di Tommaso (2014), a continuación se presenta un esquema evolutivo del “Bajo de Sarmiento” desde la captura del río Senguer en el Holoceno temprano hasta la actualidad (Figura 2). En las primeras etapas solo se observa el efecto de la variabilidad natural del sistema. A partir del 1900, luego del asentamiento permanente del hombre en el “Bajo de Sarmiento”, se puede observar el efecto de la variabilidad climática junto al impacto antrópico. La evolución del “Bajo de Sarmiento” ha sido dividida a los fines de este trabajo en distintos estadios caracterizados por cambios en la hidrogeomorfología del área derivados de las variaciones climáticas y/o antrópicas. En la Tabla 1 se encuentra resumido el modo en que quedó conformado el sistema en cada uno de estos períodos, cuáles fueron las condiciones climáticas imperantes en la zona, los impactos antrópicos (en caso de haberlos) y los mayores cambios hidrogeomorfológicos desarrollados.

3.1.1 10.000 a 6000 Años AP: Sistema Río Senguer –Paleolago Sarmiento – Río Chico

La inundación de las depresiones estructurales del “Bajo de Sarmiento” y la conformación del paleolago Sarmiento de acuerdo con González Díaz & Di Tommaso (2014) se habría producido en el Holoceno temprano (10.000 a 8.500 años AP) como consecuencia de la captura del Río Senguer en la zona del Codo del Senguer (Figura 2A). Esto habría ocasionado un cambio en el drenaje del río Senguer abandonando su recorrido a través del denominado Valle Hermoso y dando lugar al sistema río Senguer - Paleolago Sarmiento - río Chico. Dicho paleolago alcanzaba aproximadamente la cota actual de 330 msnm (Sciutto, 2008; González Díaz & Di Tommaso, 2014) y ocupaba una superficie aproximada de 4300 km². Con esta configuración la cuenca del río Senguer era exorreica, con su área de aporte en la Cordillera de los Andes y conectada aguas abajo con el Río Chubut y su posterior desembocadura en el Océano Atlántico (González Díaz & Di Tommaso, 2014).

3.1.2 6000 AP a 1900: Río Senguer – Abanico Aluvial – Lago Musters/Lago Colhué Huapí – Río Chico

A partir del Holoceno medio condiciones de aridez en la región, que se continúan hasta la

actualidad, determinan un menor aporte hídrico por parte del río Senguer al paleolago Sarmiento con la consecuente disminución de su extensión y profundidad (Tejedo, 2003; González Díaz & Di Tommaso, 2014). La disminución del caudal del río Senguer junto con la retracción del paleolago da origen al desarrollo de un abanico aluvial en la antigua planicie lacustre. La progresiva retracción del lago y el mayor desarrollo del abanico aluvial dio lugar a la individualización de los lagos Musters y Colhué Huapí (Figura 2B).

El canal principal del abanico aluvial desarrollado por el río Senguer desembocaba en el Lago Musters y una red de canales secundarios aportaban agua al lago Colhué Huapí (González Díaz & Di Tommaso, 2014). De esta manera queda conformado lo que en este trabajo se denomina sistema Río Senguer - abanico aluvial - lago Musters/lago Colhué Huapí – Río Chico, aún de condición exorreica (Figura 2B).

3.1.3 1900– 1960: Río Senguer – Lago Musters/Falso Senguer – Lago Colhué Huapí

Las condiciones de déficit hídrico que comenzaron en el Holoceno medio continuaron y se profundizó la individualidad de los lagos Musters y Colhué Huapí. Sin embargo el sistema continuó con su régimen exorreico hasta mediados de siglo XX.

En las primeras décadas del siglo XX se empiezan a asentar de forma permanente pobladores sobre el abanico aluvial del río Senguer y se funda la Colonia Pastoral Sarmiento (actualmente Sarmiento). En sus alrededores se desarrolló históricamente la ganadería y el cultivo de pasturas y frutales (Valladares, 2004). Durante los primeros años la presencia del hombre y las actividades productivas en el área no generaron mayores cambios en la dinámica hidrológica de la cuenca y el sistema era controlado enteramente por factores naturales.

A mediados de 1930 se construyó la actual Ruta Nacional N°26 (antigua Ruta Provincial N°20) que une la ciudad de Sarmiento con Comodoro Rivadavia. En sentido noroeste – sureste, la ruta atraviesa el abanico aluvial del río Senguer sobre los antiguos cursos secundarios que fluían hacia el Colhué Huapí. Dicha ruta posee escasas y

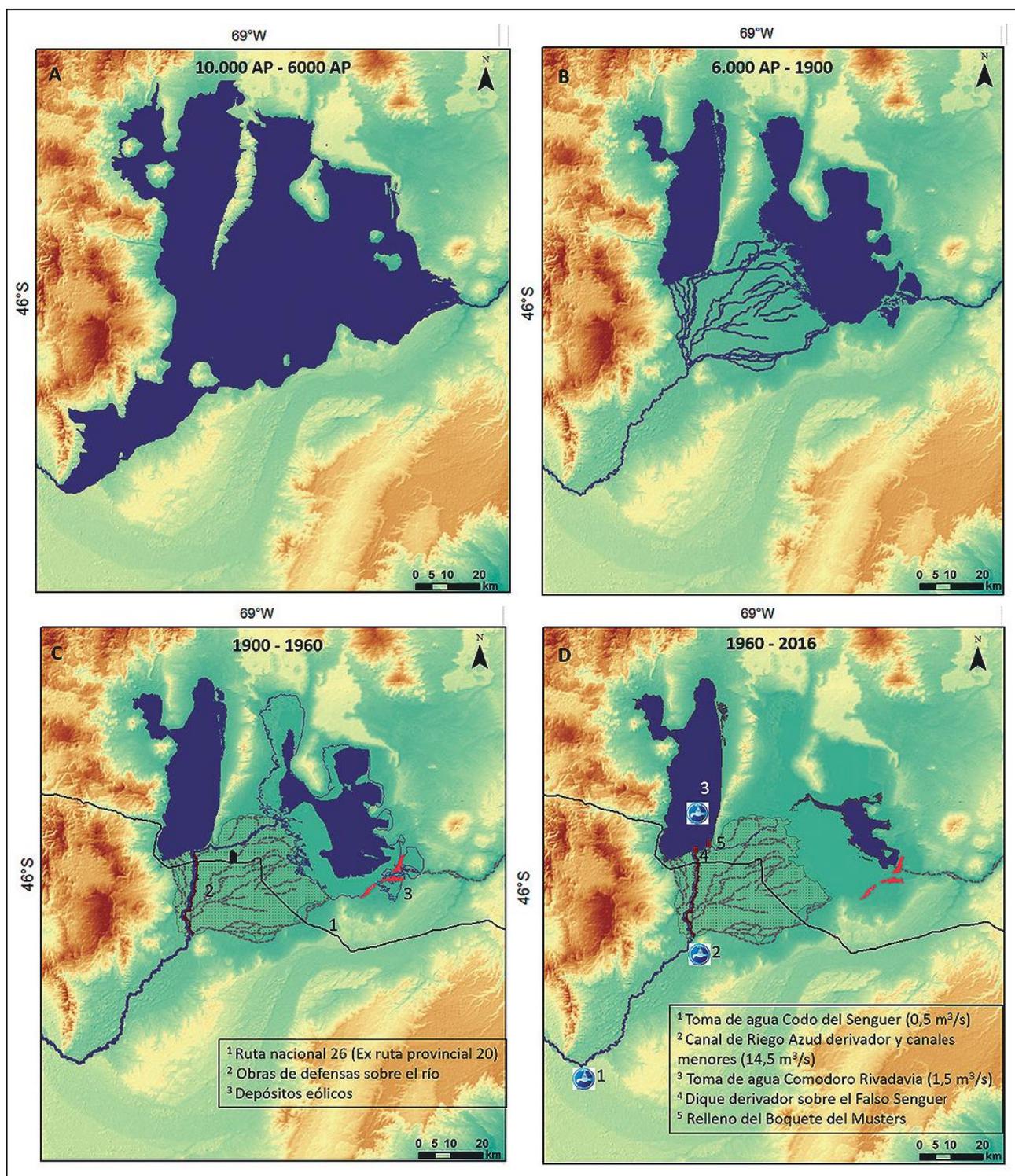


Figura 2 Esquema evolutivo de los cuerpos de aguas en el “Bajo de Sarmiento”; A. Sistema río Senguer – paleolago Sarmiento – río Chico de régimen exorreico, luego de la captura del Senguer (Holoceno temprano); B. río Senguer- abanico Aluvial – lago Musters/lago Colhué Huapí – río Chico de régimen exorreico (Holoceno medio); condiciones de aridez, retroceso de los lagos e individualización de los mismos; C. Sistema río Senguer – lago Musters/Falso Senguer – lago Colhué Huapí, de régimen endorreico; generación de obras de infraestructura con obstaculización del drenaje al Lago Colhué Huapí; consecuente retracción del área del Colhué Huapí, y generación de depósitos eólicos que ocasionan la desconexión del lago y el río Chico (1960); D. Sistema río Senguer – lago Musters de régimen endorreico; incremento de infraestructura y captaciones de agua que disminuyen el caudal del Falso Senguer y lago Colhué Huapí se retrotrae hasta casi desaparecer (2016); elaboración propia sobre la base de SRTM (USGS, 2016), SIG 250 (IGN, 2016) e imágenes satelitales LandSat (USGS, 2016), datos de entrevistas y relevamientos a campo.

deficientes alcantarillas, de modo que obstaculiza el escurrimiento superficial generando una serie de mallines aguas arriba de las mismas y provocando la desconexión de los cursos con el lago Colhué Huapí (Figuras 3A-B). Por otro lado, en la década de 1930 se produce una serie de grandes crecidas del río Senguer que inundaron Colonia Sarmiento. Para mitigar las crecidas durante esta época se construyeron defensas sobre el abanico aluvial concentrando todo el caudal que se distribuía por los canales secundarios del abanico aluvial hacia el canal principal y, consecuentemente, reduciendo el caudal aportado al lago Colhué Huapí (información obtenida a partir de encuestas y entrevistas) (Figura 3C). De este modo, la mayor parte del caudal de la cuenca se concentró en el canal principal del abanico aluvial. Cincuenta metros antes de su desembocadura en el lago Musters diverge hacia el este por un único canal secundario que se conoce con el nombre de “Falso Senguer” y que terminaba aportando su caudal en el lago Colhué Huapí. De este modo el Falso Senguer quedó como el único curso de importancia que aportaba aguas a dicho lago.

Esta disminución de la llegada de agua al Colhué Huapí favoreció a que, en épocas de extrema

sequía, el lago viera su superficie reducida en gran medida quedando material disponible para la erosión eólica. La acumulación y avance hacia el este de los depósitos eólicos generados por dichos procesos terminó por generar la desconexión del lago Colhué Huapí y el río Chico al colmatarse el nacimiento de este último (Figura 3D). Hasta mediados de la década de 1930 el río Chico se lo cartografió como de régimen permanente (Lefrancois & Porri, 1928) y a partir de 1948 el Instituto Geográfico Militar (actual IGN) lo cartografió como de régimen intermitente, ya que solo recibe aportes de las escasas precipitaciones locales. De esta manera queda conformado el sistema Río Senguer – lago Musters/ Falso Senguer – lago Colhué Huapí, por primera vez de condición endorreica (Figura 2C).

3.1.4 1960-2016: Río Senguer-Lago Musters

El módulo del río Senguer, previo a ingresar a la zona del abanico aluvial, es de 50 m³/s y el caudal medio anual fluctúa entre 30 y 80 m³/s, de acuerdo con los datos de la estación fluviométrica Los Molinos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos

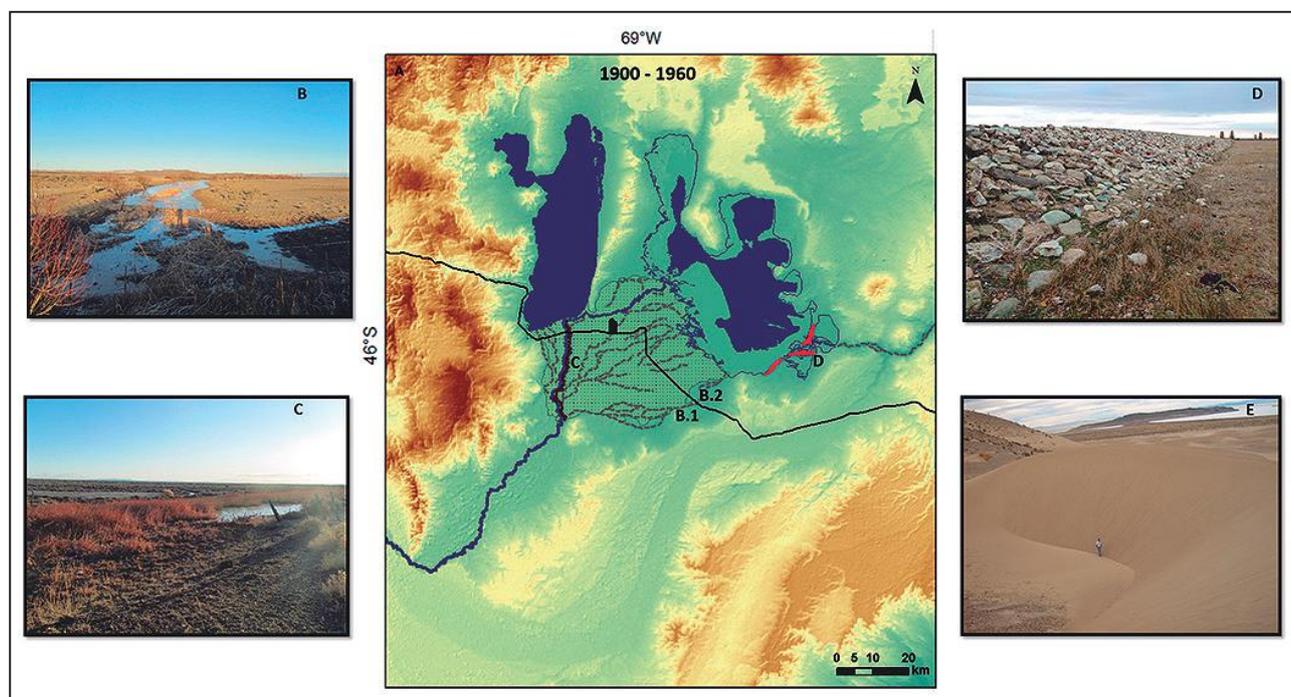


Figura 3 (A) (1900– 1960) Río Senguer – lago Musters / Falso Senguer – lago Colhué Huapí; (B) Curso natural al oeste de la Ruta n°26 con agua; (C) Mismo curso natural al este de la Ruta n° 26 seco; (D) Defensas sobre la margen este del río Senguer; (E) Médanos que colmatan la salida de agua hacia el río Chico; elaboración propia sobre la base de SRTM (USGS, 2016), SIG 250 (IGN, 2016), datos de entrevistas y relevamientos a campo.

(SSRH, 2016) de la Nación Argentina (período 1986-2014). Dichas variaciones están asociadas con los fenómenos climáticos Oscilación Antártica (AAO) y El Niño- Oscilación del Sur (ENOS) (Compagnucci & Araneo, 2007; Scordo *et al.*, 2015). El caudal aumenta luego de ser precedido por años de eventos AAO o ENOS negativos. Por lo contrario el caudal disminuye luego de ser precedido por años de eventos AAO o ENOS positivos. El caudal del río Senguer es la variable que más se correlacionó con las fluctuaciones en el área de los lagos Musters y Colhué Huapí (Scordo *et al.*, 2015).

En la actualidad se hace un uso intensivo del recurso hídrico de la cuenca del río Senguer (Figura 4A). En la cuenca alta y media se extrae el agua para la inundación de los terrenos y creación de mallines que sirven de alimento al ganado. No hay organismo que controle esta toma de agua ni hay mediciones concretas del caudal que se extrae, estimándose que los productores ganaderos aguas arriba de la cuenca extraen aproximadamente 2 m³/s. En la zona del Codo del Senguer se extrae agua para las empresas petroleras ubicadas al norte de la provincia de Santa Cruz (0,5m³/s) (Figura 4B). En el año 1985 se construyó un canal matriz de riego para el “Bajo de Sarmiento” (Azud derivador), el cual en época de riego (Septiembre-Febrero) extrae 11 m³/s de agua (Figura 4C). Otros tres antiguos canales de riego extraen agua río abajo (1 m³/s c/u). Del Lago Musters se extrae 1,5 m³/s de agua para abastecer a 350.000 habitantes de Colonia Sarmiento, Comodoro Rivadavia, Caleta Oliva y Rada Tilly, y para el uso de las empresas petroleras de la provincia del Chubut (Figura 4D). Sobre el río Falso Senguer se ha realizado una toma de agua para riego de 0,5 m³/s. Si bien se extraen 14,5 m³/s para riego en el “Bajo de Sarmiento”, las obras de canales de retorno que debían llevar el excedente de agua hacia el Colhué Huapí o el Falso Senguer se encuentran mayormente inoperables. En total se estima que en la Cuenca del Río Senguer se hace una extracción aproximada de 18,5 m³/s de agua.

Otras dos obras de infraestructura se han llevado a cabo con el fin de concentrar el agua hacia el lago “Musters” y de esta manera evitar que disminuya el nivel del lago y se comprometa la toma de agua para consumo humano. Estas obras son: (i) el “dique derivador” sobre el “Falso Senguer” (2012), que impide que el agua fluya hacia este último curso

de agua (Figura 4E); (ii) el “Relleno del Boquete del Musters” (2001) (Figura 4F), por el cual, debido al cambio de pendiente, el agua retornaba del Lago Musters hacia el “Falso Río Senguer” al disminuir el nivel del agua del río.

La conjunción de períodos de condiciones hídricas desfavorables (caudal del río Senguer de 30 m³/s), el uso consuntivo del agua (18,5 m³/s) y las obras de infraestructura que se han hecho en función de concentrar el agua del río Senguer hacia el Musters provocan cambios significativos sobre el “Falso Senguer” y el lago “Colhué Huapí”. El primero no recibe aportes del río Senguer en determinados períodos del año (abril-mayo), siendo su curso alimentado sólo por infiltración y los escasos canales operativos de retorno del riego. Por otro lado, el lago Colhué Huapí presenta desde el 2007, 9 años de retroceso de su superficie y en enero del 2016 la misma era de 270 km² y 30 cm de profundidad. Esto ha llevado a que durante ciertos momentos del año el sistema quede conformado solo por el Río Senguer – lago Musters (Figura 2D).

3.2 Análisis de Entrevistas a Actores Sociales

El trabajo de campo y las entrevistas con distintos actores sociales y tomadores de decisión permitió identificar que la Cuenca del río Senguer cuenta con un Comité de Cuenca conformado desde el año 2012. A su vez cada localidad dentro de la cuenca dispone de mesas de desarrollo locales con representantes en el comité. Siguiendo el marco de la gobernanza territorial del recurso (Bustos Cara, 2009) se analizó si en el comité y en las mesas de desarrollo se encontraban representadas todas las esferas de acción (colectivas, públicas y privadas) así como agentes de desarrollo, necesarios para llevar a cabo un manejo integral y participativo del recurso hídrico en la cuenca.

Se identificó al Instituto Provincial del Agua como posible agente de desarrollo y moderador del comité; la secretaría de Pesca Continental, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y representantes de los distintos municipios (actores públicos); representantes de la Sociedad Rural, empresas petroleras y cooperativas de energía y agua (actores privados); auto convocados por el agua del río Senguer (actores colectivos). La política de uso del recurso hídrico en el “Bajo de Sarmiento”

Evolución de los Recursos Hídricos en el “Bajo de Sarmiento” (Patagonia Extra Andina): Impactos Naturales y Antrópico
 Facundo Scordo; Carina Seitz; Mariana I. Zilio; Walter D. Melo; M. Cintia Piccolo & Gerardo M. E. Perillo

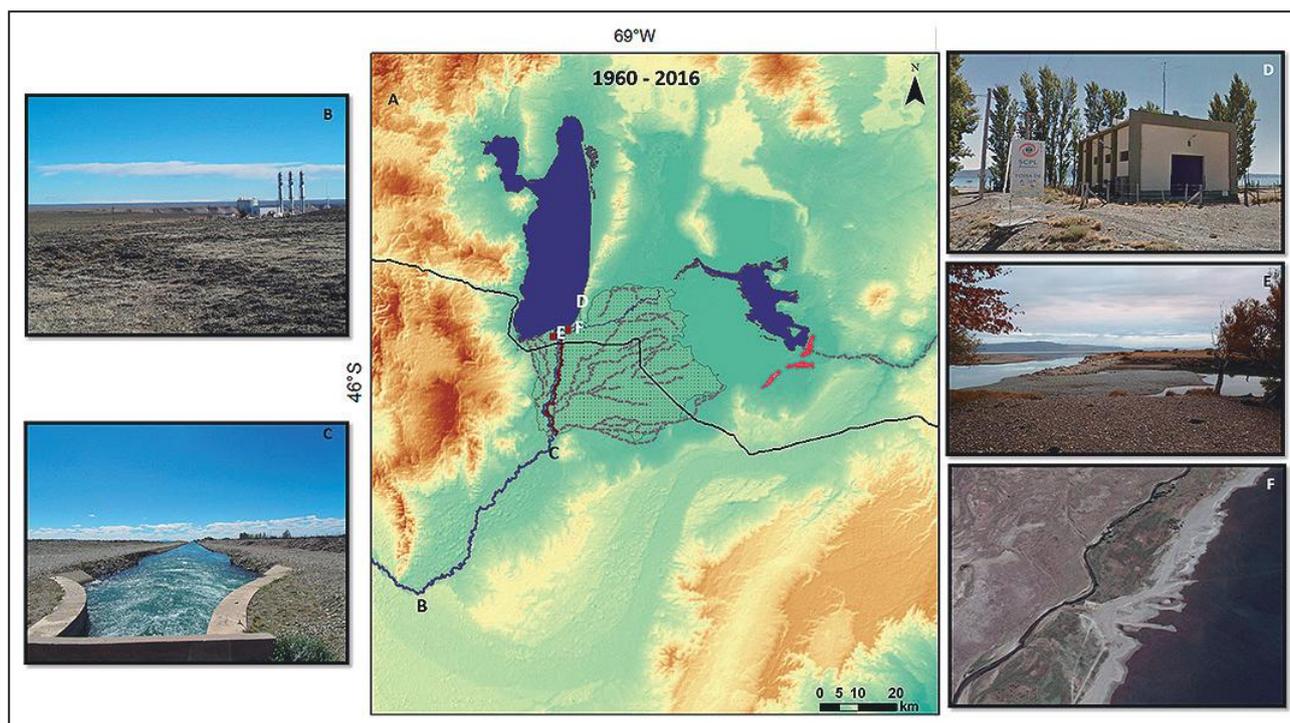


Figura 4 (A). (1960-2016) - Río Senguer-lago Musters; (B) Toma de Agua en el Codo del Senguer (0,5m³/s); (C) Azud derivador canal de riego (junto a otras tres tomas menores de riego extraen 14,5 m³/s); (D) Toma de agua (extrae 1,5 m³/s); (E) Dique derivador sobre el Falso Senguer (realizado en 2012); (F) Relleno del Boquete del lago Musters (2001); elaboración propia sobre la base de SRTM (USGS, 2016), SIG 250 (IGN, 2016), imágenes satelitales Landsat (USGS, 2016), datos de entrevistas y relevamientos a campo.

Período	Condiciones climáticas	Efecto antrópico	Evento hidrológico	Sistema final
10.000 - 6000 AP (Holoceno temprano)	<ul style="list-style-type: none"> Período post glacial Exceso hídrico. 		<ul style="list-style-type: none"> Captura del río Senguer. Formación del paleolago Sarmiento 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema río Senguer - paleolago Sarmiento -Río Chico (exorreico).
6000 AP - 1900 (Holoceno tardío)	<ul style="list-style-type: none"> Comienza el período de aridez imperante en la Patagonia que dura hasta la actualidad. 		<ul style="list-style-type: none"> Retroceso del paleolago Comienzo de la individualización del lago Musters y Colhué Huapí Formación de abanico aluvial en el bajo de Sarmiento río Senguer desagua en el lago Musters ríos secundarios desagua en el lago Colhué Huapí 	<ul style="list-style-type: none"> Río Senguer- abanico aluvial - lago Musters / lago Colhué Huapí - Río Chico (exorreico).
1900-1960	<ul style="list-style-type: none"> Variabilidad de los recurso hídricos asociada al efecto del AAO y el ENSO 	<ul style="list-style-type: none"> Obras de defensas (1930) Construcción de ruta nacional n°26 (antigua ruta provincial n°20) (1930) 	<ul style="list-style-type: none"> Desecamiento de cauces secundarios que desaguaban en el Colhué Huapí, recibiendo solo aportes a través del "Falso Senguer" Removilización de material de la paleoplanicie lacutre con la generación de médanos que obsturan el nacimiento del río Chico Desecamiento del río Chico Cambio de la cuenca de régimen exorreico a endorreica 	<ul style="list-style-type: none"> Río Senguer - lago Musters / Falso Senguer - lago Colhué Huapí (endorreico).
1960-2016	<ul style="list-style-type: none"> Variabilidad de los recurso hídricos asociada al efecto del AAO y el ENSO 	<ul style="list-style-type: none"> Intensificación en el uso consuntivo del agua Relleno del "Boquete del Musters" (2001) Dique derivador sobre el nacimiento del Falso Senguer (2012) 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio a régimen semipermanente del "Falso Senguer" Reducción crítica del área del Colhué Huapí (2016) 	<ul style="list-style-type: none"> Ro Senguer- lago Musters (endorreico).

Tabla 1 Resumen de la conformación del sistema en los períodos de tiempo estudiados, condiciones climáticas imperantes en la zona, impactos antrópicos y cambios hidrogeomorfológicos desarrollados.

está mayormente ligada a las decisiones de este comité, especialmente a las regulaciones que impone el Instituto Provincial del Agua.

Cabe destacar que el comité no ha tenido un funcionamiento continuo sino que su actividad se ha visto impulsada según el desarrollo de eventos hídricos críticos como la sequía del lago Colhué Huapí. Con lo cual las actividades que se fomentan desde el mismo están destinadas a la mitigación de dichos eventos y no al desarrollo de un plan de manejo hídrico integral de la cuenca.

Las entrevistas, enfocadas en la problemática de la desecación del lago Colhué Huapí, arrojaron algunos resultados preliminares que indican que la totalidad de los actores sociales claves de la región creen que la disminución extrema del caudal del río Senguer puede producir la desaparición temporal del lago Colhué Huapí y que esto se debe al conjunto de causas naturales y antrópicas. El 30 % de los entrevistados considera que el lago no puede desaparecer ya que cumple una función clave en el ecosistema de mantenimiento de la biodiversidad y disminución de la erosión y, por otro lado, lo consideran de importancia cultural (especialmente para los habitantes de Sarmiento) y económica para los productores localizados al este del lago. El restante 70 % de los entrevistados no consideró importante la desaparición del lago y solo un 25 % de ellos respondió que la desaparición afecta a los productores ganaderos al este del lago. Pero frases como “afecta sólo a los productores del Este (que son pocos)”, son frecuentes en las respuestas. Dando a entender que ese impacto es de menor relevancia comparado con otros usos del agua.

La permanencia o desaparición del lago no afecta de manera directa a la mayoría de los entrevistados quienes, además, consideran que el lago no presenta interés general para los habitantes de la región. Esto se debe a que, para estos actores, la prioridad en el uso del agua es el consumo humano y la producción agrícola. El agua se toma del lago Musters y la producción agrícola se produce en mayor escala antes de que el agua alcance el Colhué Huapí. Por otro lado, el lago Musters tiene una mayor carga paisajística y mejores accesos para la práctica de deportes, pesca comercial o recreativa que el lago Colhué Huapí. Es por eso que si bien estos actores sociales destacan la importancia de la

dsecación del Colhué Huapí como una pérdida de un lugar de pertenencia, no consideran una prioridad mantener este lago con agua.

4 Discusión

Desde que se produjo la captura del río Senguer (hace 11.200 años) y la conformación del paleolago Sarmiento, hasta la actualidad, las variaciones climáticas han sido elementos claves en la dinámica hídrica del “Bajo de Sarmiento”. Los dos primeros estadios descriptos en el presente trabajo (Holoceno temprano y Holoceno medio) demuestran que las condiciones de aridez y la retracción del área de los lagos localizados en el “Bajo de Sarmiento” en el presente tienen un origen antiguo y natural.

Trabajos desde la geografía histórica señalan fluctuaciones en el caudal de los ríos Senguer y Chico y del área del lago Colhué Huapí (Coronato, 2003). Sin embargo, los impactos de esas variaciones se han incrementado en los últimos 120 años a partir del asentamiento permanente del hombre en el área. Las obras de infraestructura (defensas sobre la margen este del río Senguer y construcción de la Ruta Nacional N°26, (primera mitad del siglo XX) redujeron el aporte de agua hacia el lago Colhué Huapí disminuyendo el tamaño que el mismo alcanzaba en los períodos de mayor escasez de agua. Estas reducciones en el área permitieron la erosión del material fino del lago, lo que derivó en la generación de depósitos eólicos en el desagüe del lago Colhué Huapí hacia el río Chico. Esto generó el primer gran cambio en la cuenca, que pasó de tener un régimen exorreico a uno endorreico.

Estudios actuales muestran que las variaciones climáticas producen fluctuaciones en el caudal del Río Senguer generando cambios en el nivel de los lagos Musters y Colhué Huapí, y especialmente, en el área de este último por ser un lago somero. Por otro lado, se estima que el uso consuntivo (riego, empresas petroleras y consumo humano) de agua en la cuenca es de 18,5 m³/s. A esto se le añade el impacto de las nuevas obras de infraestructura (“Dique derivador sobre el Falso Senguer” y relleno del “boquete del Musters”) que buscan mantener un nivel de agua constante en el lago Musters. La conjunción de la variabilidad natural, el aumento de la extracción de agua y las nuevas obras de

infraestructura han afectado el caudal del “Falso Senguer” y al lago Colhué Huapí. En períodos de escasez crítica del recurso hídrico como el que ocurre desde el año 2007, el “Falso Senguer” ha presentado un régimen semipermanente y el área del Colhué Huapí una extensión de 270 km² (un 30 % de su extensión original) (Figura 2D).

Si bien la variabilidad climática y el efecto antrópico tienen un gran impacto sobre los recursos de la cuenca, la implementación de políticas de manejo podría asegurar un caudal mínimo constante en el río Falso Senguer y en el lago Colhué Huapí. Sin embargo, no se han originado políticas concretas en la cuenca destinadas a fomentar la preservación del régimen permanente del río Falso Senguer ni de la presencia continua de agua en el Lago Colhué Huapí. Por lo contrario, las obras realizadas en las últimas décadas (“relleno del boquete del Musters” y “Dique derivador sobre el Falso Senguer”) buscan concentrar el agua en el Lago Musters.

El análisis de las entrevistas realizadas permite entender que para los actores sociales claves de esta cuenca, el mantener un régimen de permanencia constante en estos dos cuerpos de agua no resulta de interés prioritario como sí lo es el mantenimiento de nivel del agua del lago Musters. Esto se debe a que para los actores sociales la prioridad en el uso del agua es el consumo humano y la producción agrícola. Ambas actividades se desarrollan en mayor escala antes de que el agua alcance el Colhué Huapí. No obstante, comienza a observarse diversos grupos de ciudadanos preocupados por la desaparición del lago Colhué Huapí y la pérdida de servicios que el mismo brinda.

5 Conclusiones

El desarrollo de diversas obras de infraestructura tendientes al manejo de los recursos hídricos en la cuenca del río Senguer, sin su correspondiente evaluación de impacto ambiental está ocasionando una pérdida paulatina en los recursos hídricos de la región. La percepción de los actores sociales en cuanto a la prioridad en el uso del recurso hídrico, está derivando en un mal manejo del recurso que acrecentará el impacto que naturalmente ya sufre el lago Colhué Huapí y los ríos Falso Senguer y Chico, por la variabilidad climática de la región. En

la cuenca se encuentra funcionando un Comité en el cual se hallan representadas todas esferas de acción (colectivas, públicas y privadas) necesarias para llevar a cabo una gobernanza territorial del recurso. Como espacio de discusión de nuevas acciones, este comité debería encargarse de evaluaciones de impacto ambientales previas a la ejecución de nuevas obras de infraestructuras en la cuenca. En este trabajo se confirma lo observado en numerosos lagos: la variabilidad climática afecta los cuerpos de agua y la obra del hombre, sin previa evaluación de impacto ambiental, ayudan a la paulatina degradación de estos ecosistemas.

6 Agradecimientos

El presente estudio ha sido realizado con el aporte del Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN3038, que es financiado por la US National Science Foundation (Grant GEO-1128040). También se agradecen los aportes del proyecto IAI-CONICET y a la Universidad Nacional del Sur. Se agradece la contribución del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), sede Sarmiento y al Instituto Provincial del Agua del Chubut, por el aporte de datos y fotos.

7 Referencias

- Araneo, D.C. & Compagnucci, R.H. 2008. Atmospheric circulation features associated to Argentinean Andean rivers discharge variability. *Geophysical Research Letters*, 35 (1): L01805.
- Abers, R.N. 2007. Organizing for governance: building collaboration in Brazilian river basins. *World Development*, 35(8): 1450-1463.
- Ander-Egg, E. 2012. *Repensando la investigación-acción-participativa*. Buenos Aires, Argentina. 160p.
- Blackstock, K.; Dinnie, L.; Dilley, R.; Marshall, K.; Duglinson, J.; Trench, H.; Harper, K.; Finan, K.; McPherson, J.; Johnston, E. & Griffin, A. 2015. Participatory research to influence participatory governance: managing relationships with planners. *Area*, 47 (3): 254-260.
- Bustos Cara, R. 2009. Por una Geografía de la acción territorial. Propuesta de un marco teórico para interacción interdisciplinaria. In: LEMOS, A.I.G. & GALVANI, E. (Eds.). *Geografía, tradições e perspectivas: Interdisciplinaridade, meio ambiente e representações*. Volumen 2. CLACSO, Buenos Aires, p. 49-68.
- Calheiros, D.F.; Seidl, A.F. & Ferreira, C.J. 2000. Participatory research methods in environmental science: local and scientific knowledge of a limnological phenomenon in the Pantanal wetland of Brazil. *Journal of Applied Ecology*, 37(4): 684-696.

- Compagnucci, R.H. & Araneo, D.C. 2007. Alcances de El Niño como predictor del caudal de los ríos andinos argentinos. *Ingeniería Hidráulica en México*, 22(3): 23-35.
- Coronato, F. 2003. El problema de la desecación del lago Colhué Huapí desde la Geografía Histórica. *Contribuciones científicas GAEA*, 15: 165-170.
- Dore, M.H.I. 2005. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? *Environment International*, 31(8): 1167-1181.
- González Díaz, E.F. & Di Tommaso, I. 2014. Paleogeoformas lacustres en los lagos Musters y Colhué Huapí, su relación genética con un paleolago Sarmiento previo, centro sur del Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(3): 416 - 426.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional Argentino). 2016. SIG 250. <http://www.ign.gov.ar/sig#descarga> (Fecha de acceso 20/01/2016).
- Lefrancois, A. & Porri, P.R. 1928. Plano del territorio nacional de Chubut, Buenos Aires, Argentina.
- Leiserowitz, A. 2006. Climate change risk perception and policy preferences: the role of affect, imagery and values. *Climatic Change*, 77: 45-72
- Markgraf, V.; Platt Bradbury, J.; Schwalb, A.; Burns, S.J.; Stern, C.; Ariztegui, D.; Gilli, A.; Anselmetti, F.S.; Stine, S. & Maidana, N. 2003. Holocene palaeoclimates of southern Patagonia: limnological and environmental history of Lago Cardiel, Argentina. *The Holocene*, 13: 597-607.
- Martínez Rodríguez, J. 2011. Métodos de investigación cualitativa. *Silogismo* 8: 1-33.
- Moser, S.C. 2006. *Asset-Based Approaches to Poverty Reduction in a Globalized Context: An Introduction to Asset Accumulation Policy and Summary of Workshop Findings*. Washington, 39p.
- Mutekanga, F.P.; Kessler, A.; Leber, K. & Visser, S. 2013. The Use of Stakeholder Analysis in Integrated Watershed Management: Experiences from the Ngenge Watershed, Uganda. *Mountain Research and Development*, 33(2): 122-131.
- Pahl-Wostl, C.; Sendzimir, J.; Jeffrey, P.; Aerts, J.C.J.H.; Berkamp, G. & Cross, K. 2008. Managing change toward adaptive water management through social learning. *Ecology and Society*, 12(2): 30.
- Poff, N.L.; Allan, J.D.; Palmer, M.A.; Hart, D.D.; Richter, B.D.; Arthington, A.H.; Rogers, K.H.; Meyer, J.L. & Stanford, J.A. 2003. River flows and water wars: emerging science for environmental decision making. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(6): 298-306.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2014. *Towards Integrated Water Resources Management. International experience in development of river basin organisations*. Khartoum, Sudan. 32p.
- Quintana Peña, A. 2006. Metodología de Investigación Científica Cualitativa. In: QUINTANA, A. & MONTGOMERY, W. (Eds.). *Psicología: Tópicos de actualidad*. UNMSM, Lima, p. 47-84.
- Sciutto, A. 2008. *Hoja Geológica Escalante (4569- IV), Provincia del Chubut, SEGEMAR. Carta Geológica de la República Argentina, escala 1: 250.000*. Buenos Aires, Argentina. 76p.
- Scordo F.; Piccolo, M.C. & Perillo, G.M.E. 2014. Modificación del curso de los ríos en la cuenca del Senguer: período 1994-2013. In: UBOLDI, J.A., ANGELES, G.R., GENTILI, J.O., GERALDI, A.M., MELO, W.D., CARBONE, M.E. (Eds.) *Geotecnologías del sur argentino. Casos de estudio*. EdiUNS, Bahía Blanca, p. 487-494.
- Scordo F.; Piccolo, M.C. & Perillo, G.M.E. 2015. Relación entre el caudal y el forzamiento climático en la evolución del área del lago Colhué Huapí (1998-2014). In: III JORNADAS NACIONALES DE POSGRADO EN GEOGRAFÍA Y II JORNADAS INTERNACIONALES DE POSGRADO EN GEOGRAFÍA. IV JORNADAS DEL PROGRAMA DE POSGRADO DEL DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA Y TURISMO, 14-15 de Mayo, Bahía Blanca, Argentina.
- Sneddon, C. & Fox, C. 2007. Power, development, and institutional change: Participatory governance in the lower Mekong basin. *World Development*, 35(12): 2161-2181.
- SSRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina). 2016. Base de datos hidrológica integrada. <http://www.hidricosargentina.gov.ar> (Fecha de acceso 20/01/2016).
- Strahler, A. 1986. *Geografía Física*. Barcelona, España. 754p.
- Tejedo, A.G. 2003. Degradación de suelos en los alrededores del lago Colhué Huapí, Escalante, provincia de Chubut. In: PRIMER CONGRESO DE LA CIENCIA CARTOGRAFICA Y VII SEMANA NACIONAL DE LA CARTOGRAFIA, 25-27 de Junio, Buenos Aires, Argentina.
- USGS (United States Geological Survey). 2016. Imágenes SRTM 30 x 30 m & Landsat, Path 229 – Row 92. <http://earthexplorer.usgs.gov> (Fecha de acceso 16/01/2016).
- Valladares, A. 2004. Cuenca de los ríos Senguer y Chico (cuenca Nº 66) (Informe Técnico). *Subsecretaría De Recursos Hídricos De La Nación Argentina*, Argentina, p. 1-6.
- Voinov, A. & Gaddis, E.J.B. 2008. Lessons for successful participatory watershed modeling: a perspective from modeling practitioners. *Ecological modelling*, 216(2): 197-207.