



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

Facultad de Humanidades

Departamento de Geografía

Tesis de Licenciatura en Geografía

**Estudio hidrológico de la Cuenca Alta del Río
Neuquén**

Tesistas:

Florencia Gisella Finessi y Damián Groch

Directores:

Luis Alberto Bertani y Marisa Gloria Cogliati

Neuquén, Argentina

Mayo de 2018

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado académico de Licenciado en Geografía, de la Universidad Nacional del Comahue y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. Cumple con las exigencias de Tesis propuestos en la Ordenanza N°640/96 y su posterior actualización con la Ordenanza N°076/10, de dicha universidad. La misma es el resultado de una investigación llevada a cabo durante el transcurso de la carrera universitaria, la cual fue profundizada en el marco de diversos Proyectos de Investigación en el Laboratorio Nordpatagónico de Teledetección (LANTEL), dependiente del Departamento de Geografía – Facultad de Humanidades, durante el período comprendido entre el 01/08/2011 y el 31/12/2017, bajo la dirección compartida del Dr. Luis A. Bertani y la Dra. Marisa G. Cogliati.

Florencia Gisella Finessi y Damián Groch

Neuquén, mayo de 2018

Departamento de Geografía

Universidad Nacional del Comahue

Dedicatoria

Florencia Gisella Finessi:

Dedico esta Tesis a mi familia, principalmente a mi madre Isabel, por ser el pilar fundamental de mi vida, demostrarme su cariño y apoyo más allá de nuestras diferencias de opiniones. Y a mi compañero Damián, con el cual compartimos toda la carrera, ya que sin el equipo que formamos durante estos años, no hubiera sido posible lograr esta tan anhelada meta para ambos.

¡Muchas gracias!

Damián Groch:

Le dedico esta Tesis a mis padres, Nelli Palomo y Oscar Groch, quienes me alentaron y acompañaron incondicionalmente a lo largo de mi vida, sus palabras y apoyo me motivaron para afrontar y terminar esta carrera. En los momentos más difíciles de atravesar, ellos siempre encontraron la mejor forma de promover mis estudios. Me brindaron un espacio físico rodeado de tranquilidad y afecto, generando un ambiente prospero de crecimiento intelectual. A su vez, el enorme esfuerzo económico que realizaron, permitieron que me dedique exclusivamente a la carrera, brindándome todo el material y equipamiento necesario, así como también los recursos para llevar a cabo capacitaciones de perfeccionamiento dentro y fuera del país.

Quiero dedicarle también la Tesis a mi pareja, Tamara Andró, quien me acompañó a lo largo de su realización y me alentó a cada instante. Su amor generó en mí sentimientos que hoy se ven reflejados tanto en lo académico, como en lo personal. Le agradezco enormemente su apoyo incondicional.

Sin ellos no hubiese sido posible, por lo que les estaré eternamente agradecido, y los tendré siempre en mi corazón. ¡Esta Tesis es para Uds.!

¡Muchas gracias!

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los directores de Tesis, Luis Bertani y Marisa Cogliati, quienes nos han apoyado y guiado todos estos años, brindándonos sus conocimientos y experiencias, generando que nos enriquezcamos enormemente.

Queremos reconocer a su vez a distintos especialistas, quienes durante todos estos años de carrera han colaborado de diversas maneras en los trabajos que posteriormente dieron lugar a esta Tesis. Sus ideas, comentarios y sugerencias han quedado plasmadas en la misma: Andrea Arias (AIC); Andrea Lavallo (UNCo); Celia Torrens (UNCo); Fabián Arias (UNCo); Julio Porrino (AIC); María Nélica Martínez (UNCo); Miriam Ambrosio (UNCo); Rocio Marticorena (AIC); y Vanesa Cappelletti (UNCo).

Agradecemos también los datos hidrometeorológicos aportados gratuitamente por la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro, la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina y la Dirección Meteorológica de Chile. Datos sin los cuales no hubiésemos podido llevar a cabo la Tesis.

A su vez, agradecemos a los siguientes organismos por la información brindada: Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén (DPEyC), Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC), National Aeronautics and Space Administration (NASA) y United States Geological Survey (USGS).

Por último, y no por ello menos importante, agradecemos las correcciones señaladas por el Jurado Evaluador, comprendido por el Dr. Marcos Mare, la MSc. Elsie Jurio y la Lic. Griselda Ostertag. Sus aportes permitieron mejorar notablemente la investigación llevada a cabo en la presente Tesis.

Índice general

Prefacio	2
Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Índice general	5
Índice de acrónimos	6
Resumen	8
Introducción	9
Aspectos teóricos – conceptuales	11
Importancia del agua en el mundo	11
La cuenca hidrográfica como unidad sistémica	12
Variaciones climáticas de gran escala	13
Área de estudio	15
Caracterización físico-geográfica	15
Caracterización socio-económica	26
Información utilizada	36
Metodología	39
Análisis de resultados	44
Conclusiones	59
Referencias bibliográficas	62
Referencias orales	70
Anexos	72

Índice de acrónimos

ACN	Área Cubierta de Nieve
AIC	Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro
ASI	Agenzia Spaziale Italiana
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CARN	Cuenca Alta del Río Neuquén
CFI	Consejo Federal de Inversiones
COPADE	Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo
CORFONE	Corporación Forestal del Neuquén S.A.
DLR	German Aerospace Center
DMC	Dirección Meteorológica de Chile
DPEyC	Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén
EAN	Equivalente de Agua en Nieve
ENOS	El Niño – Oscilación Sur
ETHZ	Swiss Federal Institute of Technology Zurich
GDEM	Global Digital Elevation Map
INDEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
MDE	Modelo Digital de Elevación
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSE	Maximum Snow Extent
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDSI	Normalized Difference Snow Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency

NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONI	Índice Oceánico del Niño
PBI	Producto Bruto Interno
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
POSGAR	Posiciones Geodésicas Argentinas
SEGEMAR	Servicio Geológico Minero Argentino
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SEMH	Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos de la Provincia del Neuquén
SOI	Índice de Oscilación Sur
SRH	Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TSM	Temperatura Superficial del Mar
USGS	United States Geological Survey

La variabilidad del agua en el tiempo y en el espacio ha pasado a ser en la actualidad uno de los temas principales de conflicto a escala mundial, regional y local. Los intereses enfrentados entre las poblaciones que viven aguas arriba y aguas abajo de los cursos fluviales transforman a estos cursos en áreas de complejidad creciente. El sistema hidrográfico de la Cuenca Alta del Río Neuquén (CARN) presenta vital importancia en la región y aguas abajo, por lo que fue seleccionado como la unidad de análisis, considerando sus variabilidades y dinámicas particulares, e identificando problemáticas asociadas que se evidencian en el comportamiento de la misma.

En el presente trabajo se analizó la variabilidad hidrológica en la CARN y su asociación con fenómenos hidrometeorológicos, durante el periodo 2000-2014. Específicamente se estudió su relación con el fenómeno ENOS, a partir del Índice Oceánico del Niño (ONI) y el Índice de Oscilación Sur (SOI), del procesamiento de imágenes satelitales ópticas (productos MOD10A2), datos meteorológicos de superficie (temperatura, precipitación), datos hidrográficos (caudal), y datos nivológicos (equivalente de agua en nieve), mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica y herramientas de análisis estadístico.

El estudio de la relación de la hidrología del área con el fenómeno ENOS, actualmente constituye un conocimiento importante para el pronóstico en escala de meses o años. Los resultados indicaron que si bien en el área de estudio existe una asociación entre las variables hidrológicas y el fenómeno ENOS, la correlación presentó valores moderados a bajos, con r de 0,38 y -0,17 (a un nivel de significación del 5%) para el ONI y el SOI respectivamente en el periodo 2000-2014.

El agua es un recurso natural trascendental en el planeta, cuya presencia está relacionada de forma directa con la existencia de los seres vivos en la Tierra. El agua dulce es un elemento básico para las actividades sociales y económicas, las cuales dependen en gran medida de la provisión y calidad del recurso, siendo aconsejable su conservación y gestión sostenible. Considerada desde la perspectiva de los recursos, el agua es indispensable para una gama muy amplia de actividades humanas, y existe en cantidad limitada (Klare, 2003).

En la actualidad, cerca de un 70 por ciento del agua dulce que la humanidad extrae de los ríos, los lagos y los acuíferos del mundo se destina al consumo y al uso principalmente agrícola/industrial (Klare, 2003), siendo el origen de variados conflictos entre naciones; por la apropiación y control de las cuencas, y de los reservorios subterráneos. Por ello se considera al agua dulce como un recurso estratégico, pero escaso y a su vez como un factor insustituible de la salud y del desarrollo humano; pero también un factor de riesgo, disparador de fenómenos naturales con importantes catástrofes sociales (CIMOP, 2009).

La importancia de las cuencas se pone de manifiesto en numerosos estudios de sus características hidrográficas realizados a escala mundial desde mediados del siglo XX, destacándose los trabajos realizados por Tricart (1973), Strahler (1974), Knighton (1998) y Lelievre (2008). Por otro lado, en Argentina, los trabajos hidrográficos, climatológicos y geomorfológicos son numerosos y en estos últimos años se evidencia un aumento de los mismos dirigidos al ordenamiento y gestión del territorio, principalmente desde un punto de vista ambiental (Gil, 2009).

A partir del empleo de imágenes satelitales, se cuenta con nuevas fuentes continuas de información que han posibilitado el incremento del estudio temporal y espacial sobre grandes áreas y/o áreas de complejidad topográfica. En el plano hidrográfico, su uso ha avanzado a nivel internacional gracias a los estudios del Área Cubierta de Nieve (ACN) con aceptables niveles de precisión. Gracias a las propiedades físicas de la nieve que permiten su monitoreo desde el espacio, Dozier (1989) desarrolló inicialmente el NDSI (Normalized Difference Snow Index) para imágenes LANDSAT, cuya metodología comenzó a ser aplicada desde el año 2000 con imágenes Terra y desde el 2002 con imágenes Aqua.

Entre los estudios hidrográficos asociados a la nieve en la región patagónica, se pueden mencionar los trabajos de De Angelis et al. (2007) y López et al. (2008) y en particular en la cuenca, los trabajos de Lascano y Velasco (2007), Ostertag et al. (2008), Salcedo (2011), Cogliati et al. (2013a-b, 2014a-b, 2015a-b-c) y Groch et al. (2017). Se realizaron estudios de áreas cubiertas de nieve en los Andes Centrales y Andes Patagónicos, mediante la utilización de

fotografías aéreas históricas e imágenes satelitales NOAA-AVHRR, TERRA-MODIS, ERS-2 y Landsat 5 y 7, destacándose a su vez, los trabajos glaciológicos de Tesoniero y Caso (2014, 2015), Falaschi (2015) y Falaschi et al. (2016) sobre el Vn. Domuyo.

El sistema hidrográfico de la Cuenca Alta del Río Neuquén (CARN) presenta vital importancia en la región y aguas abajo, por lo que fue seleccionado como la unidad de análisis, considerando sus variabilidades y dinámicas particulares, e identificando problemáticas asociadas que se evidencian en el comportamiento de la misma. La misma posee una superficie de 8.282 km², y se encuentra localizada parcialmente en los departamentos Minas, Chos Malal y Ñorquín en el extremo Noroeste de la provincia del Neuquén, entre los 36°10' y 37°47' Sur y 71°13' y 70°27' Oeste. La cuenca está delimitada por la Cordillera del Viento al Este, la Cordillera de los Andes al Oeste, (con alturas entre 1.500-3.000 msnm), mientras que al Norte limita con la República de Chile y la cuenca del río Colorado, y al Sur con la Sierra Trolón. El punto de cierre de la cuenca se consideró en la estación hidrometeorológica Rahuco (37°21'20.50"S, 70°27'11.80"W, 876 msnm), ubicada 16 km aguas arriba de la ciudad de Chos Malal.

Algunos aspectos hidrográficos del río Neuquén fueron abordados por Chimenton y Cortese (2012), Mundo et al. (2012) y Hansen y Seoane (2013). Los primeros desarrollaron un estudio acerca de la crecida histórica de julio del 2006 y las consecuencias asociadas, mientras que Mundo et al. (2012) realizaron una reconstrucción histórica del caudal utilizando anillos de crecimiento de los árboles, y Hansen y Seoane (2013) llevaron a cabo un análisis estadístico de una serie temporal de caudales diarios.

Las tendencias recientes indican la importancia de conocer el comportamiento de ENOS, sin embargo, los estudios son escasos. Cerveny et al. (1987), Escobar y Aceituno (1998), Norte et al. (1998), Prieto y Herrera (2002), Compagnucci (2007), Gómez Cole (2010), Martínez et al. (2012), Masiokas et al. (2006, 2010, 2012, 2015), Lauro et al. (2016) y Araya Ojeda e Isla (2016) estudiaron las asociaciones entre el fenómeno ENOS, las variaciones de la cubierta de nieve y los caudales en la región de los Andes Centrales para Argentina y Chile. Dichos estudios no se encuentran desarrollados exclusivamente para la Patagonia Argentina.

El estudio de la relación de la hidrología del área con el fenómeno ENOS, actualmente constituye un conocimiento importante para el pronóstico en escala de meses o años.

En este trabajo, se plantea avanzar en el conocimiento de la influencia del fenómeno ENOS en la Patagonia argentina y en particular sobre el área de la Cuenca Alta del río Neuquén, utilizando información meteorológica de superficie y de imágenes satelitales, a partir del estudio de la variabilidad hidrológica en la CARN durante el periodo 2000-2014, identificando situaciones adversas tales como inundaciones, sequías y grandes nevadas; asociadas a dichos eventos y la determinación de potenciales consecuencias para las actividades socio-económicas.

A tal fin se presenta como hipótesis que en la Cuenca Alta del Río Neuquén existe una asociación entre la temperatura del aire, precipitación, área cubierta de nieve, caudal y/o equivalente de agua en nieve con el fenómeno El Niño – Oscilación Sur (ENOS).

A partir de ello, el objetivo es estudiar las variaciones temporales y espaciales de las variables asociadas para el período 2000-2014 y su relación con los índices ONI y SOI.

En esta Tesis se incluyen tópicos de investigación básica, insumo indispensable para futuros trabajos de índole aplicado en el área de estudio, tales como un manejo integral de la cuenca, estudios hidrogeomorfológicos y/o climáticos, entre otros.

Aspectos teóricos - conceptuales

Importancia del agua en el mundo

El agua es un recurso natural trascendental en el planeta, cuya presencia está relacionada de forma directa con la existencia de los seres vivos en la Tierra. El agua dulce es un elemento básico para las actividades sociales y económicas, las cuales dependen en gran medida de la provisión y calidad del recurso, siendo aconsejable su conservación y gestión sostenible. “Considerada desde la perspectiva de los recursos, el agua es indispensable para una gama muy amplia de actividades humanas, y existe en cantidad limitada [...]. En la actualidad, cerca de un 70 por ciento del agua dulce que la humanidad extrae de los ríos, los lagos y los acuíferos del mundo se destina al consumo y al uso principalmente agrícola/industrial” (Klare, 2003), siendo el origen de variados conflictos entre naciones; por la apropiación y control de las cuencas, y de los reservorios subterráneos. Por ello se considera al agua dulce como un recurso estratégico, pero escaso y a su vez como un factor insustituible de la salud y del desarrollo humano; pero también un factor de riesgo, disparador de fenómenos naturales con importantes catástrofes sociales (CIMOP, 2009).

En relación con la importancia del agua en el mundo, Klare (2003) plantea la relevancia de considerar al agua desde la perspectiva de los recursos, mientras que el CIMOP (2009) plantea el entendimiento del agua como un recurso estratégico pero escaso, relacionado con eventos naturales extremos que presentan un considerable impacto social y económico en el mundo. Diversos autores estudian el recurso desde distintas perspectivas y en distintos lugares del mundo: Tarbuck *et al.* (2005) y Gutiérrez Elorza (2008) caracterizan las corrientes de agua en las diversas regiones del mundo y su comportamiento, en relación a las características climáticas de las zonas por las cuales discurren; Fernández Cirelli y Volpedo (2002) estudiaron la presión que sufren los recursos hídricos, debido al aumento del consumo, tanto en el abastecimiento humano como en la agricultura y la industria y Martínez Fernández (2006), explica los efectos ambientales y territoriales, ligados a los cambios tecnológicos en la extracción del recurso hídrico.

En las últimas décadas ha aumentado la preocupación de los organismos mundiales, en busca de soluciones para los problemas asociados a la disponibilidad, accesibilidad y vulnerabilidad del recurso agua. Así como también los relacionados con la ocurrencia de eventos naturales extremos, que ponen en riesgo a las poblaciones, tales como sequías e inundaciones que tienen y han tenido un impacto social y económico relevante en distintas zonas del país y del mundo (CIMOP, 2009).

Las corrientes de agua permanentes son normales en las regiones húmedas, mientras que los desiertos tienen corrientes de agua efímeras, transportando agua sólo durante episodios específicos de precipitación. Una corriente efímera típica podría fluir sólo unos pocos días o quizá tan sólo unas horas al año (Tarbuck *et al.*, 2005).

La CARN posee mayormente corrientes de agua permanentes, siendo algunas pocas efímeras, las cuales son reactivadas durante la época de deshielo o eventos climáticos de corta duración. Los ríos permanentes reciben una importante alimentación alóctona, normalmente de cordilleras circundantes, cuyo aporte de agua procede de la fusión de la nieve (Gutiérrez Elorza, 2008). El río Neuquén pertenece a un grupo de ríos patagónicos de régimen de alimentación pluvial y de deshielo. La escorrentía superficial en una cuenca hidrográfica depende de la infiltración, del tipo de precipitación (lluvia, nieve), de su intensidad y duración, y de características propias de la cuenca como el relieve, la extensión de los cauces, la presencia de lagos de contención y de mallines. Los mallines actúan como sistemas de filtración, almacenando el agua de lluvia y liberándola lentamente, funcionando como reservorios naturales para el control de las inundaciones.

En la CARN, la fragilidad que presentan algunas zonas de montaña y el carácter torrencial de las escorrentías, por su morfología y la baja cobertura vegetal, provoca una marcada erosión de los suelos de la cuenca. Este proceso se encuentra agravado en extensas zonas por el excesivo pastoreo de la actividad trashumante, generando una elevada carga sedimentaria que es transportada por los cursos de la cuenca (CIMOP, 2009).

La cuenca hidrográfica como unidad sistémica

Las cuencas hidrográficas entendidas como una unidad sistémica socio-natural, conforman el escenario en el cual se dan múltiples interacciones sociales de apropiación y uso de los recursos contenidos en ella. La cuenca hidrográfica actúa como un gran colector que recibe las precipitaciones y las convierte en escurrimiento superficial y/o subterráneo, y se encuentra conformada por componentes abióticos (agua, suelo, entre otros), biológicos (flora y fauna) y antropogénicos (socioeconómicos, culturales, institucionales), manteniéndose en una constante interrelación y equilibrio (Ramakrishna, 1997). En función de ello, la cuenca tiene características similares a lo largo del espacio que ocupa y funciona como un ecosistema, por ello se considera como la mejor unidad geográfica para el planeamiento ambiental. El estudio de una cuenca puede realizarse a diferentes escalas, siendo posible analizar la totalidad de la misma o sus subcuencas (De Jong, 2004).

En las cuencas hidrográficas, ante eventos de precipitación, el tipo y uso del suelo y la cobertura vegetal son factores fundamentales para determinar el porcentaje de agua que se infiltra en el subsuelo o la que escurre superficialmente, favoreciendo o atenuando los procesos erosivos. Según Camp y Daugherty (2000), mientras el suelo está cubierto por vegetación, está protegido de procesos erosivos ya que las hojas frenan la fuerza de la lluvia o del viento y las raíces compactan las partículas del suelo. Por su parte, los suelos compactos y de escasa cobertura vegetal son más vulnerables a la erosión, por cual el porcentaje de infiltración de agua, depende de la mayor o menor cobertura vegetal del suelo. Sin embargo, la escorrentía de las aguas en una cuenca hidrográfica no solo depende de la infiltración, sino también del tipo de precipitación (lluvia, nieve), de su intensidad y duración, de características propias de la cuenca

como el relieve, la extensión de los cauces y la presencia de lagos de contención y mallines. Estos últimos actúan como sistemas de filtración, almacenando el agua de lluvia y liberándola lentamente, funcionando como reservorios naturales para el control de las inundaciones.

La CARN presenta una diversidad en el uso de suelo en la actualidad y se caracteriza principalmente por una escasa cobertura vegetal, un relieve de laderas pronunciadas y una escasez de reguladores naturales, lo cual produce además de crecidas, intensos torrentes en las zonas altas, generando un proceso constante de erosión hídrica (Valicenti, 2001).

Precisamente Bertani (2011) menciona que uno de los problemas ambientales más comunes en la CARN es la degradación de la tierra por efecto del sobrepastoreo. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el sobrepastoreo, la deforestación y las prácticas de agricultura no sustentable son las principales causas de desertificación a partir de las cuales se destruye el estrato de vegetación protectora que cubre las regiones áridas y semiáridas, facilitando la eliminación de los estratos superiores del suelo por la erosión hídrica y eólica.

Variaciones climáticas de gran escala

Las variables hidrológicas y meteorológicas se encuentran afectadas por las variaciones climáticas de distintas escalas, influyendo en la disponibilidad del recurso hídrico. El fenómeno ENOS (El Niño – Oscilación Sur), con influencia global, puede explicar algunas de esas variaciones (Gómez Cole, 2010); Araya Ojeda e Isla (2016) lo definen como una perturbación interanual del sistema climático caracterizado por un debilitamiento aperiódico de los vientos alisios y el calentamiento de las capas superficiales en el océano Pacífico Ecuatorial.

El fenómeno ENOS se manifiesta principalmente en regiones costeras del océano Pacífico tropical, con una duración de varios meses y una recurrencia irregular y aperiódica, con efectos que varían según su intensidad (Gómez Cole, 2010; Araya Ojeda e Isla, 2016).

ENOS es producido por la interrelación océano-atmósfera, y está caracterizado por anomalías positivas (El Niño) o negativas (La Niña) de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), y anomalías negativas (El Niño) o positivas (La Niña) de la presión atmosférica entre las estaciones de Tahití (Polinesia Francesa) y Darwin (Australia) (Oscilación del Sur). Primariamente es monitoreado por el Índice de Oscilación Sur (SOI), basado en la diferencia de presiones medias del aire a nivel del mar entre Darwin y Tahití en el océano Pacífico—distanciadas 8,515 km entre sí-. El índice fue propuesto originalmente por Walker y Bliss (1932), extendiéndose posteriormente hasta finales del siglo XX por Ropelewski y Jones (1987), y se basa en el cálculo de las fluctuaciones diarias estandarizadas de la presión del aire entre dichas estaciones. Otro índice considerado es el Índice Oceánico del Niño (ONI) que permite identificar períodos cálidos y fríos en la temperatura del océano Pacífico, a partir de anomalías en la TSM en la región Niño 3.4 (120°-150°W y 5°N-5°S). Dicha región del Ecuador es preferida actualmente, debido a su alta correlación con el SOI. Además de las fases positivas y negativas, existen anomalías que se corresponden con una fase neutra de ENOS, con valores de ONI entre -0,5 y 0,5°C y de 0 en el SOI.

La interacción océano-atmósfera actúa como condicionante de los sistemas hidrológicos en diferentes escalas temporales por lo que se puede estudiar a partir de diversas variables

meteorológicas e hidrológicas, como caudal, precipitación y la temperatura del aire. De acuerdo a Lauro *et al.*, (2016) el caudal representa la función de respuesta o síntesis de todos los procesos que se verifican en una cuenca y en la región andina -entre los 30° y 37° Sur- la respuesta está estrechamente relacionada con las precipitaciones durante el período invernal y las variaciones de la temperatura durante la marcha del ciclo anual o componente estacional (Cervený *et al.*, 1987; Escobar y Aceituno, 1998; Norte *et al.*, 1998; Prieto y Herrera, 2002; Compagnucci, 2007; Gómez Cole, 2010; Martínez *et al.*, 2012; Masiokas *et al.* (2006, 2010, 2012, 2015); Lauro *et al.* (2014, 2016); Araya Ojeda e Isla, 2016). Entre los 30° y 40° Sur, la variabilidad interanual de los ríos es significativa y presenta diferentes grados de correlación en función de las fases de ENOS (Aceituno 1990; Compagnucci y Vargas, 1998), donde fases cálidas se asocian a precipitaciones nivas por encima de la media y consecuente aumento del escurrimiento durante el período estival. En las fases frías, las precipitaciones y el escurrimiento se comportan inversamente (Lauro *et al.*, 2016).

En la región patagónica norte, la altura de la cordillera comienza a disminuir hacia mayores latitudes, distinguiéndose características generales del caudal de los ríos, diferentes a otras cuencas de origen cordillerano en el país. En ésta zona el régimen de caudal mensual posee dos máximos anuales, los cuales dependen de los rasgos generales que presentan las condiciones invernales (Quintela y Scarpati, 1993). Sin embargo, en los ríos patagónicos se desconoce aún la relación entre la variabilidad de los caudales y las características de los forzantes climáticos que los determinan (Compagnucci y Araneo, 2005). Si bien en los Andes centrales (al norte del río Colorado), las fluctuaciones en escala interanual a decádica de los caudales son reflejo de las variaciones de la TSM y de la circulación atmosférica, durante el período de invierno y principios de primavera, dicha estructura en el norte de la Patagonia se encuentra ausente, insinuando una escasa o baja relación con ENOS. Las correlaciones existentes entre el caudal medio correspondiente al período de máximos caudales de los ríos del norte patagónico (junio-diciembre) y las variables climáticas, se maximizan con un desfase que ronda el período de un mes (Compagnucci y Araneo, 2005, 2007).

El ciclo de utilización del agua en la cuenca incluye tanto su variabilidad por su ciclo natural dentro del sistema climático, en cuerpos de hielo, precipitación (nieve, lluvia), escorrentía superficial y subsuperficial y fusión de área cubierta de nieve; así como por el uso en las distintas actividades antrópicas: uso domiciliario, actividades industriales, generación hidroeléctrica, minería, producción ganadera, etc.

En este capítulo se describen las características físico-geográficas y de las actividades antrópicas de la CARN (Figura 1), para efectuar el análisis de la dinámica y el funcionamiento del sistema natural y las actividades socioproductivas de la cuenca que presentan relación con los eventos atmosféricos que afectan al recurso hídrico, para determinar las posibles situaciones adversas asociadas a fenómenos climáticos en el área.

Desde el punto de vista fisiográfico la CARN presenta una gran diversidad de paisajes debidos a la variedad topográfica, geomorfológica y climática resultado de múltiples procesos a lo largo del tiempo.

Caracterización físico-geográfica

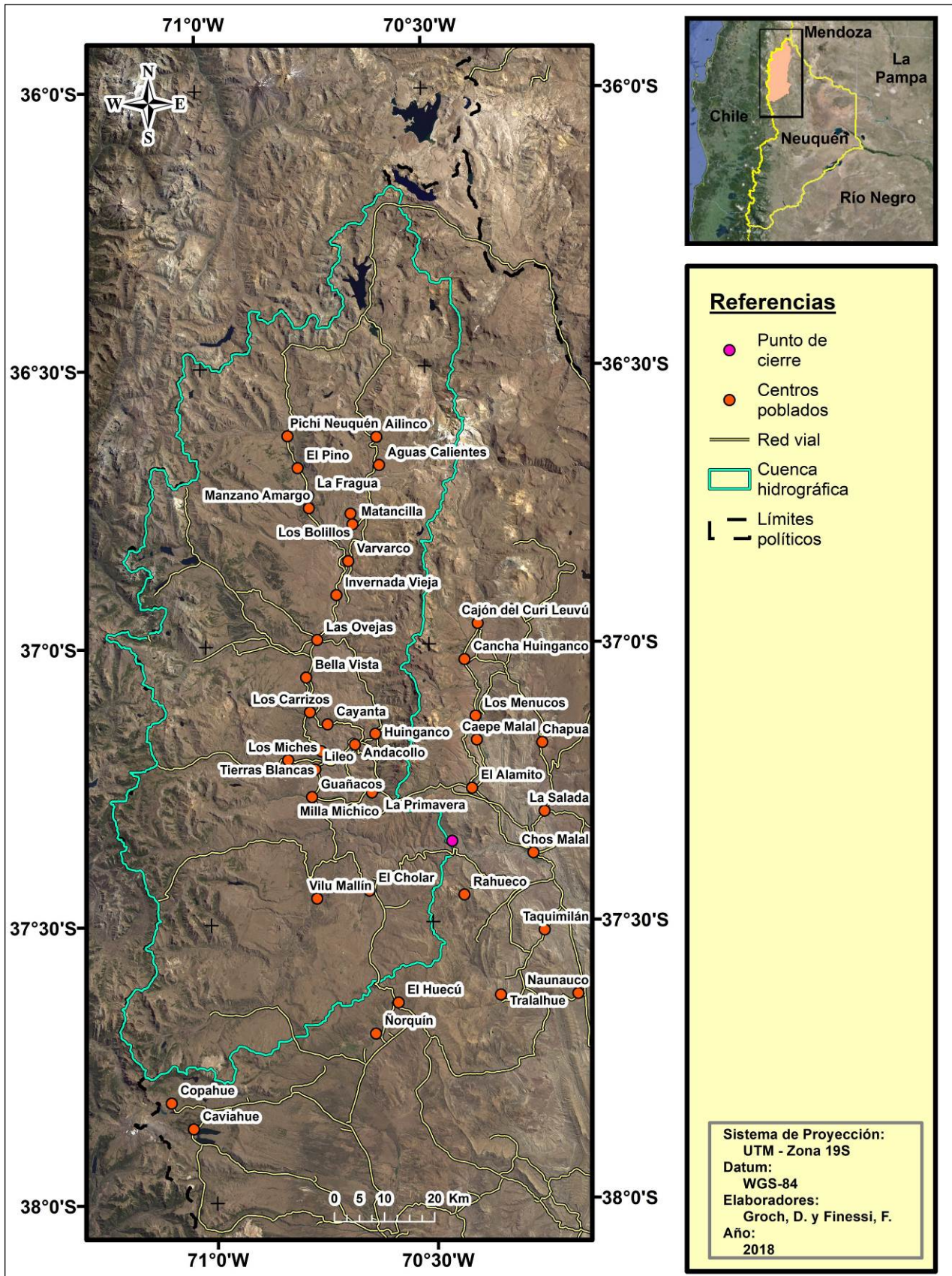
- **Climatología del área**

Las características climáticas del área presentan una temperatura con un régimen frío, con viento durante todo el año y presencia de nieve permanente en zonas con altitud mayor a 3.000 msnm. El régimen de precipitaciones presenta lluvias y nevadas invernales con características de transición entre los climas templados-fríos asociadas a su extensión latitudinal (Ostertag y Cuello, 2005).

La variabilidad morfológica de la cuenca genera una distribución heterogénea del gradiente pluviométrico Oeste-Este, debido a la presencia de la Cordillera de los Andes que interrumpe el movimiento de las masas de aire del Oeste, originadas en el anticiclón del Pacífico. Las lluvias características en esta región se asocian a sistemas frontales que ingresan desde el Océano Pacífico, desde el Sudoeste hacia el Noreste. Las precipitaciones (lluvia y nieve) principalmente ocurren en invierno y se asocian a viento intenso de dirección Noroeste, Oeste y Sudoeste.

La temperatura del aire, es afectada por el ingreso de aire cálido tropical o subtropical en el Norte de Neuquén, entre los 38° S y 36° S, en los meses de verano, con temperatura máxima media cercana a 30 °C (Peña y Ostertag, 2006). Durante los meses de invierno la temperatura máxima media en la misma región se ubica entre los 8 y 12 °C, con una amplitud térmica estacional de más de 15 °C (Bertani, 2011).

Figura 1: Localización del área de estudio y centros poblados.



Fuente: elaboración propia.

- **Geomorfología**

Geomorfológicamente la CARN se caracteriza por un esquema complejo, pudiendo distinguirse la morfogénesis de sus paisajes de acuerdo al proceso que le dio origen. Según González Díaz y Di Tomasso (2011), la región posee mayormente paisajes generados por procesos exógenos (fluvial, glacial, gravitacional -remoción en masa-) y por procesos endógenos (volcanismo y tectonismo -fallamiento-).

La cuenca presenta grandes variabilidades topográficas que van desde planicies, sierras y valles a altas cumbres. Dividiendo la zona de estudio en dos grandes unidades bien diferenciadas, se encuentran por un lado las áreas montañosas y por otro, un sector de planicies, sierras y valles intermontanos.

La primera unidad está constituida por dos grandes cordilleras, siendo una de ellas la Cordillera del Viento al Este (Figura 2), la cual posee una disposición Norte-Sureste de aproximadamente 120 km de longitud. Por otro lado, en el sector Oeste se encuentra la denominada Cordillera de los Andes, la cual se constituye como el límite Occidental de la cuenca hídrica, con alturas que oscilan entre 1.500-2.500 msnm. En la región, la cota máxima se localiza al Norte de la Cordillera del Viento, en el Vn. Domuyo (4.707 msnm) (Figura 3), mientras que la cota inferior corresponde al cauce del Río Neuquén, al sudoeste del Departamento Chos Malal (876 msnm).

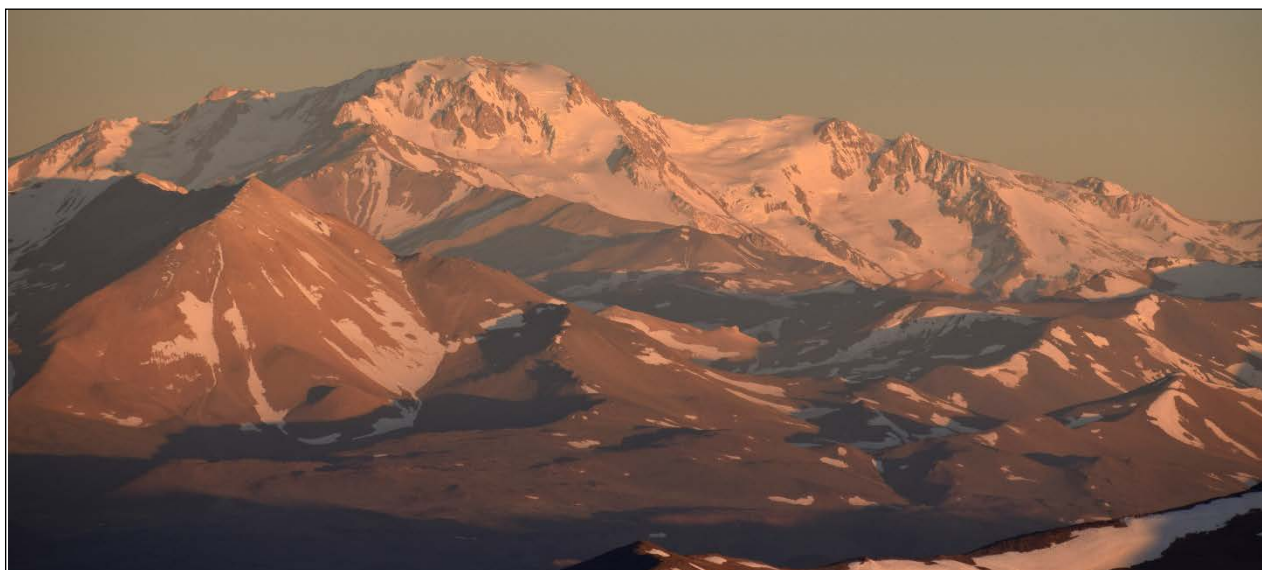
En la segunda unidad, con un sector de planicies, sierras y valles intermontanos, se asienta casi la totalidad de la población. El desnivel máximo de la cuenca es de 3.833 m, dando como resultado la existencia de distintos pisos altitudinales que van a tener gran influencia en las variaciones de la temperatura y la vegetación (Bertani, 2011).

Figura 2: Cordillera del Viento.



Fuente: Damián Groch.

Figura 3: Vn. Domuyo.



Fuente: Damián Groch.

- **Vegetación y suelo**

La existencia del gradiente altitudinal y las precipitaciones, la orientación de las laderas, las condiciones morfológicas, hidrológicas y el tipo de sustrato condicionan el desarrollo y el tipo de la vegetación natural, diferenciándose tres provincias fitogeográficas en la zona de estudio (Cabrera, 1976; Bertani, 2011).

El semidesierto de altura o provincia altoandina, ubicado por encima de los 2.800-3.000 msnm presenta especies achaparradas en forma dispersa. Desde esa cota hasta los 1.600-1.800 msnm, la vegetación dominante está compuesta por una estepa herbácea, coincidiendo con la Provincia Patagónica, mientras que por debajo de esas cotas comienza a transformarse en una de tipo arbustiva. La franja de 1.600-1.800 msnm es una franja de transición donde la vegetación varía en altura dependiendo la orientación de las laderas, las pendientes y los suelos (Bran *et al.*, 2002; Salcedo y Solorza, 2008).

En los valles de la Cordillera de los Andes que presentan una orientación Sur, y cuando las condiciones de humedad y suelo lo permiten, se da la presencia de algunos parches de bosque subantártico, constituidos por bosquecillos de Ñire (*Nothofagus antártica*), Lengua (*Nothofagus pumilio*) y Roble Pellín (*Nothofagus obliqua*), (ej. Lagunas de Epulauquen). Existen pequeñas extensiones de la provincia fitogeográfica subantártica, en la ladera occidental de la Cordillera del Viento, entre 1.300-1.500 msnm, con algunos remanentes de bosque de Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y Roble Pellín, siendo el límite septentrional de estas especies. En proximidades de la localidad de Huinganco se han cercado unas 50 has para preservarlo del ganado, declarándose Monumento Natural Protegido (denominado Cañada Molina) por la Dirección de Bosques y Áreas Protegidas de la Provincia de Neuquén (Bran *et al.*, 2002; Bertani, 2011).

Las condiciones climáticas y los pisos altitudinales existentes en la cuenca, permiten el desarrollo de una gran cantidad de humedales (mallines y vegas). Los mallines son tierras

pantanosas, bañados o esteros (Erizé,1960), que se diferencian de las áreas circundantes tanto por su tipo de suelo el cual es altamente orgánico, por estar presentes en cuencas con un alto contenido hídrico y muestran flora característica. En la Patagonia Argentina y en particular en la CARN, estos ecosistemas naturales que se distribuyen por lo general en las líneas de drenaje entre las sierras y las mesetas, son de gran importancia por presentar una vegetación de alto valor forrajero para la ganadería extensiva (Peña *et al.*, 2008; Ciari, 2010; Easdale y Gaitán, 2010; Campo *et al.* 2011; Peña y Campo, 2012).

Según Bertani "los mallines constituyen un recurso natural muy valorado en la zona ya que aportan agua para el hombre y el ganado, además de proveer abundante forraje en zonas semiáridas" (2011:66). Esto se refleja en la cuenca, constituyéndose prácticamente en el único sustento de los pobladores rurales y son recursos escénicos que da valor al paisaje por su condición de "oasis" en un medio semiárido. La mayor disponibilidad de agua en los mallines conlleva el desarrollo de tipos de suelos y comunidades vegetales azonales con áreas de baja representatividad, pero de gran valor para la ganadería de la región, debido a su alta productividad de especies palatables (Gaitán *et al.*, 2009).

Los mallines actúan además, como reguladores del sistema hídrico, recibiendo agua de fusión de los glaciares. Los caudales que ingresan, según expone Bertani (2011), "son almacenados y retenidos por un tiempo (dependiendo de la capacidad del mallín) y luego son erogados con un caudal regulado, dependiendo ello de la estación del año y de las características propias de cada mallín" (2011:66). Evitando de esta forma crecidas extraordinarias y disminuyendo la erosión aguas abajo, así como también proveyendo de agua gran parte de año.

Los suelos juegan un papel sumamente importante en el desarrollo de la vegetación natural, no obstante la relación es recíproca. Los suelos de la CARN presentan un régimen de humedad con edafoclima xérico, presentando déficit de humedad en verano. En las zonas cercanas a afloramientos rocosos de las altas cumbres y divisorias de aguas o en ciertos sectores asociados a mesetas de tipo basálticas, dominan los suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas holocenas (Andosoles); estos suelos son moderadamente profundos, con materia orgánica y un leve a moderado déficit hídrico estival (Vitrixerandes típicos y mólicos, Udivitrandes típicos y Haploxeroles vitrandico), la textura dominante en este grupo de suelos de del tipo franco arenosa con retenciones hídricas elevadas (Irisarri *et al.*, 1979; CFI – COPADE, 1991; Bran *et al.*, 2002), por lo que presentan una buena aptitud para el desarrollo de la vegetación. Un ejemplo se presenta en las Lagunas de Epulafquen y otros valles cordilleranos, donde se ha desarrollado un bosque denso de roble pellín (*Nothofagus obliqua*) y Ñire (*Nothofagus antártica*) que contrasta con el resto de la zona dominada por vegetación herbácea y arbustiva (Bertani, 2011).

En las zonas adyacentes a ríos, arroyos y mallines prevalecen los suelos húmedos, profundos, de textura franca limosa, provistos de materia orgánica y en muchos casos con una capa de agua subsuperficial (Haplacuoles énticos y Humacuenptes típicos) (Bran *et al.*, 2002).

- **Hidrografía**

En el plano hidrográfico, la CARN posee un escurrimiento superficial dendrítico con una densidad de drenaje de 0,24 km/km² y una orientación Sureste (Figura 4). El río Neuquén en su tramo superior, se extiende por unos 60 km, como un único tramo de aguas cristalinas, el cual se

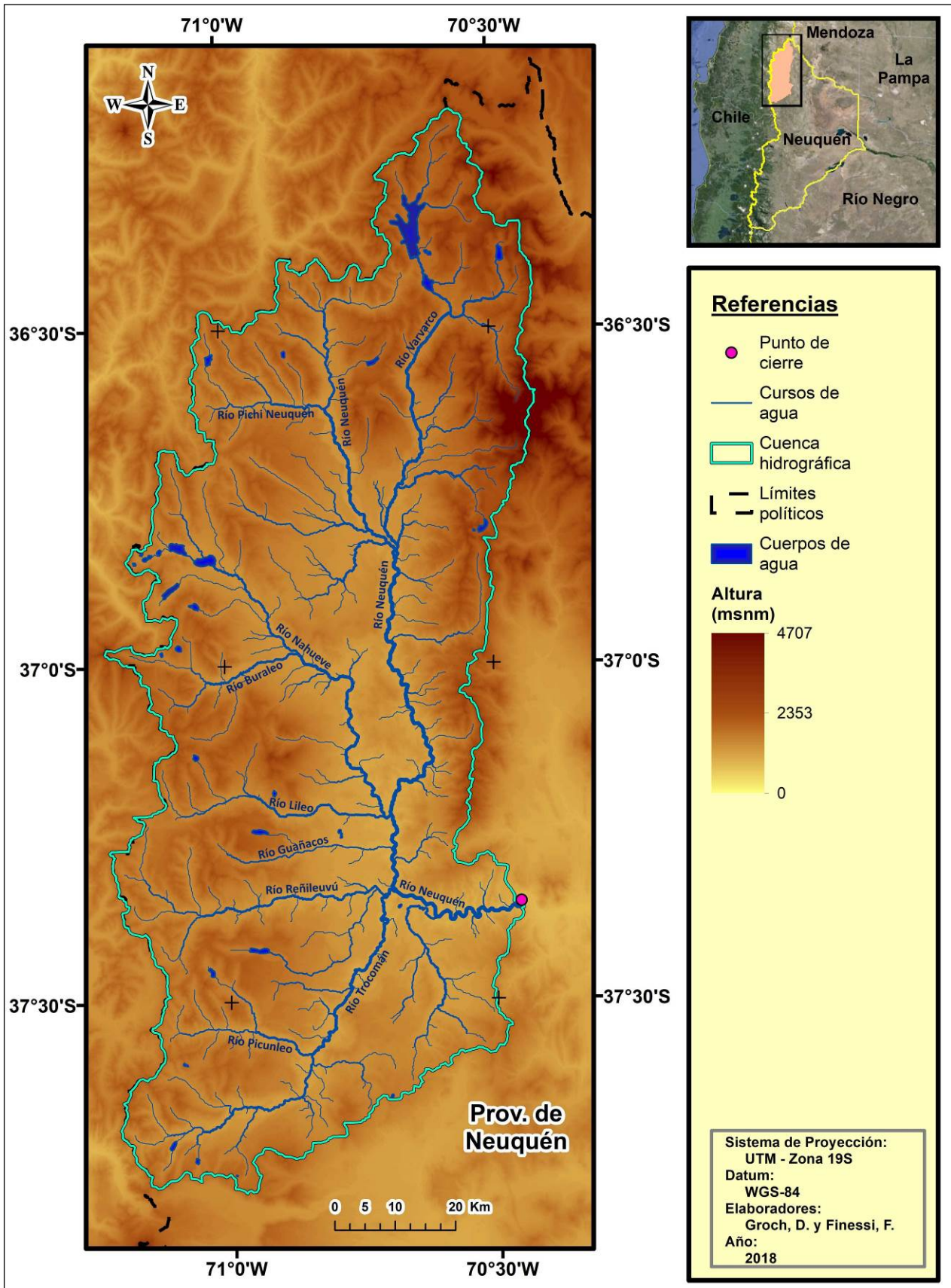
prolonga entre el Cajón de los Chenques a 2.280 msnm y la confluencia con el río Varvarco. Debido a la presencia de una intrincada red de pequeños afluentes y por su variación anatómica, se divide al mismo en cuatro sectores (Flores, 2004). El río Neuquén nace en el Cajón de Los Chenques, al Oeste de la laguna Varvarco Campos, el primer sector entre el Cajón de los Chenques y la confluencia con el río Pichi Neuquén, tiene una longitud de 23 km. Hacia el Oeste recibe aportes por ambas márgenes y desde los cordones que lo encierran cauces numerosos y cortos. Un desprendimiento cordillerano, espolón del cerro de los Caballos, le hace cambiar el curso hacia el Sur, en la confluencia con los arroyos Chañas y Pehuenches a los 1.600 msnm. A partir de allí se da origen al segundo sector donde recibe el aporte de numerosos afluentes en la margen derecha desde la Cordillera de los Andes. Por ejemplo, el río Pichi Neuquén, de 27 km de largo y junto con un arroyo menor, el Piquén, desagua en la CARN una cuenca de 200 km². Aguas debajo de esa confluencia, el cauce colector se dirige de Norte a Sur descendiendo en altitud, provocando rápidos y correderas (Flores, 2004). El Cordón de las Flores y la Cordillera de los Andes captan un gran número de afluentes, generalmente cursos cortos y caudalosos en épocas de lluvia (ej. arroyos Chañar y Calmuco, y ríos Curamileo y Roblecillos). Hacia el Sur, por la margen derecha el río Neuquén recibe al arroyo Quebrada Honda, al arroyo Ranquileo y al río Varvarco (el cual es formado por el aporte que recibe de varios cauces), mientras que por la margen izquierda recibe el arroyo Huaraco Norte y el arroyo Butaló.

En el tercer sector, de 110 km de longitud, el río se extiende entre la confluencia del río Neuquén con el río Varvarco, y la ciudad de Chos Malal. En la Cordillera del Viento, el Vn. Domuyo (4707 msnm) actúa como centro dispersor de agua, presentando una red radial divergente, naciendo del mismo el río Varvarco dirigiéndose en dirección Sur por la ladera Oeste de la cordillera (Ostertag y Cuello, 2005). El río, recorre la zona paralela a la Cordillera del Viento, mientras capta numerosos afluentes, tales como los arroyos Huaraco Norte, Butalo, Huinganco (Flores, 2004) (Figura 4).

Próximo a la localidad de Andacollo, el río Nahueve se transforma en un afluente desde el sector Oeste. El mismo proviene de cerros de la cordillera andina que recogen los caudales de los lagos Epulauquen, Vaca Lauquen y Pajaritos. Por margen derecha y aguas abajo desagua en el colector los arroyos Milla Michico y Lileo, y el río Guañacos, más al Sur el Pincuneo. Al llegar a Rincón de las Piedras, el río Neuquén realiza un brusco cambio de dirección en sentido Oeste-Este. Allí recibe uno de sus principales afluentes, el río Reñileuvú, el cual antes de desaguar en el río Neuquén recibe desde el Sur al arroyo Nereco y al río Trocomán (Bustinza *et al.*, 2011). La red hídrica para la CARN posee una longitud total de 2.020 km, siendo la longitud media de la misma de 5,59 km.

Además de los numerosos ríos y arroyos mencionados, la CARN presenta cuerpos de agua de distinta magnitud, siendo la laguna Varvarco Campos la de mayor extensión con una superficie de 2.510 ha (Bertani, 2011).

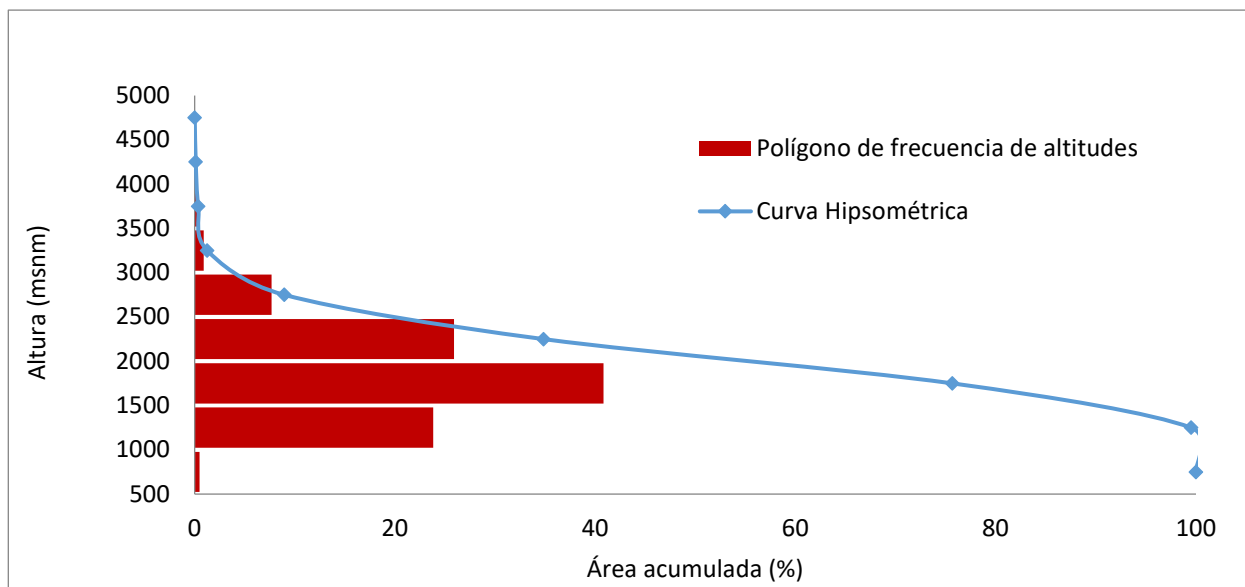
Figura 4: Red hidrográfica de la CARN.



Fuente: elaboración propia.

El río Neuquén presenta las mayores superficies en alturas comprendidas entre los 1.500-2.000 msnm (3.382,56 km²) y los 2.000-2.500 msnm (2.145,14 km²), mientras las mayores alturas, entre los 4.500-5.000 msnm, representan una superficie total de 0,66 km² como se observa de la curva hipsométrica presentada en la Figura 5.

Figura 5: Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes.



Fuente: elaboración propia.

La variación de los caudales en función del régimen de precipitación en una cuenca, tiene variados niveles de complejidad acorde con las características físicas de la misma. Los valores de los caudales exhiben la relación entre las precipitaciones, la evapotranspiración y otras variables relacionadas con el balance hidrológico del sistema, por lo que es una de las variables sensibles a la variabilidad de los fenómenos meteorológicos y climáticos, como puede notarse a partir de la evolución temporal en el período.

La Figura 6 y 7 presenta la variación del caudal medio mensual y sus extremos, así como también el promedio anual de la Estación Rahueco -punto de cierre de la cuenca- sobre el Río Neuquén, para el período 2000-2014. Se puede observar que a inicios del otoño se produce el periodo de crecida, asociado al incremento de las precipitaciones existentes en el área de estudio, las cuales a su vez provocan un incremento en el caudal medio mensual del Río Neuquén superior a los 200 m³/s (pudiendo alcanzar un máximo de 500 m³/s). Dicho caudal se sostiene a lo largo del año hasta el periodo estival, presentado solo una leve disminución entre agosto y septiembre, momento de transición entre la disminución de las precipitaciones y el comienzo del periodo de fusión nival. Posteriormente inicia un periodo de disminución del caudal a partir del mes de diciembre perdurando hasta marzo.

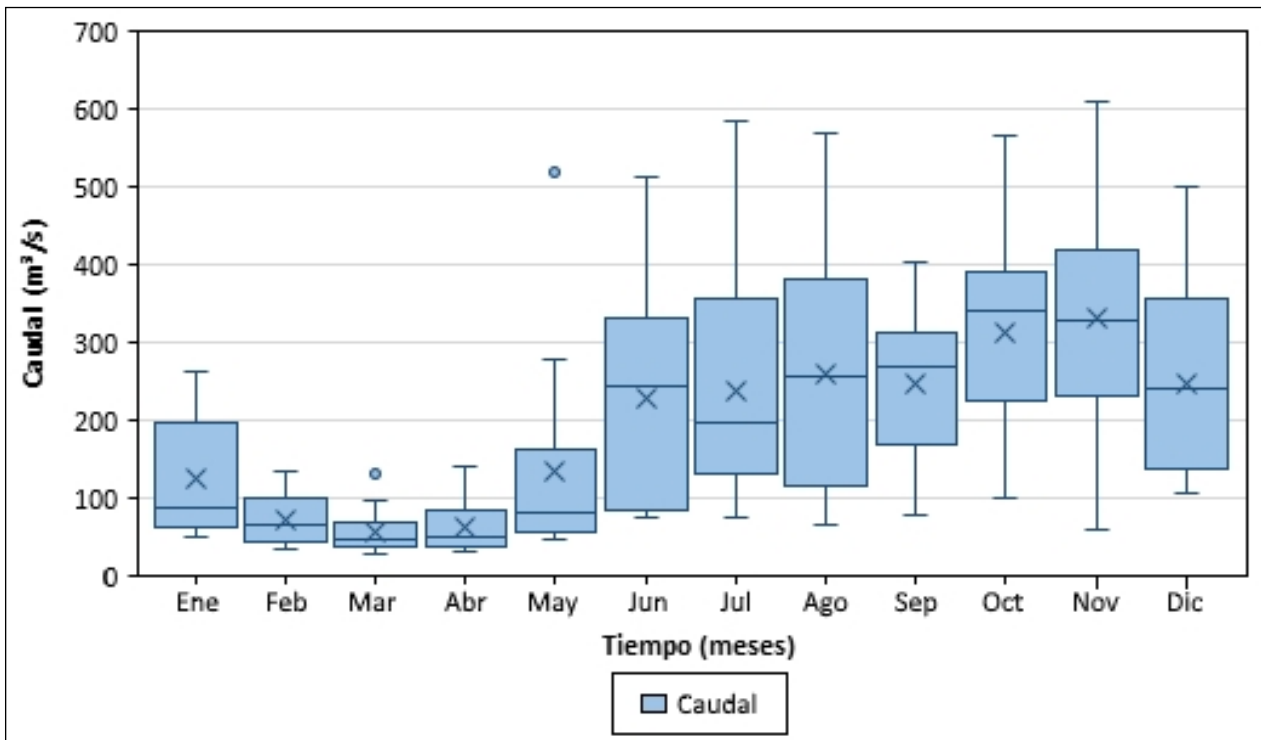
Los eventos extremos principales con variaciones de caudal fueron: un máximo en julio de 2001, en el que la media mensual se incrementó en un +245%, pasando de 239 m³/s a 584,5 m³/s; y uno en mayo de 2008 con el incremento de +388%, con respecto a la media con un caudal medio mensual que aumentó de 134 m³/s a 520,2 m³/s; y mínimos mensuales, en marzo y abril de 2014, durante los cuales se presentó la mayor variación histórica respecto de la media mensual con -52,0% y -53,0% de disminución respectivamente (Figura 6). El estudio de dichos eventos cobra relevancia

a la hora de evaluar la vulnerabilidad de los centros poblados que se encuentran próximos a los cursos de agua.

El régimen hidrológico natural de la CARN es pluvio-nival, y se caracteriza por poseer una doble onda de crecida. La primera de ellas ocurre en época invernal (mayo a julio) cuando se producen las mayores precipitaciones. La precipitación de nieve, se acumula en la parte alta de la cuenca y da lugar posteriormente a la segunda onda de crecida hacia fines de la primavera (octubre a diciembre) en el período de fusión (Salcedo, 2011; Valicenti, 2001; Bustinza *et al.*, 2011).

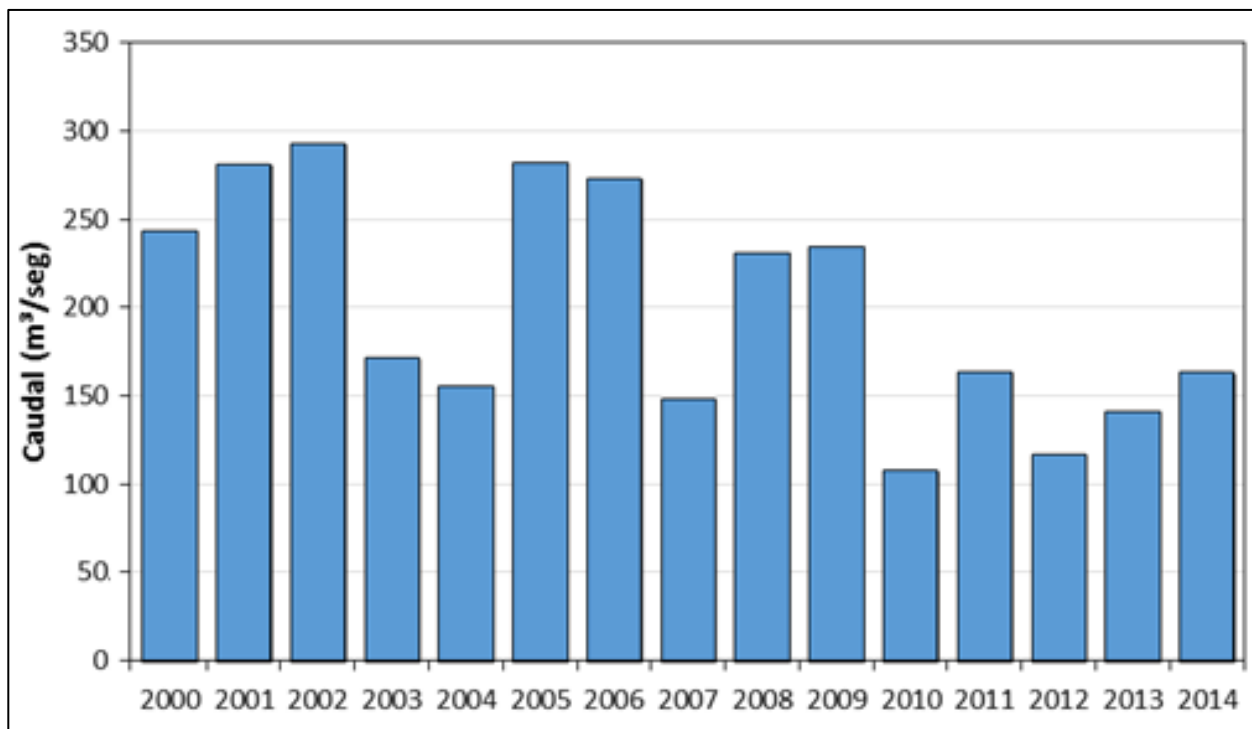
La nieve, los glaciares y los mallines en los sectores más altos de la cuenca, regulan el sistema hídrico durante todo el año. La fluctuación en el comportamiento de los ríos, al recibir constantes aportes, garantiza ciertos niveles de caudal particularmente importantes durante el período estival (Groch, 2015). Los cuerpos de hielo en la CARN se observan principalmente en las altas cumbres de la Cordillera del Viento. Groch y Cogliati (2017), inventariaron 29 glaciares que cubren una superficie de 1,1 km² en el año 2012 (sin considerar los existentes en la cara oeste del Vn. Domuyo). La Figura 8 presenta la ubicación y característica de algunos de ellos.

Figura 6: Variación mensual de los valores medios y extremos de la Estación de aforo Rahueco sobre el Río Neuquén. Caudales en m³/s para el período 2000-2014.



Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC.

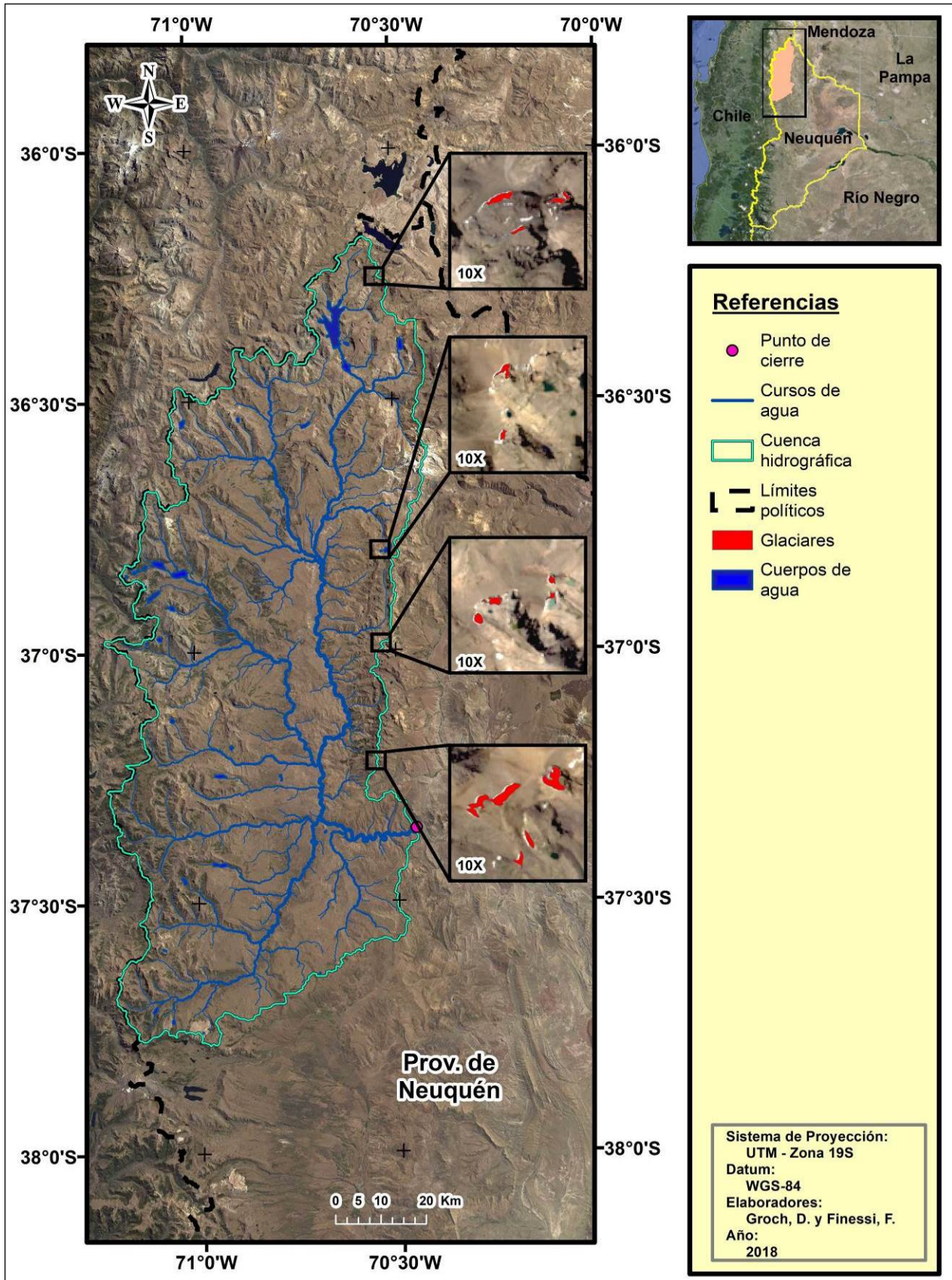
Figura 7: Estación de aforo Rahueco sobre el Río Neuquén - Promedio de caudal anual en m³/s para el período 2000-2014.



Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC.

Con respecto al agua subterránea, según lo expuesto por Zollner y Amos (1973), en función de la estratigrafía y la estructura tectónica de la región, la misma no presenta estructuras apropiadas para la acumulación de aguas subterráneas. Perforaciones llevadas a cabo en la década del '70 en las cercanías de Chos Malal, denotan que la profundidad alcanzada fue de 12 y 20 m, infiriéndose que el agua encontrada provenía de infiltraciones del río Neuquén. En relación a ello Ostertag y Cuello (2005) expresan que en la CARN los niveles freáticos no tienen continuidad debido a que las sedimentitas falladas y plegadas del mesozoico, no permiten el desarrollo de un acuífero de tipo continuo. El agua de lluvia por lo tanto infiltra a través de las diaclasas de la roca y da origen a vertientes naturales en los bordes de las mesetas.

Figura 8: Representación de algunos cuerpos de hielo de la Cordillera del Viento para el año 2012.



Fuente: Groch (2015).

Caracterización socio-económica

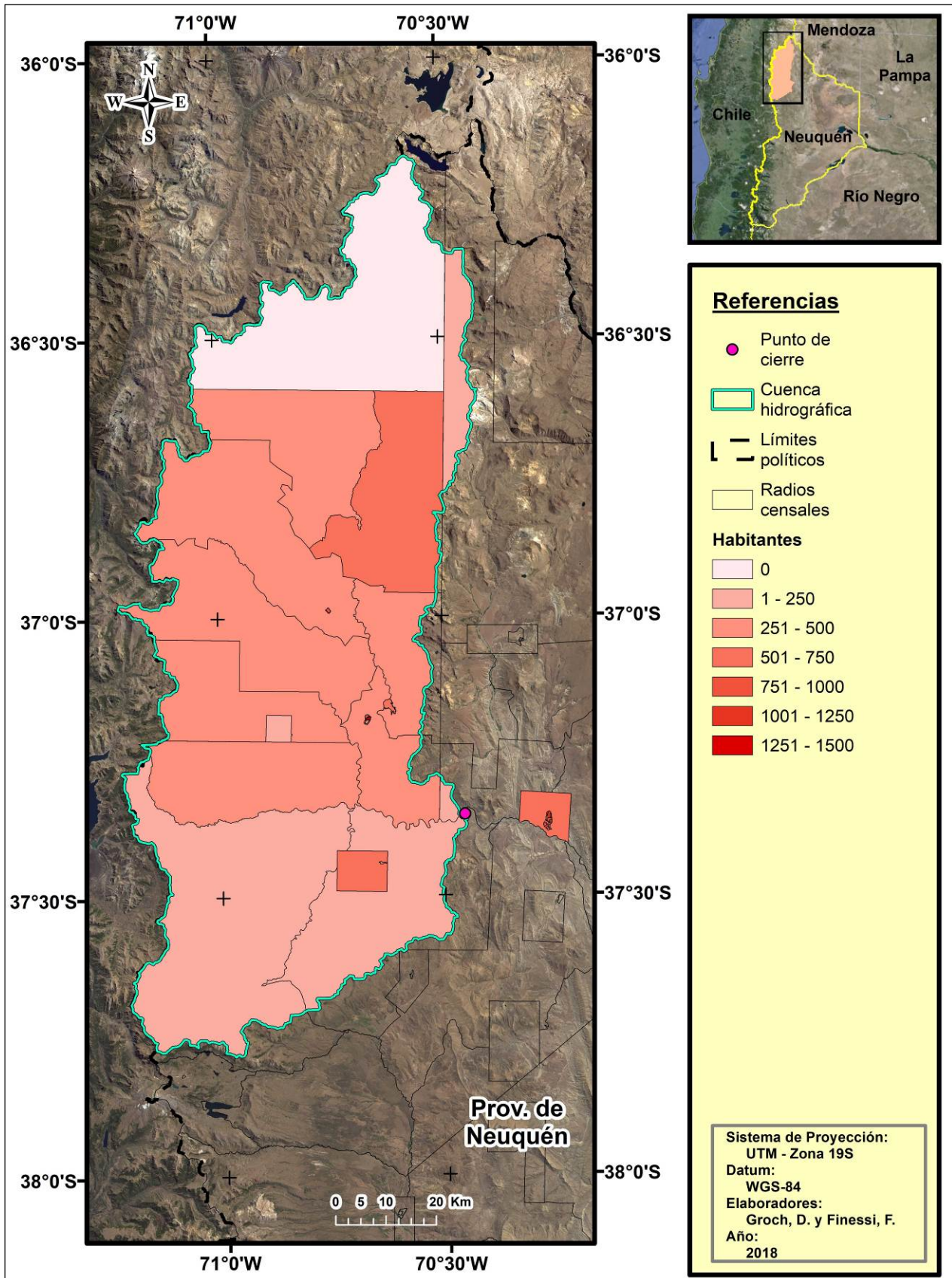
Con respecto a las características sociales del área, la dinámica de poblamiento en la cuenca se dio en períodos diferenciados. En un primer momento se puede asociar a la región con el poblamiento indígena; en un segundo momento se da un crecimiento poblacional asociado a la economía que presentaba el Norte de la provincia del Neuquén, en la cual las actividades agrícolas ganaderas y la minería (oro), tenían destino directo a las zonas portuarias de Chile, a través del comercio por los pasos cordilleranos. Es por ello que en 1888, el Estado nacional localiza la instalación de la capital del Territorio de Neuquén en la localidad de Chos Malal (Bertani, 2011).

Luego del cierre de las fronteras nacionales y de la presencia del Estado, desde los albores del Siglo XX hasta 1960 aproximadamente, en la región se experimentó un aislamiento económico que llevó al despoblamiento de la misma. Dicho proceso comenzó a revertirse poco a poco hasta la actualidad, a través de la actividad forestal iniciada en la década de 1970 y el desarrollo del turismo en las últimas décadas. Estas se constituyeron como las nuevas actividades productivas que se desarrollan en el área, las cuales colaboraron con la consolidación los centros urbanos ya existentes; pero también generaron nuevos centros de menor jerarquía asociados al éxodo de las áreas rurales circundantes. A lo largo del tiempo, la actividad por excelencia que ha caracterizado a la región es la ganadería del tipo extensiva y trashumante de ganado caprino, por lo que los requerimientos hídricos asociados se pueden relacionar a dichas actividades.

Las necesidades de agua debido a la población, se asocia a los centros poblados y parajes de tamaño variable, entre los que se destacan Andacollo, Chos Malal, El Cholar, El Huecú, Huinganco, Las Ovejas, Los Miches, Manzano Amargo, Varvarco y Villa Nahueve, aunque se tiene conocimiento además de la existencia de más de 20 parajes esparcidos en la cuenca en estudio (Figura 1). Los centros poblados se caracterizan por ser pequeños, con menos de 2.500 habitantes (a excepción de las ciudades de Chos Malal y Andacollo), alcanzando la CARN y su área de influencia 21.530 habitantes, con una densidad de 2,58 hab./km². La Tabla 1 en Anexo exhibe la cantidad de habitantes por radio censal en la CARN para el año 2010, mientras que la Figura 9 muestra la distribución espacial de los mismos. La mayoría de las poblaciones se encuentran próximas a los cursos de agua o a sectores asociados a los mismos (lagunas y/o humedales).

La CARN presenta un perfil socio-productivo basado en la producción ganadera extensiva, principalmente caprina trashumante, practicándose la misma en los valles donde se encuentran los mejores pastos que dependen de los regímenes de precipitación. Si bien la zona suele ser identificada por su perfil ganadero, desde 1960 surgió la actividad forestal con un claro objetivo social, el cual buscó revertir un fuerte proceso migratorio del campo a los centros urbanos.

Figura 9: Habitantes por radio censal en la CARN y Chos Malal para el año 2010.



Fuente: elaboración propia en base a datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010(INDEC).

- **Actividad ganadera**

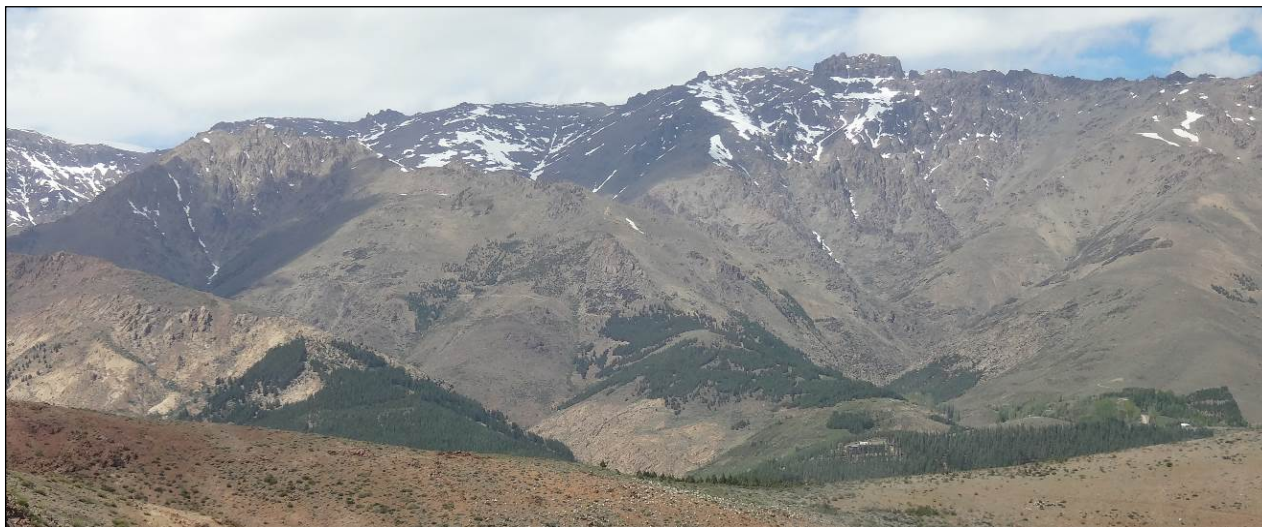
Históricamente la cuenca se organizó como un espacio en función de la actividad ganadera de tipo extensiva. Se caracteriza principalmente por la movilidad del ganado que se realiza entre las tierras bajas (campos usados para las invernadas, por debajo de los 1.600 msnm), que por lo general son áridas o semiáridas y las tierras altas (campos de veranadas) los cuales presentan buenas pasturas y en muchos casos el desarrollo de mallines. Esta movilidad espacial con carácter estacional, denominada trashumancia, se lleva a cabo transitando los callejones o caminos de arreo asignados para tal fin o bien a campo traviesa. En aquellos sectores donde circula y se estaciona el ganado, se observa que los suelos sufren una sobrecarga moderada/intensa (disminuyendo así la cubierta vegetal), influyendo así también sobre los recursos hídricos.

La actividad ganadera a pesar de haber sido la actividad más dinámica en el siglo XIX y primera mitad del XX, según los últimos Censos Económicos Nacionales (1988-2002) a nivel provincial decreció en el Producto Bruto Interno (PBI), siendo hoy insignificante su participación. Ello se debe al crecimiento de otras actividades (tal como la energética), sin embargo, la ganadería sigue siendo fundamental en el área de estudio. De hecho, según lo planteó Bertani (2011), la actividad en el Noroeste neuquino se ha visto incrementada, registrándose desde el Censo Nacional Agropecuario de 1978, lo cual implica que el Norte neuquino se ha consolidado como un espacio principalmente destinado al uso ganadero.

- **Actividad forestal**

Como se mencionó anteriormente, a mediados de la década del '60 comenzó a desarrollarse la actividad forestal con apoyo del Estado Nacional, y fuertemente promocionada por el Estado Provincial y algunos municipios. En la CARN la actividad forestal está presente en tres zonas principalmente, las cuales son Huinganco-Andacollo (Figura 10 y 11); las Lagunas de Epulafquen-Las Ovejas y en Varvarco-Manzano Amargo (Monte y Lacalu, 2010).

Figura 10: Sector forestado en la Cordillera del Viento en proximidades a Andacollo.



Fuente: Damián Groch

Figura 11: Sector forestado en proximidades a Huinganco.



Fuente: Damián Groch.

Estos emprendimientos, que en algunos casos llevan más de 25 años (Bertani *et al.*, 2004) se han desarrollado en base a distintos planes nacionales, provinciales y municipales, aunque la mayoría de los mismos corresponde a la empresa de capitales mixtos (provincial – privado) Corporación Forestal del Neuquén S.A. (CORFONE). La misma nació en el año 1974 como un programa de desarrollo económico y como una alternativa de diversificación de las actividades productivas del interior de la Provincia y depende en gran medida de los regímenes de precipitación y se utiliza además para protección de laderas de los efectos de la erosión. La actividad cobró importancia en la región, estimulando la creación de un aserradero con fines comerciales e industriales, principalmente para la producción de madera, ladrillos, aserrín y leña (Figura 12).

Figura 12: Aserradero de CORFONE en Las Ovejas.



Fuente: Damián Groch.

La forestación, por sus características, ha provocado conflictos con la actividad ganadera, ya que varios de los predios que han sido forestados, generaron el desplazamiento de antiguos pobladores rurales que tenían sus campos de cría en esas tierras, sumado al corte en los caminos de arreo entre las tierras de las veranadas e invernadas.

Además de la forestación con fines comerciales, la zona presenta una aptitud muy buena para la forestación con fines de protección de laderas según un estudio de Frugoni *et al.*, (1999). La protección de las vertientes es de suma importancia, explica Bertani (2011), ya que además de dar jerarquía al paisaje, contribuye a resguardar al suelo desnudo de los impactos de la gota de lluvia, retarda el escurrimiento y favorece la infiltración en este caso en la CARN. Algunos sectores forestados próximos a centros poblados, se constituyen actualmente como un resguardo de las laderas al ralentizar las escorrentías superficiales, evitando así procesos erosivos. Ejemplo de ello, se observa en los centros poblados de Varvarco, Las Ovejas, Butalón Norte y Huinganco, entre otros.

- **Actividad turística**

Otra actividad socio-económica que se desarrolla de manera incipiente en la CARN es el turismo, ya que el área cuenta con un enorme potencial asociado a la cantidad y diversidad de recursos de tipo paisajísticos, los cuales en su mayoría aún no han sido puestos en valor o ni siquiera están adecuadamente valorados. El Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo (COPADEV) plantea que es un espacio montañoso muy agreste, en gran parte ocupado por la cordillera de transición de los Andes que concentra atractivos naturales de importante jerarquía, y atraen el interés tanto de visitantes nacionales como extranjeros en las distintas estaciones del año. Complementariamente y como otro rasgo de importancia, se acentúan elementos culturales directamente relacionados con la vida y tradición histórica de la población local. Las numerosas fiestas populares y religiosas en distintas localidades dan cuenta de ella, a través de la trascendencia de las creencias, las formas de vida y la gastronomía local, entre otros componentes.

En relación a las características climáticas y al déficit de infraestructura, el turismo como actividad se desarrolla principalmente en el período estival, sobre todo porque la red vial del Noroeste del territorio neuquino es deficitaria y sólo hay unos 82 km de rutas asfaltadas correspondientes a la Ruta Provincial N° 43. Mientras que los caminos restantes son de ripio con diferentes niveles de transitabilidad y mantenimiento, desalentando a transitar por ellos a los visitantes. A todo ello se suma la intransitabilidad debido al ACN en gran parte de la cuenca durante el invierno.

Existen diferencias en el grado de conservación de los atractivos naturales, los cuales se mantienen en mejor estado en las áreas naturales protegidas provinciales, algunas de las cuales forman parte del destino actual de la mayor parte de las visitas turísticas a la región. Debido a que las características naturales, el relieve montañoso, con población dispersa, y los recursos hídricos, son excelentes para el turismo de naturaleza, se desarrollan actividades de montañismo, trekking de altura, senderismo, cabalgatas, camping, canotaje, rafting, pesca, observación de restos arqueológicos, turismo espeleológico, observación y participación en prácticas agro-ganaderas tradicionales (Martínez *et al.*, 2010). Las cuales son actividades que pueden desarrollarse en la región, sin grandes exigencias de infraestructuras complejas, ya que sólo requieren un adecuado manejo, para la protección y conservación de los recursos.

Según Bertani (2011), varias de las actividades señaladas anteriormente pueden ser compatibles y complementarias con la actividad forestal y ganadera, entendiendo que la forestación

produce diversos cambios en el paisaje, oportunidades recreativas nuevas y un espacio oportuno para emprender la educación ambiental. El denominado ecoturismo, en relación con la interpretación paisajística y la educación ambiental, es una modalidad según el autor, "que propicia la conservación de las áreas naturales a través del contacto directo y la comprensión de los procesos naturales, así como el agroturismo, que brinda la posibilidad de que crianceros y otros productores otorguen un valor agregado a sus tareas" (Bertani, 2011:94).

- **Actividad minera**

Dentro de las actividades antrópicas que utiliza en gran medida el recurso hídrico, se encuentra la minería, con emprendimientos en la CARN desde finales del siglo XIX hasta la actualidad. Según los registros existentes proporcionados por la SEMH al 2016, en la cuenca existen 69 yacimientos mineros de distinto tipo, concentrados mayormente en las proximidades a la Cordillera del Viento. La Tabla 1 presenta las sustancias existentes en la misma, teniendo en cuenta la cantidad de minas y la representación porcentual que poseen respecto al total existente. Cabe aclarar que la mayoría de los recursos hoy en día no están siendo explotados (o nunca lo fueron).

Tabla 1: Yacimientos mineros de la CARN para el año 2016.

Sustancia	Cantidad de minas	Porcentaje (%)
Baritina	9	13,04
Cobre	8	11,59
Cuarzo aurífero	4	5,80
Oro	45	65,22
Plomo	3	4,35
TOTAL	69	100,0

Fuente: elaboración propia en base datos proporcionados por la SEMH.

Si bien la actividad posee una larga trayectoria, el nivel de desarrollo en la CARN es incipiente. Hasta hace unos pocos años existía una explotación llevada a cabo por la empresa chilena-canadiense Andacollo Gold, la cual explotaba una mina de oro y plata en cercanías de la ciudad de Andacollo, actualmente paralizada (Figura 13). Sin embargo, fueron establecidas concesiones para los próximos años, por lo que se espera una reactivación.

La actividad minera tiene una notable influencia sobre el entorno ambiental circundante, por lo que los cursos de agua superficiales y subterráneos no se encuentran al margen de ello. La cercanía de las reservas minerales a los cursos de agua es actualmente de gran preocupación social, debido a que el impacto minero puede afectar notablemente la calidad del agua en la cuenca media y baja del río Neuquén, ya sea por los drenajes ácidos, los metales pesados, la contaminación química, perturbación de los suelos, entre otros.

Figura 13: Yacimiento de Oro próximo al río Neuquén.



Fuente: Damián Groch.

- **Actividad hidroeléctrica y geotérmica**

La actividad energética, depende en gran medida de la disponibilidad hídrica, en la CARN existen actualmente 20 proyectos potenciales para la generación de energía hidroeléctrica, de los cuales 12 (60%) se encuentran incluidos en la zona de estudio (Figura 14). Cabe destacar que cuatro de ellos son considerados “proyectos priorizados”, y se clasifican como centrales pequeñas (Los Guiones), medianas (Colo Michicó) y grandes (La Invernada y Pini Mahuida) según la potencia instalada. Según las proyecciones realizadas, la energía que se pretende generar alcanzaría los 1.337 MW (Tabla 2), lo cual supondría un abastecimiento eléctrico para consumo superior a lo generado actualmente por la central hidroeléctrica de El Chocón (1.200 MW). Al año 2014, los proyectos se encuentran desarrollados a nivel de Inventario, destacándose además proyectos para la generación de energía geotérmica (energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra que puede ser recuperada y explotada por el hombre) (ADI-NQN, 2014). En el área de estudio y su zona de influencia, se encuentran los proyectos geotérmicos “Copahue” y “Domuyo”, siendo el primero de ellos el principal recurso geotérmico conocido hasta el momento en el país (ADI-NQN, 2014). La potencia instalada alcanza los 30 MW en Copahue, y se encuentra aún sin determinar en Domuyo. Al año 2014, los proyectos se encuentran desarrollados a nivel de Factibilidad para Copahue y Pre-Factibilidad (2da. Fase) para Domuyo.

Además de sus implicancias en la generación de energía eléctrica, los diques participan en los sistemas de riego en los valles inferiores. Aguas debajo de la CARN, el complejo hidroeléctrico Cerros Colorados (con sus cuatro diques y sus cuatro embalses), se encarga de

controlar las crecidas para no anegar miles de hectáreas fértiles e inundar ciudades y pueblos y, a su vez, generar energía eléctrica. También asegura la provisión de agua para diversas actividades antrópicas, donde los sistemas de riego se han desarrollado de forma significativa para favorecer las actividades agrícolas y ganaderas, entre otras.

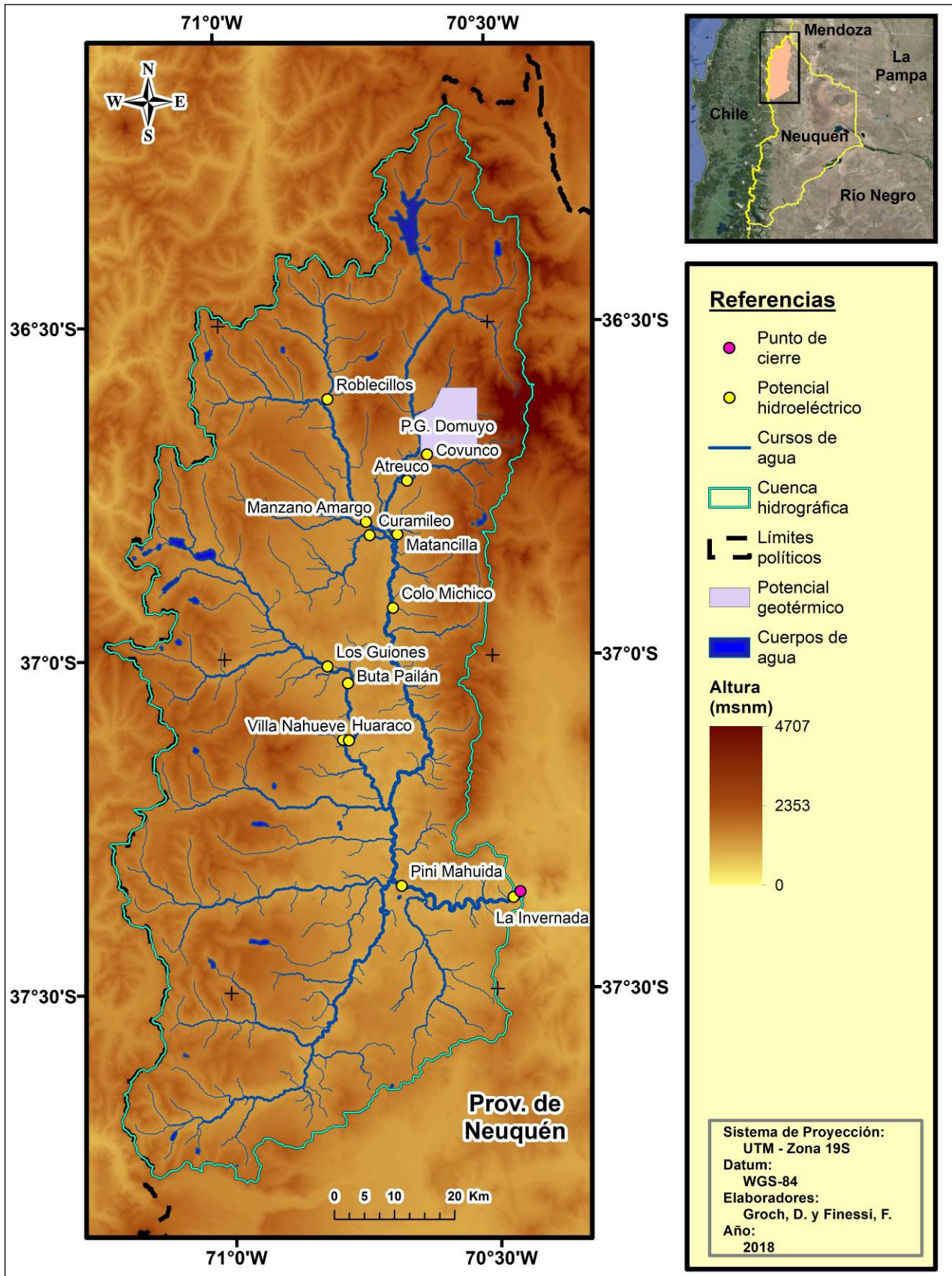
Tabla 2: Potencia instalada en los proyectos hidroeléctricos potenciales de la CARN.

Proyecto hidroeléctrico	Localización geográfica		Potencia instalada (MW)	Escala del proyecto según potencia instalada
	Latitud	Longitud		
Atreuco	36°44'13.5"S	70°39'12.9"O	54	Gran Central
Buta Pailán	37°02'21.9"S	70°46'13.6"O	94	Gran Central
Colo Michicó (P)	36°55'39.8"S	70°41'02.2"O	50	Mediana Central
Covunco	36°41'54.3"S	70°36'55.7"O	108	Gran Central
Curamileo	36°49'04.8"S	70°43'29.6"O	34	Mediana Central
Huaraco	37°07'27.0"S	70°46'53.7"O	48	Mediana Central
La Invernada (P)	37°21'50.5"S	70°28'02.2"O	322	Gran Central
Los Guiones (P)	37°00'49.4"S	70°48'28.6"O	30	Pequeña Central
Manzano Amargo	36°47'52.3"S	70°43'52.0"O	30	Pequeña Central
Matancilla	36°49'02.2"S	70°40'23.5"O	64	Gran Central
Pini Mahuida (P)	37°20'40.6"S	70°40'35.7"O	457	Gran Central
Roblecillos	36°36'47.3"S	70°47'55.8"O	46	Mediana Central
Villa Nahueve	37°07'30.5"S	70°46'14.1"O	4	Pequeña Central
TOTAL			1,337	-

(P): Proyecto priorizado.

Fuente: elaboración propia en base a ADI-NQN (2014), EMHIDRO (2014) y Secretaría de Energía (2008).

Figura 14: Potencial hidroeléctrico y geotérmico de la CARN.



Fuente: elaboración propia en base a ADI-NQN (2014) y EMHIDRO (2014).

Como resultado de la interrelación en la CARN de las variables físico- geográficas antes detalladas, puede decirse que el área de estudio se caracteriza por poseer relieve de tipo montañoso, en el cual existen grandes cordilleras: la de los Andes al Oeste y la del Viento al Este, actuando como divisorias de aguas de la CARN. Un 76% del territorio de la misma, está sobre la cota de 1.500 msnm, lo cual es un factor condicionante para la mayoría de las actividades humanas que se despliegan en este ámbito geográfico.

En la CARN los diferentes componentes de sistema, tal como la topografía, el clima, los suelos y la vegetación, marcan la dinámica y el funcionamiento del mismo, destacándose los vientos dominantes del Oeste que depositan a sotavento de las cadenas montañosas sedimentos finos. El flujo del aire del oeste, con ascenso forzado orográfico determina los gradientes espaciales de precipitación y participan en la formación de suelos profundos y con un mayor desarrollo en las laderas con orientación este en la CARN, que retienen con mayor facilidad la humedad y presentan mejores aptitudes para el desarrollo de la vegetación. Mientras que en las laderas Sur (umbría), al no tener exposición directa a la radiación solar, logran conservar mejor la humedad propicia en el perfil edáfico.

Las condiciones del relieve y el tipo de drenaje que se desarrolla en la CARN, posibilitan el aprovechamiento de los cursos de agua superficiales por parte de los habitantes de los centros urbanos y rurales, mediante la utilización de bombas y sistema de filtrado. En la zona rural se aprovechan los cursos temporarios por medio de canalizaciones y surcos para el riego o llenado de tanques (tipo australiano) de agua. En los parajes allí asentados, la extracción de agua se realiza a través de perforaciones por medio de molinos y/o bombas, casi siempre en cercanía de arroyos con regímenes semipermanentes y temporarios o de subálveos de escasa profundidad y caudales variables de tipo estacional. El aprovechamiento intensivo del agua generalmente se realiza a nivel superficial mediante captaciones o derivaciones de cursos de agua hacia los sectores de consumo (Colombino y Luengo, 2011).

Información utilizada

En este trabajo se utilizó información proveniente de diversas fuentes para completar la información del área, incluso en las zonas de difícil acceso.

Para el estudio y comprensión de algunos fenómenos espaciales asociados a los habitantes y actividades afectadas por los cambios en las variaciones hídricas de la CARN y su área de influencia, se empleó información oral y visual proveniente de trabajos de campo realizados en la zona, los que involucraron actividades en los centros poblados de Chos Malal, Andacollo, Huinganco, Las Ovejas, Caviahue, Copahue y el Área Natural Protegida El Tromen.

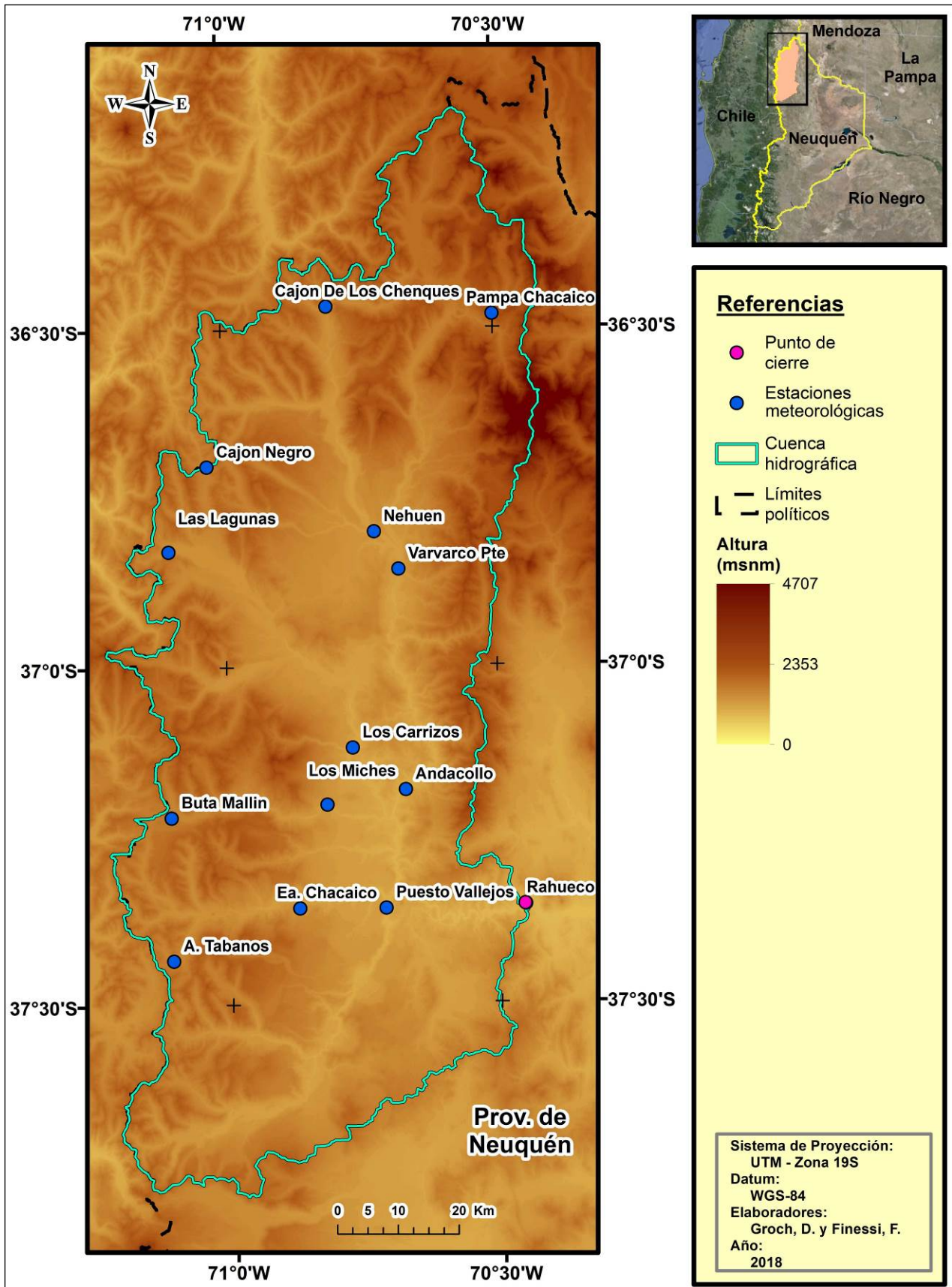
Para poder efectuar una comparación entre los distintos análisis realizados, fue elegido el periodo 2000-2014, donde se contaba con información completa de todas las variables.

El estudio de la cobertura de nieve se realizó empleando la variable Maximum Snow Extent, del producto MOD10A2 del satélite TERRA-MODIS (Hall *et al.*, 2006) para el período de 15 años. Se analizó la información diaria del período, pero teniendo en cuenta que en época invernal el área frecuentemente se encontraba cubierta de nubosidad, se decidió realizar el análisis a partir de 679 escenas obtenidas como composición de 8 días, desde el 26/02/2000 al 31/12/2014. La información incluye la extensión máxima de nieve, con corrección radiométrica y geométrica (Nivel 3, Colección 5) y una resolución espacial de 500 m.

Asimismo, se adquirieron datos hidrometeorológicos de 14 estaciones fijas en la CARN para el período 2000-2014, provistos por la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) (Figura 15 y Tabla 3).

Se utilizaron además dos series de datos del Índice de Oscilación Sur y el Índice Oceánico del Niño correspondientes al período 2000-2014, provistos por la NOAA.

Figura 15: Estaciones hidrometeorológicas utilizadas en la CARN.



Fuente: elaboración propia en base a información provista por la AIC.

Tabla 3: Estaciones hidrometeorológicas utilizadas en la CARN, ubicación geográfica, altura sobre el nivel del mar y período de información completa disponible.

Estación	Localización geográfica		Altura (msnm)	Período
	Latitud	Longitud		
Andacollo	37°11'05,7" S	70°40'22,3" O	1.072	1997-2014
Arroyo Tábanos	37°26'09,0" S	71°06'32,7" O	1.656	1997-2014
Buta Mallín	37°13'19,8" S	71°06'27,6" O	1.963	1997-2014
Cajón de Los Chenques	36°28'03,9" S	70°48'18,0" O	1.533	1997-2014
Cajón Negro	36°42'09,6" S	70°56'09,6" O	1.751	1997-2014
Estancia Chacaico	37°21'41,7" S	70°52'21,9" O	1.271	1997-2014
Las Lagunas de Epulafquen	36°49'39,3" S	71°06'11,5" O	1.505	1997-2014
Los Carrizos	37°07'17,9" S	70°46'11,5" O	1.233	1997-2014
Los Miches	37°13'26,1" S	70°46'42,3" O	1.109	1997-2014
Nehuen	36°48'06,7" S	70°43'25,1" O	1.225	1997-2014
Pampa Chacaico	36°28'56,8" S	70°30'10,1" O	2.580	1997-2014
Puesto Vallejos	37°21'34,6" S	70°42'45,0" O	917	1997-2014
Rahueco	37°21'20,5" S	70°27'11,8" O	876	1998-2014
Varvarco Puente	36°51'28,0" S	70°40'46,3" O	1.190	1997-2014

Fuente: elaboración propia en base a información provista por la AIC.

La metodología empleada incluyó la definición del tema a trabajar y sus objetivos, así como también sus alcances. Posteriormente se recopiló y consultó información bibliográfica pertinente a la temática hidrográfica (fuentes de información secundarias) a través del trabajo de gabinete, realizando así una selección, jerarquización y análisis de la misma. Esto dio lugar a la elección de los informantes calificados (fuentes de información primarias), con los cuales se establecieron encuentros, previa confección de entrevistas semi-estructuradas. Se realizaron trabajos de campo, en los cuales se efectuaron dichas entrevistas con el fin de verificar la información obtenida de las fuentes secundarias y poder así contrastarlas con las fuentes primarias. En función de los datos relevados en campo, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos, para interpretar la realidad en el contexto del marco teórico-conceptual seleccionado. Se estudiaron las características particulares del área, considerando los aspectos físico-geográficos (climatología, geomorfología – geología, hidrología, suelos, vegetación) descritas por Flores (2004), Valicenti (2001), Peña y Ostertag (2006); los cuales se encuentran íntimamente asociados a los aspectos socio-económicos del área, tales como la actividad ganadera, forestal, turística, minera e hidroeléctrica, estos temas fueron analizados por Bertani (2011), Martínez *et al.* (2010) y Pérez (1999), entre otros, tendiente a un mayor entendimiento de las implicancias del recurso hídrico sobre la zona de estudio.

Posteriormente a esa primera etapa, se procedió a la aplicación de un análisis muestral y temporal de las variables hidrometeorológicas, enfocando en la importancia sustancial del agua y específicamente en nuestra área de estudio, teniendo en consideración la influencia climática. Se procesaron datos satelitales (ópticos), hidrometeorológicos y censales, asociados al análisis hidrográfico de la cuenca, considerando la variabilidad y su dinámica particular, para la identificación de problemáticas asociadas. Se analizaron las correlaciones de las distintas variables hidrometeorológicas y nivo-glaciológicas, para entender la asociación de las mismas con fenómenos atmosféricos de distinta escala. Se planteó además el entrecruzamiento de la información, comprender el grado de relación entre las problemáticas y las variables recién mencionadas y se identificaron los eventos, especialmente en los últimos años, los cuales poseen una clara manifestación espacial, y se verificó su relación con las actividades de la población asentada dentro de la cuenca.

En todos los casos, se elaboró cartografía temática mediante la utilización del Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 10.3.

Análisis de información satelital

Se llevó a cabo el análisis nivológico, a partir de imágenes satelitales ópticas, ya que la cubierta de nieve estacional representa la principal fuente de alimentación de los ríos en las regiones montañosas. Dado que la información de superficie en zonas de montaña es escasa y de difícil acceso, el uso y análisis de imágenes satelitales ha sido ampliamente difundido y aplicado por diversos autores en distintas regiones (Dozier, 1989; De Angelis *et al.*, 2007; Rittger *et al.*, 2013; Bo-Hui *et al.*, 2013) y en la zona por Ostertag *et al.* (2008) y Cogliati *et al.* (2013 a-b, 2014 a-b, 2015 a-b-c).

Como en áreas de terreno complejo el acceso durante el invierno es muy dificultoso y las condiciones meteorológicas en altas altitudes son adversas para la instalación y mantenimiento de estaciones meteorológicas de superficie, la información suministrada por los sensores remotos es la única disponible en algunos sitios. La determinación del Área Cubierta de Nieve (ACN) en terreno montañoso adquiere importancia principalmente durante la primavera, ya que el comportamiento de esta variable, muestra cambios bruscos debidos a los aportes de precipitación nívea, fusión o influencia de lluvia en período de fusión, por lo que el cálculo permite estimar parámetros asociados a los caudales de la cuenca.

Los productos obtenidos a partir de las imágenes TERRA-MODIS incluyen mapas binarios automatizados de cobertura de nieve, desarrollados a partir de los algoritmos de Hall *et al.* (2002), Salomonson y Appel (2004), Riggs *et al.* (2006) y Rittger *et al.* (2013).

Los productos MOD10A2 fueron sometidos a una corrección geométrica, re proyectando la grilla sinusoidal a coordenadas geográficas, con un datum WGS-84. A partir de las mismas se realizó una máscara para seleccionar el área de estudio con presencia de nieve en las escenas seleccionadas; utilizando el software de visualización y procesamiento de imágenes satelitales ENVI 5.0 (Environment for Visualizing Images).

El producto MOD10A2 es generado por la NASA utilizando los productos de radiancia calibrada (MOD02HKM y MYD02HKM), los productos de geolocalización (MOD03 y MYD03), y los productos de máscara de nubes (MOD35_L2 y MYD35_L2). El algoritmo de cobertura de nieve basado en el NDSI (Normalized Difference Snow Index), identifica la tierra cubierta de nieve, hielo o agua. El algoritmo chequea primero que las fechas (MOD10A1) estén de acuerdo con el período de 8 días a considerar en el MOD10A2 y los ordena cronológicamente. Se analizan múltiples días para cada celda, si se encuentra cobertura de nieve para algún día, entonces esa celda se asume como nieve. Si no, se asume el valor que se encuentra repetido la mayor cantidad de días. Si ocurren observaciones mixtas y se observan días con nubes, el método toma un valor libre de nubosidad para minimizar los píxeles oscurecidos por la presencia de nubes (Riggs *et al.*, 2006). El procedimiento inicial para el cálculo de nieve (MOD10A1) por celda incluye la obtención del NDSI, el cual es un índice que considera las diferencias espectrales de la nieve en onda corta, infrarroja y visible del satélite MODIS para identificar la nieve entre en una escena. El NDSI se obtuvo según Hall y Riggs (2007), según los cuales para la asignación de nieve en superficie se seleccionaron valores de NDSI mayores a 0,4 y los valores que presentaran NDVI mayor a 0.1 con una temperatura de superficie menor a 277K.

Si bien la información del satélite brinda el área cubierta de nieve, no brinda información acerca de su densidad o profundidad; una idéntica profundidad de nieve puede dar lugar a distintos valores de Equivalente de Agua en Nieve (EAN) en función a su densidad. Cogliati *et al.* (2015b) puntualiza que la densidad de la nieve nueva está alrededor de 5% para una

temperatura de $-10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, de 20% para temperatura del aire de $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Después de su caída la densidad de la nieve aumenta debido a la gravedad, efecto del viento, derretimiento y recristalización. Valores típicos de densidad de la nieve se encuentran entre 10-20% en invierno y 20-40% en primavera, asimismo, la presencia de agua modifica la emisividad de la nieve y resulta en mayor temperatura de superficie, esto implica la elección de las pasadas de satélites en horarios matutinos; en el caso de los satélites MODIS el horario de pasada en el área en estudio es cercano al mediodía por lo que esto no sería aplicable. También se debe tener en cuenta que el derretimiento de la nieve ocurre principalmente en la temporada de fusión durante la época de incremento de la radiación solar y la temperatura del aire.

La cobertura de nieve no desaparece al mismo tiempo en todas las zonas de la cuenca, aunque presente un derretimiento uniforme, se observan diferencias en la distribución inicial de la nieve. La cobertura de nieve persiste durante un mayor tiempo a mayores alturas, por lo que en este trabajo se estudió la relación entre el ACN y los pisos altitudinales en el periodo 2000-2014, en lo que se refiere al momento de la mayor acumulación anual; la evolución de la cota de nieves eternas en los últimos 15 años; y la estimación del tiempo de fusión en la serie de datos, en relación con la temperatura.

Análisis de la información hidrometeorológica de superficie

Para el uso y manejo de datos hidrometeorológicos se consideró la dispersión espacial de la red de observaciones, las fuentes y períodos disímiles. En función de los períodos de adquisición de datos en cada estación y en concordancia con los períodos existentes de datos satelitales se llevó a cabo una selección de estaciones en la CARN y su área de influencia. En la Tabla 3 se presentan los períodos completos de datos disponibles para cada estación, y a partir de esta información se seleccionó el período 2000-2014 para el análisis por su coincidencia con la existencia de información satelital.

La información fue analizada mediante un análisis estadístico (media, desvío estándar y correlación de Spearman) para definir el comportamiento de las series temporales. A partir de allí, se estimaron los parámetros medios mensuales y anuales de la temperatura y la precipitación. Las variables fueron empleadas posteriormente para la caracterización del área de estudio y se calcularon los balances hídricos de estaciones localizadas dentro de la cuenca para definir los déficits y excesos de agua. El balance hídrico se obtuvo a partir de lo propuesto por Thornthwaite (1948), mediante el modelo computacional desarrollado por McCabe y Markstrom (2007) para la USGS. Este presenta ventajas comparativas frente a otros modelos, debido a la incorporación del análisis de la nieve para el cálculo. El modelo tiene en cuenta además, parametrizaciones del factor de escorrentía, humedad del suelo/capacidad de almacenamiento, umbral de temperatura para lluvia y nieve y velocidad máxima de fusión de la nieve. A partir de los balances, se analizó el déficit hídrico y el régimen de precipitación para las estaciones localizadas dentro de la CARN.

A partir del Equivalente Agua Nieve (EAN) se estudió la evolución de la nieve en altura calculando la variabilidad durante 15 años, para ello, se consideró la estación meteorológica Pampa de Chacaico ($36^{\circ}28'56.8''\text{ S}$, $70^{\circ}30'10.1''\text{ O}$) ubicada a 2.580 msnm. A su vez, se consideró el caudal de la estación Rahueco -punto de cierre de la CARN-, para conocer las fluctuaciones hidrográficas de la misma.

Teniendo en cuenta que diversos autores postulan una relación del fenómeno ENOS con adversidades hidrometeorológicas, se efectuó el estudio de la asociación entre la temperatura, la precipitación, el caudal y el EAN en las estaciones meteorológicas del área y del Área Cubierta de Nieve (ACN) con los índices representativos del fenómeno ENOS (ONI y SOI).

La correlación se estudió mediante pruebas de Spearman para determinar el grado de asociación y la significancia estadística de dichos resultados. Las estaciones seleccionadas para este análisis fueron "Rahueco" (ubicada al cierre de la cuenca), "Buta Mallin" (ubicada en la Cordillera de los Andes) y "Pampa Chacaico" (ubicada en la Cordillera del Viento), así como también la totalidad de la cuenca para el ACN.

En el análisis de ENOS se distinguieron las distintas fases del fenómeno (El Niño y La Niña por separado) y se realizó considerando ambas fases en conjunto.

Para la definición de la fase, se consideró que el comportamiento del índice se mantuviera al menos por 5 meses consecutivos. El caso neutral con ONI entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ y $0,5^{\circ}\text{C}$ y SOI igual 0 fue considerado como una fase diferente, para que el comportamiento sin presencia notoria de alguna fase no interfiriera estadísticamente y permitiera el análisis particular de las anomalías.

Las pruebas de correlación de Spearman se aplicaron a las series de datos consideradas, obteniéndose correlaciones con un nivel de significación del 5%, estadísticos descriptivos (media, mediana desvío estándar) y coeficientes de correlación (r) a partir de la Ecuación (1) de Anderson *et al.* (2008):

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

donde n es el número de elementos; x_i es el rango del elemento i respecto de una variable; y_i es el rango del elemento i respecto de la otra variable; $d_i = x_i - y_i$.

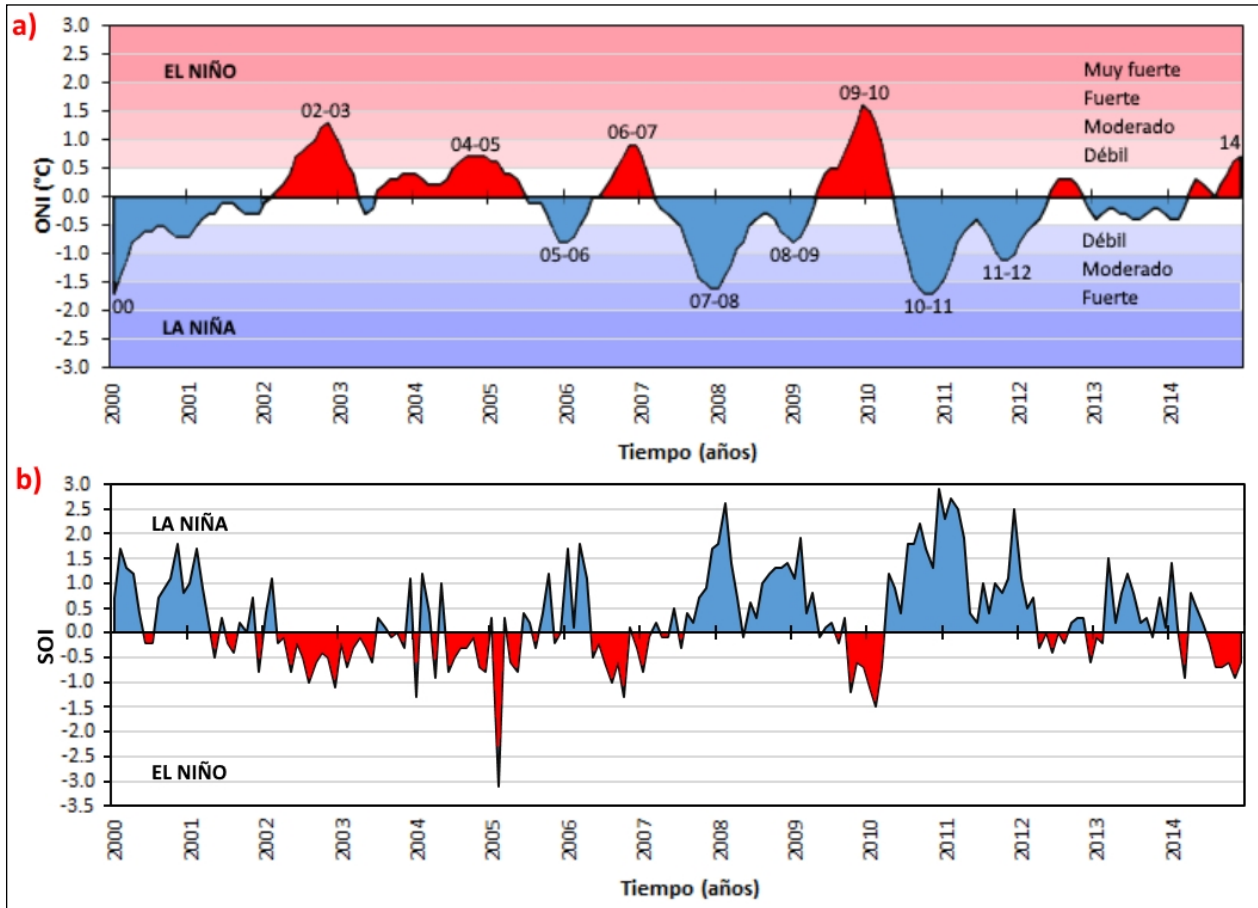
A fines prácticos se asociaron los distintos intervalos de r con intensidad del fenómeno, definiéndolos como muy débiles (0-0,19), débiles ($\pm 0,20$ - $\pm 0,39$), moderados ($\pm 0,40$ - $\pm 0,59$), fuertes ($\pm 0,60$ - $\pm 0,79$) y muy fuertes ($\pm 0,80$ - $\pm 1,00$). Las correlaciones entre los índices y la temperatura y la precipitación se realizaron para Buta Mallín, Rahueco y Pampa de Chacaico, las correlaciones con el EAN sólo se realizaron para las estaciones de cordillera (Buta Mallín y Pampa Chacaico) y el ACN para el total de la cuenca.

El caudal, fue analizado separando períodos diferentes, para identificar disímiles asociaciones y para poder comparar los resultados con otros autores: a) la totalidad el período considerando los eventos en ambas fases (2000-2014); b) el año hidrológico propuesto por la AIC para la nordpatagonia (abril-diciembre), c) el año hidrológico propuesto por Compagnucci y Araneo (2007) (junio a diciembre).

El caudal fue estimado con tiempos de retardo de 0 (R 0, sin retardo), 1 (R +1), 2 (R +2) y 3 (R +3) meses para posibilitar un análisis comparativo con Compagnucci y Araneo (2007), considerando de esta manera el tiempo que demora la nieve recién caída en fusionarse y llegar al punto de cierre de la cuenca. En estos casos se agregó además el análisis de artículos periodísticos para analizar aspectos socio-espaciales asociados al ENOS.

La Figura 16a presenta la evolución temporal del ONI y Figura 16b el del SOI. Se destacan principalmente los fenómenos de El Niño ocurridos en los años 2002-2003 y 2009-2010 (moderados), y los fenómenos La Niña de los años 2007-2008 y 2010-2011 (moderados).

Figura 16: Anomalías con respecto a la normal de ONI y SOI para el período 2000-2014. a) NOI – Anomalías con respecto a la normal para la TSM en la región Niño 3.4; y b) SOI – Anomalías con respecto a la normal para las presiones entre Darwin-Tahití.



Fuente: elaboración propia en base a información proporcionada por la NOAA.

El análisis de correlaciones entre las distintas variables hidrometeorológicas y nivoglaciológicas permitiría diagnosticar la asociación de las mismas con el fenómeno ENOS. El entrecruzamiento de la información se efectuó para relacionar entre las problemáticas y las variables, diagnosticando los eventos que presentaron variabilidad espacial, y se encuentran íntimamente relacionados con las actividades de la población asentada dentro de la cuenca.

A partir de los resultados se efectuó la interrelación de los artículos periodísticos para el análisis de la situación hídrica y su influencia en la cuenca, así como la propuesta de nuevos lineamientos de investigación asociados a la hidrografía de la CARN.

Análisis de resultados

A partir de la información recabada y la metodología descrita en el capítulo anterior se obtuvieron los siguientes resultados para las variables hidrometeorológicas en el área analizada. Las precipitaciones medias mensuales en el período (lluvia más nieve) fueron entre 0-50 mm en el 52,4 % de los meses, entre 50-100 mm en un 19,0 %, entre 100-200 mm en el 20,8 %, y un 7,7 % para el rango con precipitaciones superiores a 200 mm (Tabla 4).

De la información se desprende que las precipitaciones en la CARN se presentan durante todo el año, incrementándose de mayo a septiembre en aquellos sectores próximos a la Cordillera del Viento (Tabla 4), mientras que en sectores cercanos a la Cordillera de los Andes, las precipitaciones aumentan en el mes de abril. Las mayores precipitaciones medias mensuales en el período 2000-2014 se presentaron en todas las estaciones en invierno, con máximos en las estaciones Las Lagunas de Epulafquen y Arroyo Tábanos, alcanzando 572 mm y 347 mm respectivamente.

El promedio areal de la precipitación en la CARN en el período 2000-2014 presentó un valor máximo en junio (207.0 mm) y un mínimo (18.5 mm) en enero correspondiéndose con un régimen de precipitaciones de tipo “precipitaciones marítimas invernales” (Swerdtfeger, 1976) (Figura 17).

Artículos periodísticos denotan el incremento de las precipitaciones usualmente a partir del mes de abril en el norte neuquino, que se asocian a problemáticas socioeconómicas y daños materiales (Diario Río Negro, 2002, 2011b) en acuerdo con lo presentado en la Figura 17. En el período se observó, además, que tanto las precipitaciones pluviales o níveas y las bajas temperaturas en la zona, generaron problemas relacionados con cortes del suministro eléctrico y de gas, congelamiento de cañerías de agua y de la calzada sobre las rutas, vehículos varados/volcados y cortes de ruta por la acumulación de nieve, congelamiento de vertientes y arroyos que proveen de agua a la población, autoevacuación de familias afectadas, entre otros. A su vez, algunos eventos intensos de corta duración provocaron inundaciones, como las ocurridas en agosto de 2002 y marzo de 2011, con anegamiento de calles y tierras productivas, y socavado de obras de ingeniería civil (terraplenes de puentes). Estos eventos pusieron en evidencia la falta de obras de desagües aluvionales que permitan el escurrimiento rápido del agua, específicamente en las localidades de Taquimilán, Andacollo, Huinganco, entre otras del norte neuquino (Diario Río Negro, 2002, 2011b). La ocurrencia de precipitaciones intensas en las cabeceras de la CARN, generó el transporte de material sedimentario desde los sectores altos de la misma, alterando muchas veces la morfología de los cauces aguas abajo (Figura 18).

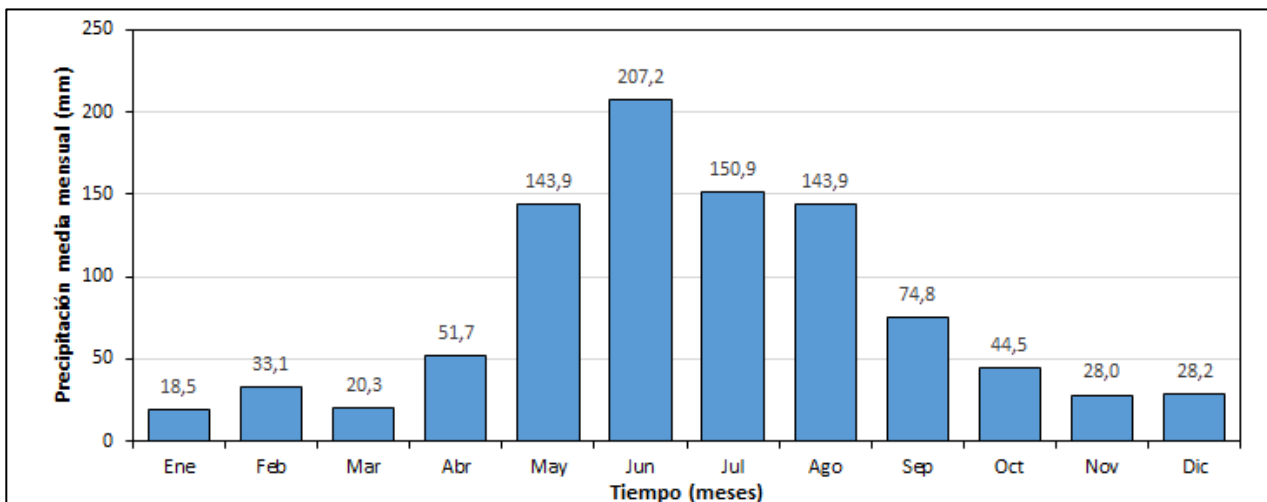
Tabla 4: Precipitación media mensual (mm) en las estaciones hidrometeorológicas consideradas en la CARN para el período 2000-2014.

Estaciones hidrometeorológicas	Tiempo (meses)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Varvarco	12,4	24,7	15,0	33,8	98,7	152,4	124,8	118,9	56,2	23,8	17,6	17,9	
Rahueco	8,2	15,4	10,5	20,4	53,3	72,0	45,4	48,1	22,6	12,5	9,2	10,9	
Puesto Vallejos	17,0	23,5	9,3	25,8	79,8	115,6	80,7	78,8	33,0	15,7	14,5	12,2	
Pampa de Chacaico	13,6	25,9	24,2	40,4	100,6	141,3	97,0	99,0	54,2	32,5	17,6	21,1	
Nehuen	15,7	29,5	13,2	36,0	101,9	171,9	115,4	118,3	62,1	35,4	20,7	19,5	
Los Miches	11,5	26,4	14,6	37,7	105,2	166,9	112,8	113,1	54,2	32,1	15,1	16,1	
Los Carrizos	15,8	29,9	13,1	42,5	140,7	217,7	171,3	148,1	85,1	37,2	19,4	20,6	
Las Lagunas de Epulafquen	45,2	72,5	56,8	142,0	402,4	572,7	434,0	406,8	225,5	140,1	88,9	89,9	
Estancia Chacaico	20,9	32,8	16,6	37,7	114,1	172,0	123,9	114,8	53,0	36,5	25,7	18,8	
Cajón Negro	19,7	29,3	12,7	64,1	170,5	207,6	154,8	142,8	73,7	51,4	29,8	30,2	
Cajón de los Chenques	17,9	30,4	22,9	62,8	181,5	265,1	201,5	190,5	104,3	54,9	27,9	29,1	
Buta Mallin	19,4	41,8	26,7	56,7	170,0	177,4	129,1	110,8	64,1	44,9	32,2	31,9	
Arroyo Tabanos	29,1	52,7	32,7	97,8	211,4	347,7	238,4	239,1	120,3	79,8	56,5	59,6	
Andacollo	13,2	28,8	15,8	26,5	83,8	121,1	83,7	84,8	39,4	26,8	16,9	16,6	

Precipitaciones: 0-50 mm 50-100 mm 100-200 mm >200 mm

Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC (pluviómetro totalizador: lluvia + nieve).

Figura 17: Precipitación media mensual total en mm de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas dentro de la CARN para el período 2000-2014.



Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC (pluviómetro totalizador: lluvia + nieve).

Figura 18: Rasgos de crecida sobre el río Neuquén en cercanías de Huinganco.



Fuente: Damián Groch.

A partir de los datos medios de temperatura del aire y precipitación se efectuaron los balances hídricos de estaciones hidrometeorológicas presentes dentro de la CARN (Figura Anexo 1, 2 y 3). Si se plantean los requerimientos hídricos de la cuenca, se obtiene déficit hídrico en algunas estaciones como se presentan en la Tabla 5.

Si bien el 49,3% de los meses en el período 2000-2014 no presentaron déficit hídrico, (entre 0 y 15 mm), el 4.3% de los meses presentaron una escasez de agua mayor a 45 mm mensuales, mientras que en 20,3% del período el déficit fue 30-45 mm y en 26,1% del período el déficit fue entre 15-30 mm.

El déficit de agua se presentó principalmente a partir de noviembre, hasta los aportes pluviales de abril en concordancia con el aumento de la temperatura media. En algunos casos se extendió desde septiembre-octubre hasta abril inclusive, siendo la estación Pampa de Chacaico la única que presentó una variación debido a los aportes nivales en detrimento de los pluviales.

Desde el punto de vista social, el déficit se ve reflejado en problemáticas asociadas a la actividad ganadera, ante la baja disponibilidad de agua y pasturas existentes. El ganado movilizado durante la trashumancia aprovecha los mallines y cursos de agua de deshielo, sin embargo su abundancia determina la calidad de las áreas para su práctica. La estación Lagunas de Epulafquen, presentó el máximo de precipitación media y además denotó los requerimientos de agua asociados a evapotranspiración, cubiertos en la mayor parte del año, con excepción del mes de enero en que se presentó un déficit de 6,5 mm. En la mayoría de las estaciones el periodo invernal tuvo cubiertos los requerimientos de agua, lo que se asociaría con los descensos en la temperatura media mensual y el régimen de precipitación. El mayor déficit se presentó en la estación Rahueco en diciembre con 78.3 mm.

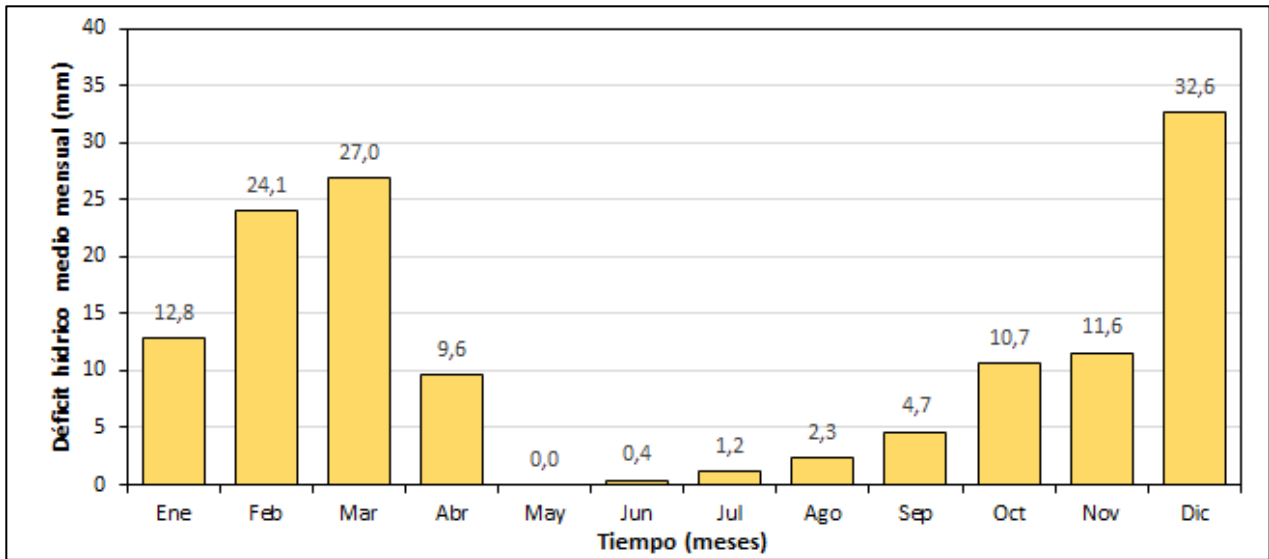
Tabla 5: Déficit hídrico medio mensual a partir de la información de balance hídrico en las estaciones meteorológicas presentes en la CARN para el período 2000-2014.

Estaciones hidrometeorológicas	0				1				2				3				4				5				6				7				8				9				10				11				12			
	0				1				2				3				4				5				6				7				8				9				10				11				12			
Varvarco	15,7	32,2	34,1	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	30,5										
Rahueco	20,2	57,3	53,2	22,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	20,7	43,8	78,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
Puesto Vallejos	16,2	36,5	41,1	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	13,8	43,1	0,0												
Pampa de Chacaico	8,1	8,6	7,8	0,0	0,4	0,4	1,2	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0												
Nehuen	14,7	26,6	31,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	23,3														
Los Miches	14,9	27,7	31,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	25,7														
Los Carrizos	15,9	31,3	36,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	28,9														
Las Lagunas de Epulafquen	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0												
Estancia Chacaico	12,2	18,8	23,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	17,1														
Cajón Negro	9,4	12,1	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0												
Cajón de los Chenques	12,4	19,8	20,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0												
Buta Mallin	8,4	4,9	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0												
Arroyo Tabanos	8,3	3,1	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0												
Andacollo	16,8	34,2	37,5	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	36,6														

Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC.

El promedio areal del déficit hídrico en la cuenca registró un máximo en el sector Sureste para el período 2000-2014, con 78,3 mm, mientras el sector Este, correspondiente a la Cordillera de los Andes, presentó los déficits mensuales menores a 15 mm (1 a 3 meses). La marcha anual del déficit hídrico medio mensual alcanzó su pico máximo en el mes de diciembre con 32,6 mm, seguido de marzo y febrero con 27,0 y 24,1 respectivamente, en todas las estaciones. De abril a septiembre, la CARN presentó los menores déficits acumulados, siendo inferiores a 10,0 mm (Figura 19). Los meses de octubre de 2010 y enero de 2011 presentaron un déficit hídrico asociado a eventos de sequía en el área de estudio. Las mismas, fueron registradas en información periodística debido a que trajeron aparejada la mortandad de animales debido a la falta de pasturas y la pérdida de 2.000 hectáreas por incendios de pastizales y matorrales (Diario Río Negro, 2010, 2011a).

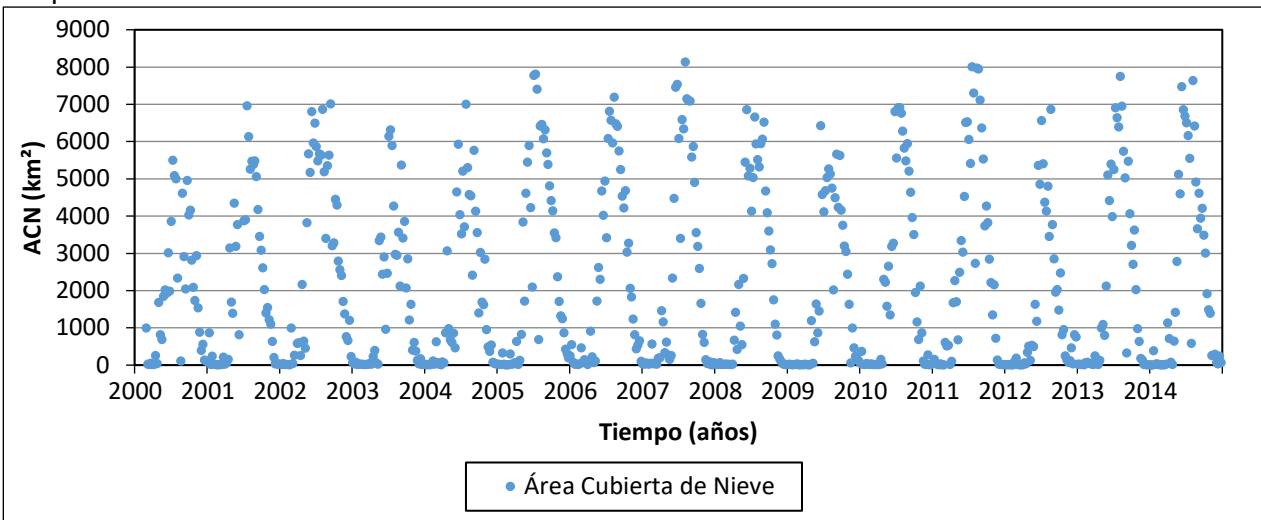
Figura 19: Déficit hídrico medio mensual total en mm a partir de la información de balance hídrico en las estaciones hidrometeorológicas ubicadas dentro de la CARN para el período 2000-2014.



Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC.

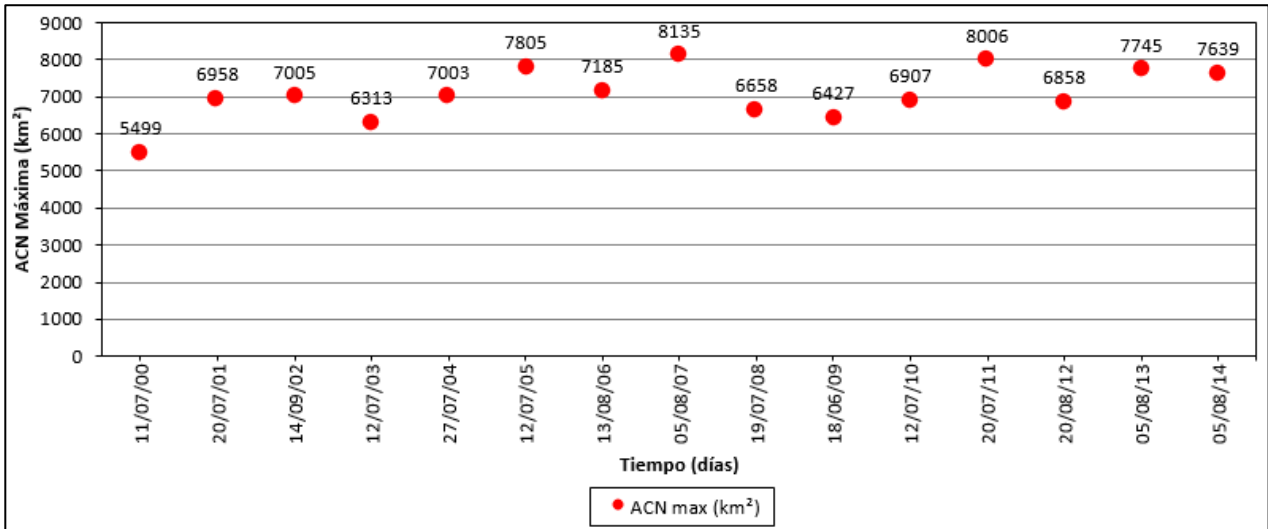
Otras de las variables asociadas a la disponibilidad del agua en la cuenca es el ACN, cuyo comportamiento se vincula a las variables meteorológicas (precipitación y temperatura) recién analizadas. El ACN presentó marcadas oscilaciones interanuales (Figura 20). El ACN máxima absoluta fue 8.135,5 km² en agosto de 2007, presentando una tendencia positiva de 39,6 km²/año en sus valores máximos para el período 2000-2014 (Figura 21).

Figura 20: Evolución temporal del ACN para la CARN en el período 2000-2014 obtenido a partir del producto MOD10A2.



Fuente: elaboración propia en base a productos MOD10A2.

Figura 21: ACN máxima para la CARN en el período 2000-2014 obtenido a partir del producto MOD10A2.



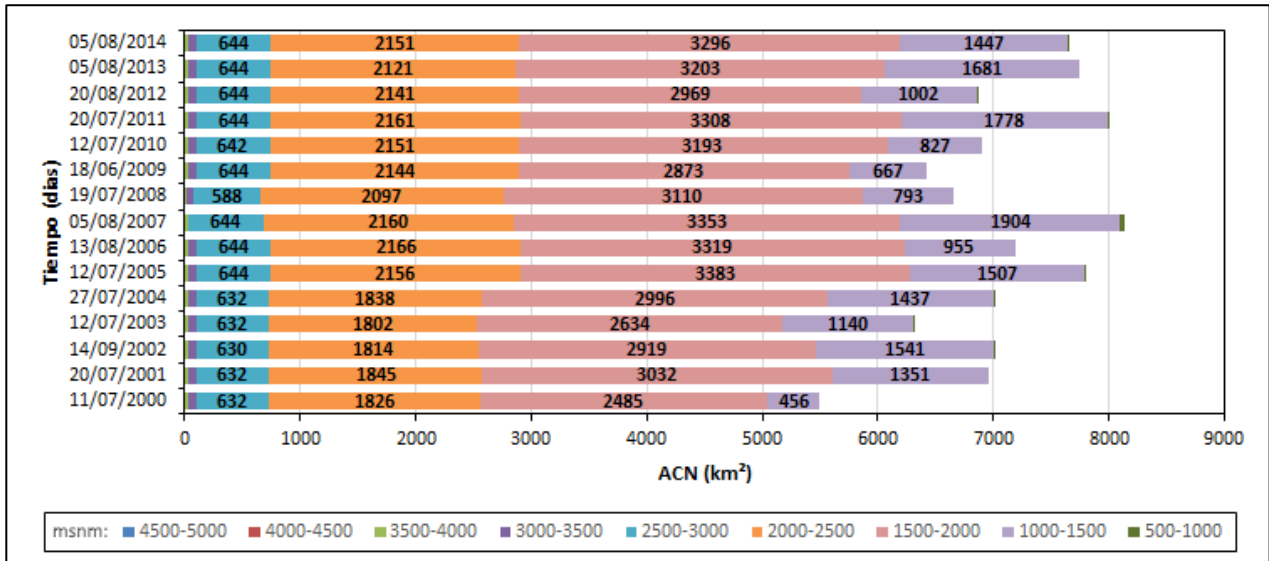
Fuente: elaboración propia en base a productos MOD10A2.

Debido a la resolución espacial del sensor MODIS (500 m) se considera que las estimaciones del ACN en los años con mínimos absolutos correspondieron exclusivamente a los glaciares existentes en las altas cumbres. Ello es posible inferirlo, teniendo en cuenta que el ACN mínima en el período fue inferior a los 20 km², teniendo una mínima absoluta de 2,1 km² en febrero de 2012

Por otro lado, el ACN máxima anual denotó una relación con los escalones altitudinales (Figura 22). Los años 2007 y 2011, con mayor ACN, coincidieron a su vez con una mayor ACN en los pisos inferiores (1000-2500 msnm). En dichos años, las cubiertas néveas cubrieron casi la totalidad de la cuenca (8.282 km²) con 8.135,47 (98,2%) en 2007 y 8.006,0 km² (96,6%) en 2011. Si bien los escalones de mayor altitud no presentaron marcadas variaciones, se observó que los escalones inferiores a 2.000 msnm sufren mayores oscilaciones debido a la influencia del gradiente térmico altitudinal, ya que en caso de nevadas con poca precipitación o precipitación mixta y en los casos en que la temperatura no es lo suficientemente baja, la fusión ocurre rápidamente aún en período invernal.

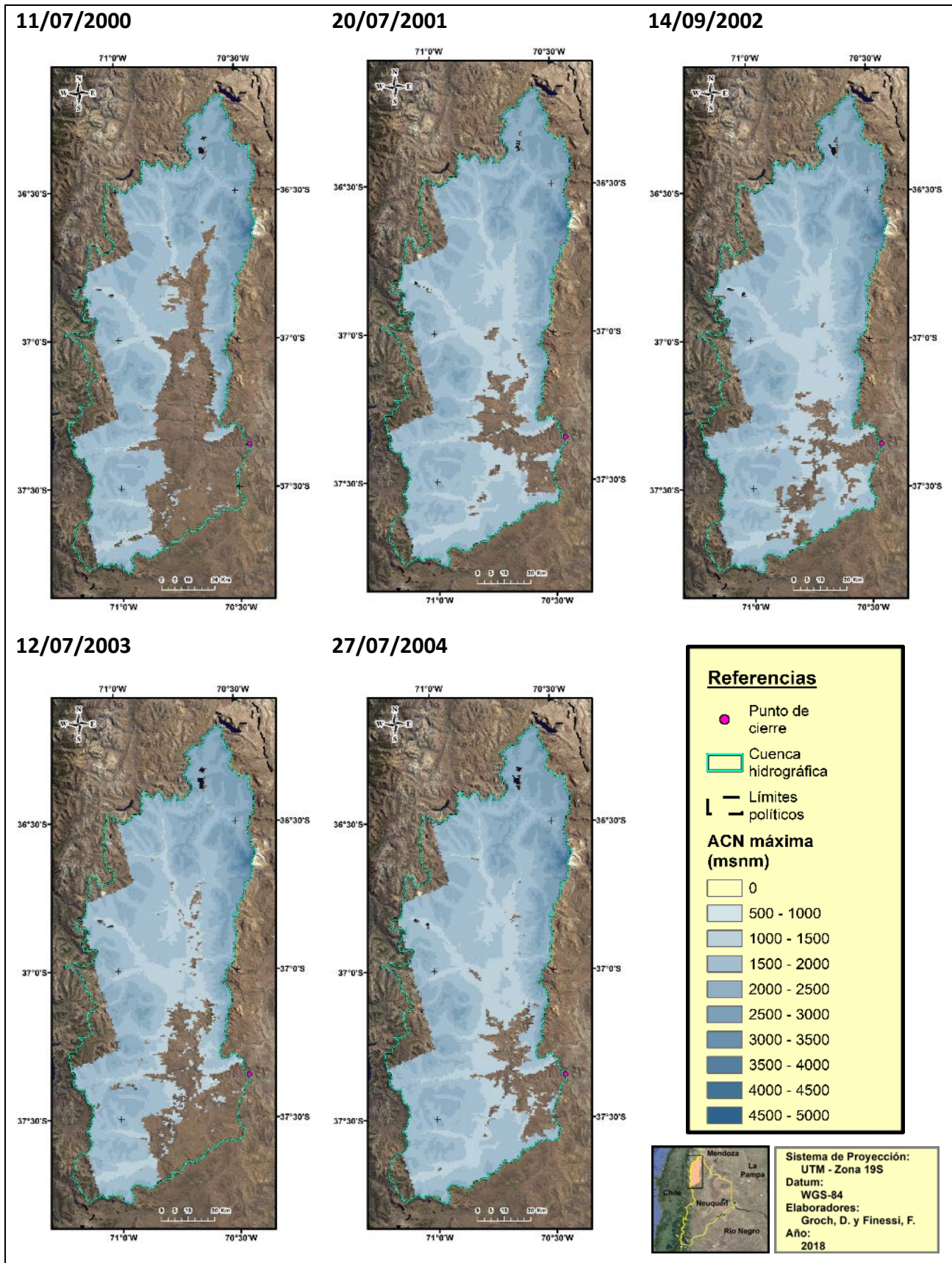
Cabe destacar que para los años 2000-2004, las escenas con ACN sufrieron una subestimación en el oeste y sur de la CARN, pudiendo deberse a un problema en la distinción de nieve y cubierta nubosa en la clasificación de los productos MOD10A2 (Figura 23 a 25).

Figura 22: ACN máxima por escalones altitudinales para la CARN en el período 2000-2014 obtenido a partir del producto MOD10A2.



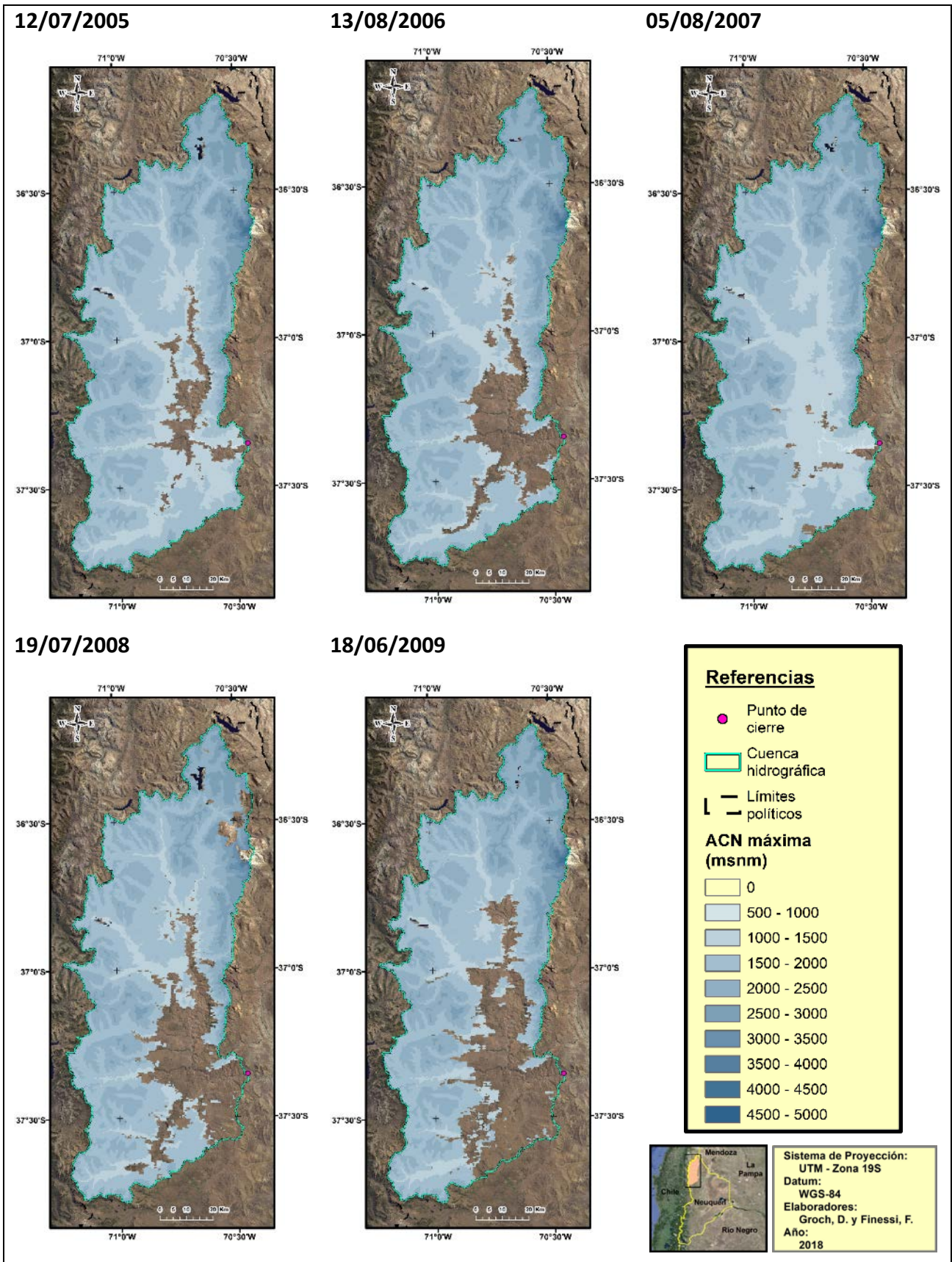
Fuente: elaboración propia en base a productos MOD10A2.

Figura 23: ACN máxima en la CARN para el período 2000-2014.



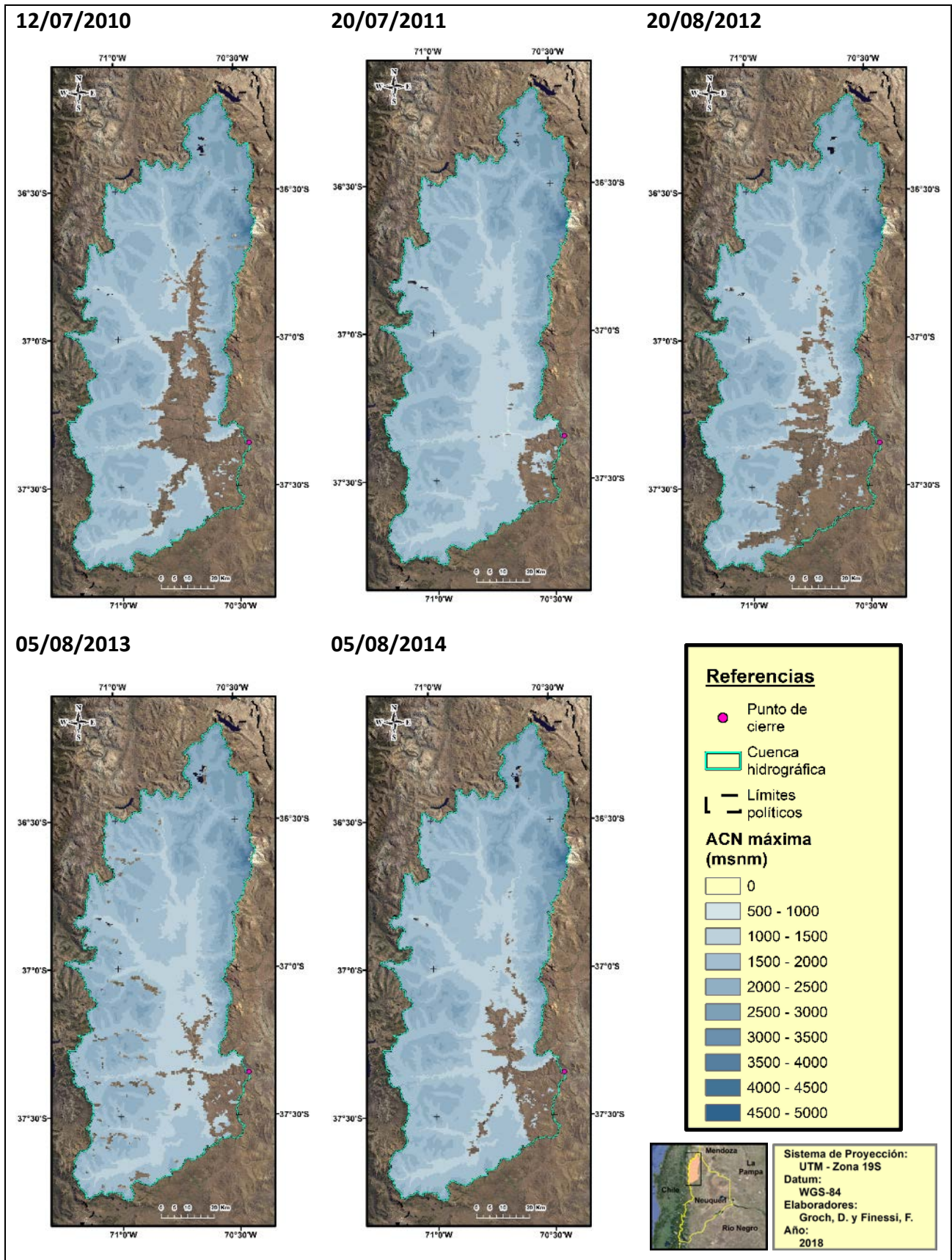
Fuente: elaboración propia en base a productos de nieve MOD10A2.

Figura 24: ACN máxima en la CARN para el período 2000-2014 (continuación).



Fuente: elaboración propia en base a productos de nieve MOD10A2.

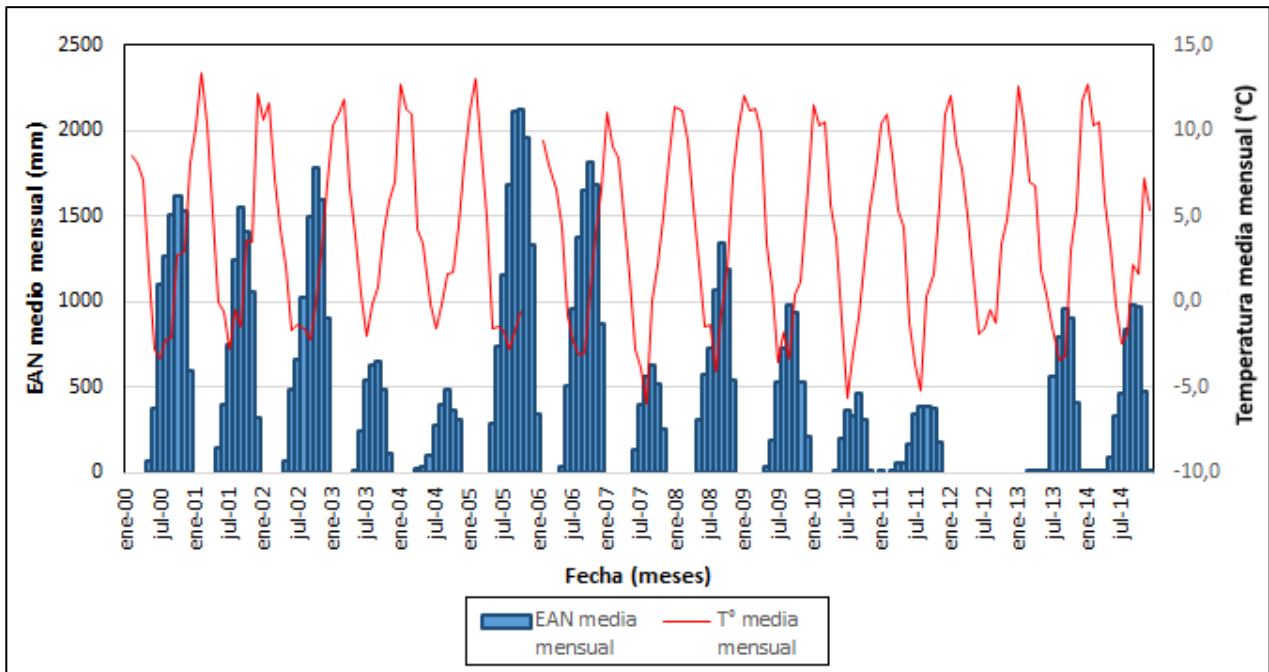
Figura 25: ACN máxima en la CARN para el período 2000-2014 (continuación).



Fuente: elaboración propia en base a productos de nieve MOD10A2.

El ACN es una variable asociada a la distribución temporal de la disponibilidad del agua en la cuenca, debido a que en conjunto con la temperatura media del aire, determina la disponibilidad de agua líquida aún en épocas con poca o nula precipitación. A partir de la cantidad de agua que se obtendría de la fusión completa de la disponibilidad de nieve, estas variables pueden relacionarse mediante el concepto de Equivalente de Agua en Nieve (EAN). El análisis de la estación de altura Pampa de Chacaico (36°28'56,4"S, 70°36'9,6"W, 2.580 msnm) indicó que el EAN medio diario para el período 2000-2014 demostró que los procesos de fusión tuvieron un retardo de un mes respecto al ACN, hacia finales de octubre o principios de noviembre. En los años con menor EAN, el periodo de fusión comenzó a mediados de septiembre, coincidiendo con un aumento de la temperatura del aire por encima de los 0,0°C (Figura 26).

Figura 26: EAN medio mensual y temperatura media mensual para el periodo 2000-2014 en estación Pampa de Chacaico.



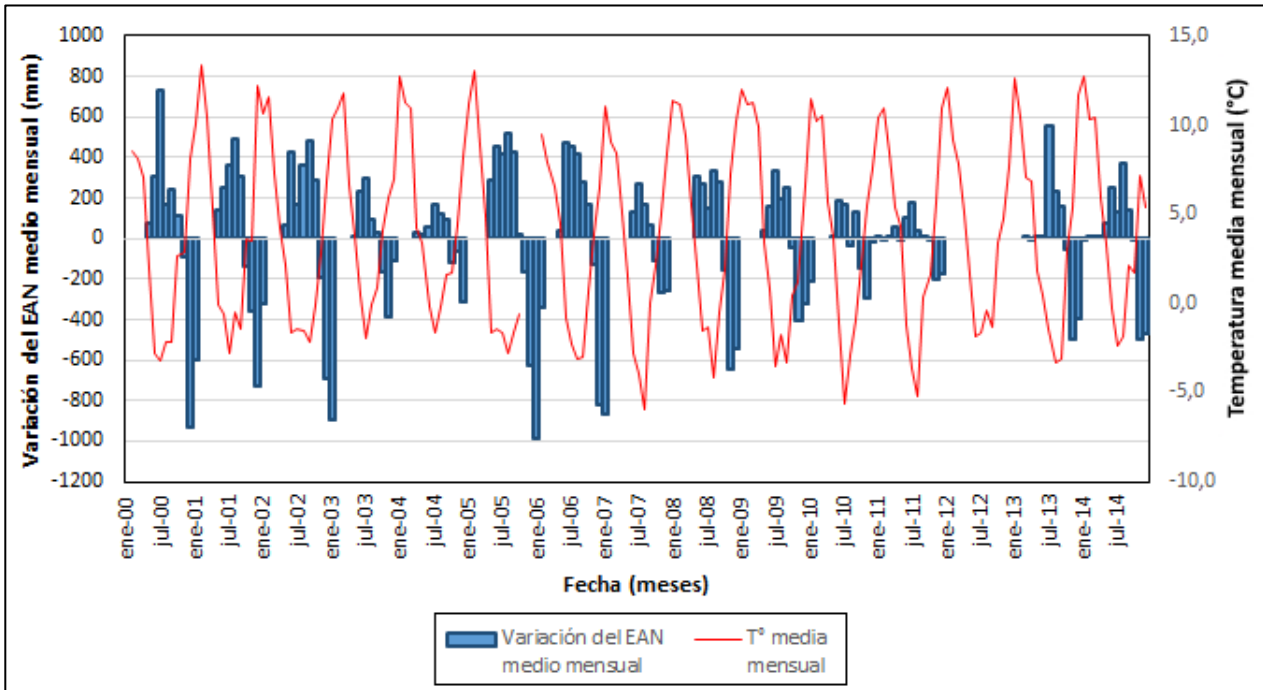
Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC.

Los EAN de agosto de 2007 y julio de 2011, sucedieron de forma previa a eventos de ACN mínima en diciembre de 2007 y febrero 2012. En 2007, el EAN máximo se produjo un mes después del ACN máxima, coincidiendo con un incremento de la temperatura mayor a 6,0°C con valores mayores al valor medio ($T_{med} \text{ agosto} = -2,5^{\circ}\text{C}$), lo que indicaría que no existiría una correspondencia exacta entre la mayor ACN con la cantidad de nieve precipitada y acumulada. La nieve a mayores alturas persiste aun cuando el ACN comienza a disminuir (Figura 27), lo que se asociaría al volumen de nieve acumulada en los distintos niveles altitudinales.

En época invernal, la precipitación nívea máxima y la mayor área cubierta de nieve pueden asociarse con algunas problemáticas sociales, ya que se dificultan las actividades al aire libre, se reduce la movilidad de los productores ganaderos, aumenta la dificultad de alimentación de los animales por la cubierta de nieve y/o congelamiento de los suelos con pasturas, en algunos casos se carece de resguardo de los animales ante las temperaturas

mínimas, se produce el congelamiento de las vertientes y cañerías dificultando la vida cotidiana en los sectores urbanos, entre otros.

Figura 27: Variación del Equivalente de Agua en Nieve (EAN) medio mensual y de la temperatura media mensual (°C) para el periodo 2000-2014 en la estación Pampa de Chacaico.



Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC.

Correlaciones con fenómeno El Niño-Oscilación Sur

Las variaciones espacio temporales de las variables hidrometeorológicas, sugieren una relación entre los hidrometeoros y la variabilidad del recurso agua en el área, afectando su contribución a las actividades productivas o provocando dificultades en la realización de las mismas. Por ello mismo, se planteó estudiar la existencia de su relación con fenómenos de una escala mayor, en particular, el fenómeno ENOS, para avanzar en el entendimiento de la dinámica del sistema y su variabilidad.

El análisis de las estadísticas descriptivas da cuenta de la existencia de una variabilidad asociada (Tabla 6), sugiriendo una posible relación entre El Niño y aumentos en la precipitación, con menor dispersión, y una disminución durante episodio La Niña con una mayor dispersión, lo que se evidencia principalmente en el comportamiento del Área Cubierta de Nieve.

En la estación Rahuco, durante los años de la fase El Niño, se presentó un descenso en el valor medio y mediana de la precipitación, indicando una disminución asociada al fenómeno, sin embargo no se notaron diferencias evidentes en la temperatura, mientras que en los años La Niña, la precipitación no mostró cambios evidentes en los valores medios pero si en la dispersión, indicando un aumento en la variabilidad. El caudal, considerando eventos simultáneos y con distintos tiempos de retardo (sin retardo (R0), retardo +1, R+1, R+2 y R+3) mostró un aumento en los períodos asociados a El Niño (Tabla 6).

En la Tabla 6 podemos observar que la precipitación y el EAN en Pampa de Chacaico, en altura, mostró aumentos en valores centrales como media y mediana durante la fase de El Niño y una disminución de la media de la precipitación con mayor dispersión durante La Niña, manteniéndose los valores de EAN, mientras que Buta Mallín presentó aumentos en la mediana de la precipitación con disminución leve de la dispersión durante el El Niño y disminución con mayor dispersión durante La Niña.

No se presentaron cambios notorios en el comportamiento de la temperatura en las estaciones Pampa de Chacaico y Buta Mallín, aunque se insinúa un leve aumento (Tabla 6).

El Área Cubierta De Nieve presentó cambios significativos solo en el caso de La Niña, evidenciados en una disminución de 648,0 km² en la mediana, lo que sugiere una disminución del ACN durante episodios La Niña para el período 2000-2014 en la CARN.

A partir de lo sugerido por el comportamiento de los valores medios y dispersión se efectuó el estudio de las correlaciones entre los diferentes elementos meteorológicos (precipitación, temperatura), hidrográficos (caudal) y nivológicos (área cubierta de nieve, equivalente en agua de nieve), en las estaciones Rahueco, Buta Mallín y Pampa de Chacaico y el ENOS, teniendo en cuenta un análisis para el período completo, y subperíodos con evidencias de El Niño y La Niña en forma separada.

En el período se registraron once eventos de ENOS para los 15 años analizados, a partir de los índices ONI y SOI (Tabla 7 y 8), de los cuales 5 fueron El Niño y 6 de La Niña. Se destacaron cinco fenómenos de intensidad moderada y fuerte, incluyendo los fenómenos El Niño ocurridos en 2002-2003 y 2009-2010, y La Niña en 2000, 2007-2008, 2010-2011 y 2011-2012.

La correlación entre la precipitación, la temperatura, EAN y ACN con el fenómeno ENOS para el período 2000-2014, presentó asociaciones débiles y moderadas, con valores de r entre -0,39 y 0,44 (significativos al 5%) siendo las correlaciones negativas con el índice SOI y positivas con el índice ONI.

La precipitación presentó correlación positiva con el índice ONI en las tres estaciones analizadas con valores significativos al 5%, bajos a moderados con la fase de la Niña en las tres estaciones, sugiriendo una relación de la precipitación con la temperatura del mar. Para el caso de la fase Niño, las correlaciones significativas solo se presentaron en las estaciones ubicadas a mayor altura con valores bajos y positivos.

La temperatura presentó una correlación negativa moderada significativa al 5% (-0,38) en las tres estaciones, con el índice SOI, insinuando que esta variable es la que presentaría una mayor asociación con la componente atmosférica del fenómeno (Tabla 7).

El Equivalente de Agua en Nieve presenta mayor correlación en la estación de mayor altura (2580,0 msnm) con correlaciones significativas al 5%, negativas para la Niña y positivas para el Niño respectivamente.

Para el Área Cubierta de Nieve se presentaron correlaciones bajas a moderadas positiva con el Niño y negativa con la Niña, significativas al 5%, pero solamente con el índice SOI, que evidencia la relación atmosférica e indicaría la influencia de la circulación general sobre la precipitación nívea en las altas cumbres.

Tabla 6: Estadísticos descriptivos (media, mediana, desviación estándar, σ) de la precipitación (mm), temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y caudal sin retardo (Q R 0; m^3/s) y con distintos retardos (Q R+1, Q R+2, Q R+3; m^3/s) y Equivalente de Agua en Nieve (EAN, mm) de las estaciones Rahueco, Pampa Chacaico, Buta Mallin y Área Cubierta de Nieve (ACN, km^2) en la CARN para el período 2000-2014.

	Variable	N	2000-2014			El Niño			La Niña		
			Media	Mediana	σ	Media	Mediana	σ	Media	Mediana	σ
Rahueco	Pp (mm)	180	36,2	20,0	47,2	25,2	9,5	35,3	32,3	20,0	52,8
	T° ($^{\circ}\text{C}$)	180	15,0	14,6	5,5	15,8	15,7	5,3	17,0	18,5	5,8
	Q R 0 (m^3/s)	180	198,9	156,8	145,1	266,2	265,6	141,0	208,7	171,9	151,6
	Q R +1 (m^3/s)	180	199,3	156,8	145,4	267,2	253,8	138,6	212,4	201,6	146,0
	Q R +2 (m^3/s)	180	199,4	156,8	145,6	264,1	239,3	137,2	215,2	201,6	151,5
	Q R +3 (m^3/s)	180	199,3	156,8	145,5	237,3	213,1	134,9	200,9	171,9	136,9
Pampa Chacaico	Pp (mm)	180	58,7	36,0	68,7	60,3	59,5	54,4	49,2	22,9	73,3
	T° ($^{\circ}\text{C}$)	180	4,0	3,8	5,1	4,1	4,2	5,1	5,5	7,2	5,5
	EAN (mm)	161	451,6	273,7	547,0	597,2	480,1	600,4	423,8	310,9	527,6
Buta Mallin	Pp (mm)	180	81,1	48,0	94,7	82,1	70,0	70,7	69,2	29,5	103,2
	T° ($^{\circ}\text{C}$)	180	5,9	5,4	5,0	6,2	6,4	4,9	7,4	8,7	5,5
	EAN (mm)	164	229,5	32,4	329,3	290,3	88,8	355,7	238,2	30,5	348,2
ACN cuenca (km^2)		179	2162,9	1221,9	2206,4	2140,8	1217,3	2187,8	1692,6	573,2	2172,4

Se realizó un análisis similar con el caudal, considerando dos diferentes períodos para el ciclo hidrológico y el total del periodo para su cálculo. Se definieron: el AH Nqn (abril-diciembre) como el año hidrológico considerado por AIC y AH CyA (junio-diciembre) definido según el año hidrológico considerado por Compagnucci y Araneo (2007).

El análisis de correlación del caudal con los índices ONI y SOI mostró correlaciones mayores a las otras variables analizadas anteriormente. Las correlaciones del caudal con el índice ONI considerando la totalidad del período, presentó correlaciones positivas moderadas con el Niño para todos los casos considerados (sin retardo (R0), $r=0.51$; retardo +1 (R+1), $r=0.43$; R+2, $r=0.32$ y R+3 $r=0.37$, significativos al 5%). Lo que indicaría una mayor correlación con el aumento de la temperatura de la superficie del mar, presentando un comportamiento similar al obtenido con la precipitación con correlaciones positivas para ONI y negativas para SOI. Las correlaciones con La Niña no fueron significativas para las series analizadas.

Para el caso de las dos definiciones de año hidrológico consideradas, las correlaciones con el ONI aumentaron aún más, con valores apenas mayores para el año hidrológico definido por AIC. Las mejores correlaciones se presentaron con el ONI y con los casos de El Niño, sin que se observaran correlaciones significativas al 5% para la fase Niña en el periodo analizado (Tabla 8).

Tabla 7: Correlación (r) entre precipitación (mm), temperatura del aire (°C), Equivalente de Agua en Nieve (mm) y Área Cubierta de Nieve (km²) medias mensuales y los índices SOI y ONI para el período 2000-2014.

Variable Hidrometeorológica		Pp		T°		EAN		ACN	
Localización	Ciclo/Índices	SOI	ONI	SOI	ONI	SOI	ONI	SOI	ONI
Rahueco	El Niño	0.07	-0.08	-0.38	0.23	-	-	-	-
	La Niña	-0.31	0.25	0.40	-0.19	-	-	-	-
	2000-2014	-0.08	0.02	0.17	-0.10	-	-	-	-
Buta Mallín	El Niño	0.21	0.01	-0.36	0.20	0.25	0.02	-	-
	La Niña	-0.22	0.44	0.38	-0.14	-0.34	0.30	-	-
	2000-2014	-0.21	0.32	0.18	-0.11	-0.07	0.11	-	-
Pampa Chacaico	El Niño	0.37	-0.08	-0.36	0.16	0.12	0.25	-	-
	La Niña	-0.23	0.30	0.38	-0.16	-0.36	0.36	-	-
	2000-2014	-0.15	0.22	0.20	-0.14	-0.29	0.35	-	-
Cuenca	El Niño	-	-	-	-	-	-	0.30	-0.07
	La Niña	-	-	-	-	-	-	-0.39	0.14
	2000-2014	-	-	-	-	-	-	-0.19	0.12

Aclaración: Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación del 5%.

Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC.

Tabla 8: Correlación (r) entre el caudal medio mensual y el fenómeno ENOS para la estación hidrometeorológica Rahueco.

Localización	Tiempo	Ciclo/Índices	Caudal							
			Retardo 0		Retardo +1		Retardo +2		Retardo +3	
			SOI	ONI	SOI	ONI	SOI	ONI	SOI	ONI
Rahueco	Período 2000-2014	El Niño	-0.03	0.51	-0.23	0.43	-0.37	0.32	-0.29	0.37
		La Niña	-0.03	0.02	0.18	-0.04	0.20	0.03	0.15	0.09
		2000-2014	-0.24	0.31	-0.17	0.27	-0.15	0.25	-0.09	0.22
	AH Nqn (Abr-Dic) (1)	El Niño	-0.16	0.62	-0.27	0.48	-0.33	0.34	-0.35	0.54
		La Niña	0.09	0.05	0.24	-0.13	0.24	-0.18	0.14	-0.14
		2000-2014	-0.18	0.33	-0.22	0.35	-0.32	0.39	-0.29	0.36
	AH CyA (Jun-Dic) (2)	El Niño	-0.19	0.58	-0.31	0.41	-0.37	0.26	-0.35	0.58
		La Niña	0.03	0.18	0.20	-0.01	0.18	-0.05	0.08	-0.14
		2000-2014	-0.16	0.31	-0.21	0.35	-0.32	0.39	-0.31	0.37

Aclaración: Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación del 5%. (1): Año Hidrológico considerado por la AIC. (2): Año Hidrológico considerado por Compagnucci y Araneo (2007).

Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por la AIC.

Conclusiones

Teniendo en cuenta la importancia que adquiere hoy en día el agua como un recurso natural indispensable para la existencia de los seres vivos en la Tierra, su análisis es necesario para una adecuada utilización y manejo. En las cuencas hidrográficas, entendidas como un sistema en constante dinamismo, tienen lugar oscilaciones temporales y espaciales en sus variables climáticas.

En la Cuenca Alta del Río Neuquén (CARN), se observó que la precipitación media mensual varía entre los 18,5 mm (enero) y 207,2 mm (junio) para las 14 estaciones meteorológicas consideradas, pudiendo alcanzar extremos medios mensuales de 8,2 mm en Rahueco y 572,7 mm en Las Lagunas de Epulafquen en el período 2000-2014.

Los sectores de la cuenca que presentan una relación entre recarga hídrica y drenaje es positiva, propician la existencia de mallines, ampliamente utilizados para la actividad ganadera trashumante.

El balance hídrico denota que la variabilidad areal y temporal existente de precipitación y los requerimientos de la vegetación, produce la existencia de déficit hídrico durante los meses de octubre a marzo, con una media mensual mayor a 10 mm en la totalidad de la cuenca, superando los 30 mm en algunas áreas localizadas por debajo de los 1.250 msnm. Debido a ello, el agua utilizada para consumo humano en algunos centros poblados debe ser captada y derivada a partir de sistemas de bombeo, implicando un alto consumo energético. Periódicos de la región, expusieron precisamente que el déficit hídrico asociado a sequías en el periodo generó mortandad de animales debido a la falta de pasturas e incendios de pastizales y matorrales, entre otros, con consecuencias significativas para la economía regional.

El Área Cubierta de Nieve presentó su mínimo en febrero y su máximo en agosto, observándose en septiembre un incremento de la temperatura por encima de 0 °C y posterior fusión de la nieve, evidenciado además en el ciclo de doble onda de crecida del río Neuquén, caudales medios mensuales entre 56,5 m³/s en marzo y 330,7 m³/s en noviembre.

En el período considerado las variables hidrometeorológicas han tenido consecuencias observables en el espacio geográfico. Las bajas temperaturas y la acumulación de nieve durante el período invernal generaron en algunos años el congelamiento de vertientes y arroyos que proveen de agua a la población, cortes de ruta y autoevacuación de familias afectadas. Desde el punto de vista social, el déficit hídrico se ve reflejado en problemáticas asociadas a la actividad ganadera, ante la baja disponibilidad de agua y pasturas existentes. La fragilidad del sistema, es uno de los problemas ambientales más comunes en la CARN, la degradación de la tierra por

efecto del sobrepastoreo, facilita la eliminación de los estratos superiores del suelo por la erosión hídrica y eólica.

Debido a la relación existente entre las variaciones espacio temporales de las variables hidrometeorológicas, y su contribución positiva o negativa sobre las actividades productivas el estudio de su relación fenómenos de una escala mayor, en particular el fenómeno ENOS, nos permite avanzar en el entendimiento de la dinámica del sistema y su variabilidad.

El análisis de valores medios y dispersión de la precipitación, la temperatura del aire, el EAN y el caudal asociados con las fases del fenómeno ENSO sugirieron una posible relación entre el fenómeno de El Niño con aumentos en la precipitación, y una disminución durante episodio La Niña con un aumento de la dispersión, lo que se evidencia principalmente en el comportamiento del ACN.

En la estación Rahueco, a menor altura se presentó un descenso en el valor medio y mediana indicando que la precipitación presentó una disminución durante los años El Niño, mientras que en los años La Niña, la precipitación mostró un aumento en la variabilidad. En la estación Pampa de Chacaico a mayor altura se registraron aumentos en valores medios de la precipitación y EAN durante El Niño y disminución de la media de la precipitación con mayor dispersión durante La Niña.

La temperatura del aire no presentó cambios notorios en el comportamiento, aunque se insinúa un leve aumento en las estaciones de altura. Por otro lado, el ACN presentó cambios significativos solo en la fase de La Niña, con una disminución de 648,0 km² en la mediana, manteniéndose la dispersión, presentando una disminución del ACN durante episodios La Niña para el período 2000-2014 en la CARN.

En el período analizado se observaron once eventos de ENOS destacándose cinco fenómenos de intensidad moderada y fuerte, (El Niño 2002-2003 y 2009-2010, y La Niña en 2000, 2007-2008, 2010-2011 y 2011-2012).

La correlación entre la precipitación, la temperatura, EAN y ACN con el fenómeno ENOS para el período 2000-2014, presentó asociaciones débiles y moderadas, con valores de *r* entre -0,39 y 0,44 siendo las correlaciones negativas con SOI y positivas con ONI. La precipitación presentó correlación positiva en las tres estaciones, con valores bajos a moderados en la fase de La Niña en las tres estaciones, significativos al 5 con ONI, sugiriendo una relación de la precipitación con la temperatura del mar; para el caso de la fase El Niño, las correlaciones significativas solo se presentaron en las estaciones ubicadas a mayor altura, con valores bajos y positivos.

La temperatura presentó una correlación negativa moderada significativa al 5% (-0,38) en las tres estaciones, con el índice de SOI, insinuando una mayor asociación con la componente atmosférica del fenómeno.

El EAN aumentó su correlación en la estación de mayor altura (2580,0 msnm), significativas al 5%, siendo negativas para La Niña y positivas para El Niño.

El ACN presentó correlaciones bajas a moderadas, positivas con El Niño y negativas con La Niña (significativas al 5%), pero solamente con SOI.

Considerando dos definiciones de año hidrológico (AH Nqn (abril-diciembre): año hidrológico considerado por AIC y AH CyA (junio-diciembre): año hidrológico considerado por Compagnucci y Araneo,2007), el análisis de correlación del caudal con los índices ONI y SOI

mostró correlaciones mayores a las otras variables analizadas anteriormente. Las correlaciones de caudal con ONI considerando la totalidad del período, presenta correlaciones positivas moderadas con El Niño para todos los casos considerados (sin retardo (R0), $r= 0.51$; retardo +1 (R+1), $r=0.43$; R+2, $r=0.32$ y R+3 $r=0.37$, significativos al 5%). Esto indicaría una mayor correlación del caudal con el aumento de la temperatura de la superficie del mar, presentando un comportamiento similar al obtenido con la precipitación con correlaciones positivas para ONI y negativas para SOI. Las correlaciones con La Niña no fueron significativas para las series analizadas.

Para el caso de las dos definiciones de año hidrológico consideradas, las correlaciones con el ONI aumentaron aún más, con valores apenas mayores para el año hidrológico definido por AIC. Las mejores correlaciones se presentaron con el ONI y con los casos de El Niño. Sin que se observaran correlaciones significativas al 5% para la fase La Niña en el periodo analizado.

Cabe mencionar que la relación simultánea entre el caudal y el aumento de la temperatura del mar presentó la mayor correlación para todos los casos analizados, coincidiendo con los resultados de Compagnucci y Araneo (2007) para Patagonia Norte.

Para los meses del invierno previo al periodo maduro de un evento El Niño (La Niña), las perturbaciones de la circulación atmosférica fortalecidas (debilitadas en el caso de La Niña), favorecen el ascenso de las masas de aire húmedo del Pacífico hasta alcanzar las altas cumbres del lado argentino (Compagnucci y Araneo, 2007) y las variaciones en la frecuencia e intensidad de los eventos El Niño/La Niña, afectarían las tendencias en los caudales de los ríos cordilleranos. Por lo que un mayor conocimiento de las relaciones existentes entre los caudales y el ENSO, en particular de la temperatura de superficie del mar, será de gran importancia para la planificación de estrategias para el manejo del agua y la preparación de alternativas para enfrentar los problemas sobre el sector socio productivo y energético en la cuenca, y aguas debajo de la misma.

Referencias bibliográficas

- Aceituno, P.**, 1990. "Variabilidad interanual en el caudal de ríos andinos en Chile Central en relación con la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico central". *Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica*, N° 5(1). 7–19 pp.
- ADI-NQN**, 2014. "Proyectos energéticos renovables". 2ª Jornadas de Energías Renovables. UFLO Comahue. 21 de Agosto del 2014, Ciudad de Neuquén, Argentina.
- Anderson, D.R., Sweeney, D.J. y Williams, T.A.**, 2008. "Estadística para administración y economía". 10a. edición. Cengage Learning Editores, S.A.México,D.F., México.
- Araya Ojeda M. y Isla F. I.**, 2016. "Variabilidad hidrológica en la región del Biobío: los eventos El Niño en zonas templadas de Chile". *Revista Universitaria de Geografía*. Universidad Nacional del Sur Argentina. N° 25 (1). 31-55 pp.
- Bertani, L.A.**, 2011. "Evaluación geoecológica de los paisajes del Departamento Minas (Provincia de Neuquén), para el estudio de la degradación de la tierra". Tesis presentada para la obtención del grado de Doctor en Geografía. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Bertani, L.A.**, 2004. "Evaluación Geoecológica de los Paisajes para el Estudio de la Degradación de la Tierra del Noroeste Neuquino". Informe final de proyecto. Universidad Nacional del Comahue. Informe inédito.
- Bo-Hui T., Basanta S., Zhao-Liang L., Gaohuan L., Hua O., Deo R. G., Amarnath G. and Khun S.A.**, 2013. "Determination of snow cover from MODIS data for the Tibetan Plateau region". *Applied Earth Observation and Geoinformation* N° 21, 356-365 pp.
- Bran D., Ayesa J. y López C.**, 2002. "Áreas ecológicas de Neuquén". Laboratorio de Teledetección-SIG. Inta-Eea. Bariloche. Ciudad de Bariloche, Argentina.
- Bustinza, J., González, M., Neme, M. y Rubio, Y.**, 2011. "Recursos hídricos superficiales". En: Leanza *et al.* (2001). "Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino". 841-848 pp. Buenos Aires, Argentina.
- Cabrera, A.L.**, 1976. "Regiones Fitogeográficas Argentinas". ACME, Buenos Aires, Argentina.
- Camp, W. y Daugherty, T.**, 2000. "Manejo de nuestros recursos naturales". Editorial Paraninfo. Madrid, España.

- Campo A. M., Peña O., Gandullo R. y De la Cal R., 2011.** "Análisis de la vegetación de un humedal "mallin" localizado en una zona semiárida de la provincia de Neuquén (Argentina)". *Papeles de Geografía*, 53-54 (2011). 35-48 pp. ISSN: 0213-1781.
- Cervený, R., Skeeter, B. y Dewey, K., 1987.** "A preliminary investigation of a relationship between South American snow cover and the Southern Oscillation". *Monthly Weather Review*. Vol. 115. 620-623 pp.
- CFI – COPADE, 1991.** "Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén". Buenos Aires, Argentina.
- Chimenton, M. E. y Cortese, V. G., 2012.** "Consideraciones acerca de la crecida histórica de julio del 2006 y sus consecuencias en el bajo Neuquén". *Boletín geográfico*. Año XXXIII N°34, 35-56 pp. Universidad Nacional del Comahue. Ciudad de Neuquén, Argentina. ISSN 0326-1735.
- Ciari G., 2010.** "Funcionamiento hidrológico de los mallines y sus cuencas asociadas". *Carpeta Técnica, Medio Ambiente N° 13*, EEA INTA Esquel. Chubut, Argentina.
- CIMOP-Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas, 2009.** "La gestión del agua y su infraestructura en el desarrollo sustentable del territorio". Buenos Aires, Argentina.
- Cogliati, M. G., Finessi, F. G. y Groch, D., 2013a.** "Estimación de la cubierta de nieve en el norte de la provincia del Neuquén". En: VII Congreso Argentina de Tecnología Espacial, organizado por la Asociación Argentina de Tecnología Espacial, el Consejo Profesional de Ingeniería Aeronáutica y Espacial y la Universidad Nacional de Cuyo; durante los días 15, 16 y 17 de mayo de 2013. Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina.
- Cogliati, M. G, Groch, D.y Finessi, F. G., 2013b.** "Estimación de la cubierta de nieve en el norte de la provincia del Neuquén". *Boletín Geográfico N°35*, 47-58 pp. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue. ISSN 0326-1735; e-ISSN 2313-903X.
- Cogliati, M. G, Finessi, F. G. y Groch, D., 2014a.** "Estudio del área cubierta de nieve en la Cordillera del Viento utilizando información satelital". En *Actas 4to. Encuentro Internacional de Geografía del Cono Sur*, pp. 57-67. Laboratorio de Geografía Física y Ambiental, Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad Nacional del Litoral. ISBN 978-987-692-035-3.
- Cogliati, M. G., Groch, D. y Finessi, F. G., 2014b.** "Utilización de productos Terra-Modis para el cálculo de la superficie nival en la Cordillera del Viento (Neuquén, Argentina)". En el 10mo. Encuentro del International Center For Earth Sciences E-ICES 10; durante los días 3, 4, 5 y 6 de noviembre de 2014 - Centro Atómico Constituyentes, Buenos Aires, Argentina.
- Cogliati, M. G., Finessi, F. G. y Groch, D., 2015a.** "Variación de la cubierta de nieve en la cuenca alta del río Neuquén (Neuquén, Argentina) a partir de productos MOD10A2". En *Jornadas Argentinas de Geotecnologías 2015*, en el marco de la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER); durante los días 2, 4 y 4 de septiembre de 2015. Ciudad de San Luis, Argentina.
- Cogliati, M. G., Finessi, F. G., Groch, D., Ostertag, G. E. y Salcedo, A. P., 2015b.** "Estudio de la asociación entre la cobertura de nieve en el norte de Neuquén (Argentina) y variables hidrológicas". En el **VIII Congreso Argentina de Tecnología Espacial**, organizado por la Asociación Argentina de Tecnología Espacial, con el auspicio del Consejo Profesional de

Ingeniería Aeronáutica y Espacial; durante los días 6, 7 y 8 de mayo de 2015. Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

- Cogliati, M. G., Groch, D. y Finessi, F. G.** 2015c. "Utilización de productos MOD10A1 para el estudio de la variabilidad de cobertura de nieve en la cordillera del viento (Neuquén, Argentina)". En el **VIII Congreso Argentina de Tecnología Espacial**, organizado por la Asociación Argentina de Tecnología Espacial, con el auspicio del Consejo Profesional de Ingeniería Aeronáutica y Espacial; durante los días 6, 7 y 8 de mayo de 2015. Ciudad de Buenos Aires, Argentina.
- Colombino, J. y Luengo, M.,** 2011. "Regiones hidrogeológicas". En: Leanza *et al.* (2001). "Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino". 833-840 pp. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-22403-3-2.
- Compagnucci, R. H. y Araneo, D. C.,** 2005. "Identificación de áreas de homogeneidad estadística para los caudales de ríos andinos argentinos y su relación con la circulación atmosférica y la temperatura superficial del mar". *Meteorologica*, 30 (1-2), 41-53 pp.
- Compagnucci R. H. y Araneo D.,** 2007. "Alcances de El Niño como predictor del caudal de los ríos andinos argentinos". *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. 22, No. 3, 23-35 pp.
- Compagnucci, R.H. y Vargas, W.M.,** 1998. "Interannual variability of Cuyo Rivers Streamflow in Argentinean Andean Mountains and ENSO events". *International Journal of Climatology*. Vol.18, 1593-1609 pp.
- De Angelis H., Rau F. y Skvarca P.,** 2007. "Snow zonation on Hielo Patagónico Sur, Southern Patagonia, derived from Landsat 5 TM data". *Global and Planetary Change* 59, 149-158 pp.
- De Jong, G.M.,** 2004. "La planificación regional y el trabajo interdisciplinario: su especificidad en la planificación y el manejo de cuencas hidrográficas". V Jornadas patagónicas de Geografía. Río Gallegos (Santa Cruz, Argentina).
- Diario Río Negro,** 2010. "La falta de pasturas apura la veranada en el norte". 17/10/2010.
- Diario Río Negro,** 2011a. "Arden varios focos sin control en El Huecú y en el Parque Lanín". 13/01/2011.
- Diario Río Negro,** 2011b. "Quejas por inundaciones en barrio de Chos Malal". 27/03/2011.
- Diario Río Negro,** 2002. "Evacuados y anegamientos por lluvias en Chos Malal". 25/02/2002.
- Dozier J.,** 1989. "Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper". *Remote Sensing of Environment* 28, 9-22 pp.
- Easdale, M.H. y Gaitán, J.J.,** 2010. "Relación entre la superficie y clase de mallines y la composición de la estructura ganadera en establecimientos del Noroeste de la Patagonia. Estación Experimental Agropecuaria, INTA Bariloche. *Revista Argentina de Producción Animal*, Vol. 30, 69-80 pp.
- ENVI,** 2004. "ENVI User's guide" ENVI Version 4.1, September 2004 Edition.
- EMHIDRO,** 2014. "Seminario: Hacia un Futuro Energético Sustentable. Energías Renovables en Neuquén". COPADE. 28 de agosto de 2014. Ciudad de Neuquén, Argentina.
- Erizé, E.,** 1960. "Diccionario comentado Mapuche-Español". Cuadernos del Sur. Instituto de Humanidades. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

- Escobar, F. y Aceituno, P.,** 1998. "Influencia del fenómeno ENSO sobre la precipitación nival en el sector andino de Chile Central durante el invierno". Instituto Francés de Estudios Andinos. Vol. 27. 753-759 pp.
- Falaschi, D.,** 2015. "Identificación, caracterización y dinámica de las geoformas glaciales y periglaciales en la Cordillera de los Andes a través de sensores remotos". Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Buenos Aires, Argentina. 343 pp.
- Falaschi, D., Masiokas, M., Tadono, T. y Couvreur, F.,** 2016. "ALOS-derived glacier and rock glacier inventory of the Volcán Domuyo region (~36° S), southernmost Central Andes, Argentina". Zeitschrift für Geomorphologie. Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany. 1-14 pp.
- Fernández Cirelli, A. y Volpedo, A.V.,** 2002. "Las tierras secas de iberoamérica. El agua en Iberoamérica; De la escasez a la desertificación". CYTED XVII, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Aprovechamiento y gestión de recursos hídricos. Ed. Alicia Fernández Cirelli y Elena Abraham, Publ. CYTED XVII y CETA. 11-26 pp. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires.
- Flores, D.G.,** 2004. "Aguas Patagónicas". ISBN: 987-21134-0-8.
- Frugoni, C., Peña, O., De Jong, G., Bertani, L. y Ambrosio M.,** 1999. "Aptitud de las tierras para el crecimiento de plantaciones del género Pinus en la cuenca del río Neuquén". AIC-UNCo. Neuquén, Argentina. Policopiado.
- Gaitán J.J., López C., Ayesa J., Siffredi G. y Umaña F.,** 2009. "Reconocimiento, Cartografía y Evaluación de Mallines Área Zapala- Provincia del Neuquén". Centro Regional Patagonia Norte INTA Eea. Bariloche. Área De Investigación en Recursos Naturales. Bariloche, Argentina.
- Gil, V.,** 2009. "Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas". Tesis doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 269 pp.
- Gómez C.,** 2004. "Manual de manejo de cuencas". World Vision, San Salvador, El Salvador.
- Gómez Cole M.,** 2010. "Variaciones de la cubierta de nieve en Chile centro – sur (30º - 41ºs) y su relación con el fenómeno ENSO". Universidad de Concepción, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Departamento de Geografía. 1-76 pp.
- González Díaz, M.F. y Dí Tomasso, I.,** 2011. "Geomorfología". En: Leanza *et al.* (2001). "Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino". 421-438 pp. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-22403-3-2.
- Groch, D.,** 2015. "Evolución de los glaciares en el norte de la Provincia del Neuquén 1963-2013". Informe Final. Beca Interna de Iniciación en la Investigación para Alumnos Universitarios. Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Comahue. Ciudad de Neuquén, Argentina. Inédito.
- Groch, D.; Finessi, F.G. y Cogliati, M.G.,** 2017. "Variabilidad de la cobertura de nieve utilizando productos MOD10A2 en la Cuenca Alta del Río Neuquén para el período 2000-2014". En: Ulberich, A.; Cisneros Basualdo, N. & Miranda del Fresno, M.C. (2017). I Jornadas Internacionales de Ambiente y III Jornadas Nacionales de Ambiente 2016. Libro de resúmenes extendidos. Pp. 132-134. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de

Buenos Aires. 1ra. edición. 26-28 de octubre de 2016. Tandil (Buenos Aires, Argentina). 502 pp.

Groch, D. y Cogliati, M.G., 2017. "Variación temporal de glaciares en la Cordillera del Viento (Neuquén, Argentina) para el período 1963-2012". En: Tocho, C.N.; Roa, Y.; Sagarra, C. & Agosta Scarel E. XXVIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Libro de resúmenes expandidos. Pp. 42-46. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). 1ra. edición. 17-21 de abril de 2017. La Plata (Buenos Aires, Argentina). 233 pp.

Gutiérrez Elorza, M., 2008. "Geomorfología". Ed. Pearson Prentice Hall, Madrid, España.

Hall, D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., DiGirolamo N.E. y Bayr K.J., 2002. "MODIS snow-cover products". *Remote Sensing of Environment* 83, 181-194 pp.

Hall, D. K., Salomonson, V. V., y Riggs, G. A., 2006. "MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 500m Grid. Version 5. [MOD10A2]". Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.

Hall, D.K. y Riggs, G.A., 2007. "Accuracy assessment of the MODIS snow products". *Hydrological Processes* 21, 1534-1547 pp.

Hansen, R. y Seoane, R., 2013. "Análisis multifractal de la serie temporal de caudales diarios en el río Neuquén". *Geoacta* 38 (2). Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. ISSN 1852-7744. 168-182 pp.

Irisarri J., 1979. "Los suelos del Departamento Minas". Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Comahue. Cinco Saltos, Argentina. Informe Inédito.

Klare, M. T., 2003. "Guerra por los recursos. El futuro escenario del conflicto global". Ed. Urano, Barcelona, España.

Knighton, D., 1998. "Fluvial Forms and Processes. A new perspective". Arnold. London, UK. 383 pp.

Lascano, M. y Velasco, I., 2007. "Estimación de cobertura de nieve en los Andes Centrales con datos NOAA-AVHRR. Cuencas de los ríos Colorado y Neuquén". *Contribuciones Científicas GAEA*, Vol. 19. 1-10 pp.

Lauro C., Vich, A. y Moreiras, S. M., 2014. "Detección de tendencias y saltos abruptos en variables hidrológicas de cuencas de la región de Cuyo". En Tagliavini, D. *et al.* IRFH 2014 - 2do. Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos: resúmenes de trabajos. Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires, Argentina.

Lauro C., Vich A. y Moreiras, S. M., 2016. "Variabilidad del régimen fluvial en cuencas de la región de Cuyo". *GEOACTA* 40(2). 28-51 pp.

Lelievre, M., Bélanger, T. y Morneau, F., 2008. "L'approche hidrogéomorphologique pour la cartographie des zones á risque d'inodation dans les vallées de petites et moyennes tailles: un exemple commenté pour la vallée de la rivière au renard". In proceedings of the 4 th Canadian Conference on Geohazards: From causes to management. Presse de l'université Laval, Québec, Canada. 594 pp.

López, P., Sirguez, P., Arnaud, Y., Pouyaud, B. y Chevallier, P., 2008. "Snow cover monitoring in the Northern Patagonia Icefield using MODIS satellite images (2000-2006)". *Global and Planetary Change* 61, 103-116 pp.

- Martínez Fernández, J.**, 2006. "Agua y sostenibilidad: algunas claves desde los sistemas áridos". Centro de Investigación Sociedad y Políticas Públicas (CISPO). Polis N° 14, 1-13 pp.
- Martínez C., Fernández, A. y Rubio, P.**, 2012. "Caudales y variabilidad climática en una cuenca de latitudes medias en Sudamérica: río Aconcagua, Chile Central (33°S)". Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N° 58. 227-248 pp.
- Martínez, P., Cogliati, M., Valdez, A, Narvárez, M. y Páez, R.**, 2010. "Análisis de área de cobertura de nieve en un área montañosa con aprovechamiento turístico" en International Center for Earth Sciences- E-ICES 6- Volumen 1. Malargüe, Mendoza, Argentina.
- Masiokas, M., Villalba, R., Luckman, B. H., Le Quesne, C. y Aravena, J.**, 2006. "Snowpack variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region". Journal of Climate. Vol. 19. 6334 – 6352 pp.
- Masiokas, M. H., Villalba R., Luckman, B. H. y Mauget, S.**, 2010. "Intrato multidecadal variations of snowpack and streamflow records in the Andes of Chile and Argentina between 30° and 37°S". Hydrometeorol, Vol. 11(3). 822–831pp.
- Masiokas, M. H., Villalba R., Christie, D. A., Betman, E., Luckman, B. H., Le Quesne, C., Prieto, M. R. y Mauget, S.**, 2012. "Snowpack variations since AD 1150 in the Andes of Chile and Argentina (30°–37°S) inferred from rainfall, tree-ring and documentary records" Geophysical Research, Vol. 117. 1-11 pp.
- Masiokas, M.H., Delgado, S., Pitte, P., Berthier, E., Villalba, R., Skvarca, P., Ruiz, L., Ukita, J., Yamanokuchi, T., Tadono, T., Marinsek, S., Couvreur, F. y Zalazar, L.**, 2015. "Inventory and recent changes of small glaciers on the northeast margin of the South Patagonian Icefield, Argentina". Journal of Glaciology. Vol. 61. 511 – 523 pp.
- McCabe, G.J. y Markstrom, S.L.**, 2007. "A monthly water-balance model driven by a graphical user interface: U.S. Geological Survey". Open-File report 2007-1088, 6 pp.
- Monte, C. B. y Lacalu, P.**, 2010. "Disponibilidad de tierras para la forestación con coníferas en los departamentos Minas y Aluminé, Neuquén". Ediciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, y Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Buenos Aires, Argentina.
- Mundo, I. A., Masiokas, M. H., Villalba, R., Morales, M. S., Neukom, R., Le Quesne, C., Urrutia, R. B. y Lara, A.**, 2012. "Multi-century tree-ring based reconstruction of the Neuquén River streamflow, northern Patagonia, Argentina". Climate of the Past 8. Pp. 815-829.
- Norte F., Simonelli, S. y Heredia N.**, 1998. "Impacto del fenómeno ENOS en el régimen hidrometeorológico de Mendoza, Argentina". Instituto Francés de Estudios Andinos. Vol. 27. 761-770 pp.
- Ostertag, G. y Cuello, M.**, 2005. "Caracterización climática de la alta cuenca del río Neuquén, Andes Patagónicos". Boletín Geográfico N° 26,21-23 pp. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue. ISSN 0326-1735; e-ISSN 2313-903X.
- Ostertag, G., Frassetto, F., Solorza, R. y Salcedo, A. P.**, 2008. "Determinación del estado nival de las cuencas del Limay y Neuquén a través de la aplicación de teledetección y sig". Boletín Geográfico N° 31, pp.27-41. Edición especial: VII Jornadas Patagónicas de Geografía.

Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue. ISSN 0326-1735; e-ISSN 2313-903X.1

- Peña, O. y Campo, A., 2012.** "Estado de degradación en mallines localizados en el centro oeste de la Provincia de Neuquén (Argentina)". *Revista Geográfica de América Central*. Nº 49. II Semestre 2012, 157–173 pp.
- Peña, O. y Ostertag, G., 2006.** "Los estados del tiempo y sus efectos sobre la capacidad forrajera de un mallín". VI Jornadas Patagónicas de Geografía. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew, Chubut, Argentina.
- Peña, O., Ostertag G., Gandullo R. y Campo A., 2008.** "Comportamiento de la vegetación de un humedal (mallín) entre períodos húmedos y secos mediante análisis hidrológico y espectral". *Investigaciones geográficas*, nº 45, 229-249 pp. ISSN: 0213-4691. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. Alicante, España.
- Pérez, O., 1999.** "Valoración del patrimonio turístico del norte neuquino". Inédito. Facultad de Turismo. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén.
- Prieto M. R y Herrera, R., 2002.** "Evidencias históricas sobre algunos aspectos de variabilidad climática en Argentina y Bolivia durante los últimos cuatro siglos". En *IANIGLA, 30 años de investigación básica y aplicada en ciencias ambientales Mendoza, Argentina*. 133-137 pp.
- Quintela, R. M. y Scarpati, O. E., 1993.** "Incidencia del Cambio Global sobre los Recursos Hídricos del Sur de la Patagonia (Argentina)". *Geofísica*, 39, 61- 84 pp.
- Ramakrishna, B., 1997.** "Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias". IICA. San José, Costa Rica.
- Rau, F., Mauz, F., Vogt, S., Jodha Singh Khalsa, S. y Raup, B., 2005.** "Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual". *Glacier Classification Guidance for the GLIMS Glacier Inventory*. GLIMS Regional Center "Antarctic Peninsula". Freiburg, Germany.
- Riggs, G.A., Hall D.K. y Salomonson, V.V., 2006.** "MODIS Snow Products User Guide to Collection 5". The MODIS Snow and Sea Ice Global Mapping Project. NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD. 1-80 pp. http://modis-snowce.gsfc.nasa.gov/uploads/sug_c5.pdf.
- Rittger, K., Painter, T.H. y Dozier, J., 2013.** "Assessment of methods for mapping snow cover from MODIS". *Advances in Water Resources* 51, 367-380 pp.
- Ropelewski, C.F. y Jones, P.D., 1987.** "An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index". *Monthly Weather Review*, 115, 2161-2165.
- Salcedo, A.P., 2011.** "Estimate of Area of Snow Cover in Watersheds with High Rate of Data Fusion Using ERS-2". Master's Thesis, Faculty of Mathematics, Physics and Astronomy and the Mario Gulich Institute for Advanced Space Studies, 103 pp.
- Salcedo, A. y Solorza, R., 2008.** "Estudio de la degradación de tierras mediante análisis fisiográfico y aplicación de técnicas de teledetección. Cuenca media e inferior del río guañacos. Departamento Minas, Provincia del Neuquén". Tesis presentada para la obtención del grado de Licenciadas en Geografía. Universidad Nacional del Comahue. Ciudad de Neuquén, Argentina.
- Salomonson, V.V. y Appel, I., 2004.** "Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index". *Remote Sensing of Environment* 89 (2004) 351-360 pp.

- Schwerdtfeger W.**, 1976. "Climates of Central and Southern America. World Survey of Climatology" (W Schwerdtfeger, ed.). Elsevier. Amsterdam, Holland.
- Secretaría de Energía**, 2008. "Energías Renovables 2008 - Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos". CABA, Argentina.
- Strahler, A. N.**, 1974. "Geografía Física". Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 767 pp.
- Tarbuck, E.J., Lutgens, F.K. y Tasa, D.**, 2005. "Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física". Octava edición. Ed. Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- Tesoniero, M.A. y Caso, M.**, 2014. "Aplicación de Sensores Remotos al análisis multitemporal de los glaciares del Volcán Domuyo". En: Fritschy, B.A (ed. y comp.) (2014). Actas: 4to. Encuentro Internacional de Geografía del Cono Sur. Pp. 89-107. Universidad Nacional del Litoral. 1ra. edición. 11-14 de junio de 2014. Santa Fe (Santa Fe, Argentina). 519 pp.
- Tesoniero, M.A. y Caso, M.**, 2015. "Aplicación de Teledetección para el análisis multitemporal de Glaciares". Jornadas Argentinas de Geotecnologías 2015. Pp. 188-195. 2-4 de septiembre de 2015. San Luis (San Luis, Argentina). 687 pp. Publicación en CD.
- Thorntwaite, C.W.**, 1948. "An Approach toward a Rational Classification of Climate". Geographical Review, Vol. 38, No. 1 (Jan., 1948), pp. 55-94
- Tricart, J. L.**, 1973. "Geomorfología de la Pampa Deprimida como base para estudios edafológicos y agronómicos". INTA: Vol. Cien., XII.
- Valicenti, J.L.**, 2001. "Cuenca del río Neuquén. Análisis del fenómeno precipitación-escorrentía". Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro. Cipolletti, Argentina.
- Valicenti, J.L.**, 2004. "Amenaza en la Cuenca de los Ríos Limay, Neuquén y Negro". Cipolletti, Argentina.
- Walker, G. y Bliss, E.**, 1932. "World Weather V". Memorial Royal Meteorological Society. Volumen 4. 53-84.
- Zollner, W., y Amos, A.** 1973. "Descripción Geológica de la hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén". Servicio Nacional Minero Geológico, Buenos Aires.

Referencias orales

- **Basso, Belén.** Técnica Forestal, Delegación Forestal Zona Norte. Vivero Provincial Chos Malal.
- **Cifuentes, Silvia.** Informante turístico del Departamento de Informes Turísticos de la ciudad de Chos Malal.
- **Diano, Martin Omar.** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Agencia de Extensión Rural Chos Malal.
- **Esteban, Carlos.** Asesor Técnico. Agencia de Inversiones De Neuquen (ADI-NQN).
- **Fariña Matías.** Ing. Forestal, Delegación Forestal Zona Norte. Vivero Provincial Chos Malal.
- **Figueroa, Virginia.** Informante turístico del Departamento de Informes Turísticos de la ciudad de Chos Malal.
- **Inostrosa, Leandro.** Corporación Forestal Neuquina (CORFONE S.A.). Aserradero Las Ovejas.
- **Inostroza, Sergio.** Corporación Forestal Neuquina (CORFONE S.A.). Aserradero Las Ovejas.
- **Lisanti, Miguel.** Asesor Técnico. Agencia de Inversiones De Neuquén (ADI-NQN).
- **López, José Gabriel.** Subsecretario de Energía e Hidrocarburos. Ministerio de Energía, Servicios Públicos y Recursos Naturales. Provincia del Neuquén.
- **Marticorena, Rocio.** Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC).
- **Mikuc, Juan Pablo.** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Agencia de Extensión Rural Chos Malal.
- **Mogni, Javier Alejandro.** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Agencia de Extensión Rural Chos Malal.
- **Navarrete, Nicomedes.** Ex – Intendente de la localidad de las Ovejas (periodo 2007-2015).
- **Pasteris, Graciela.** Informante del Centro de Servicios Estadísticos de la Dirección Provincial de Estadística y Censos (DPEyC).

- **Pereiretti, Carolina.** Informante del Centro de Servicios Estadísticos de la Dirección Provincial de Estadística y Censos (DPEyC).
- **Ponce, Aylin.** Informante turístico de la Dirección de Informes Turísticos de la ciudad de Neuquén.
- **Porrino, Julio.** Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC).
- **Vázquez, Alberto.** Ministerio de Desarrollo Territorial. Regional Norte.
- **Villarreal, Pablo.** Comunicación y logística. Agencia de Inversiones De Neuquén (ADI-NQN).

Tabla Anexo 1: Habitantes por radio censal de la CARN y Chos Malal para el año 2010.

Clave	Municipio	Tipo	Cantidad de habitantes	Superficie del radio (km ²)	Densidad poblacional (hab/km ²)
Chos Malal					
1580420102	-	Rural	20	209,70	0,09
1580420107	-	Rural	92	24,70	3,73
1580420201	Chos Malal (*)	Mixto	664	73,15	9,08
1580420202	Chos Malal (*)	Urbano	840	0,17	5.069,10
1580420203	Chos Malal (*)	Urbano	790	0,47	1.693,37
1580420204	Chos Malal (*)	Urbano	586	0,09	6.394,56
1580420205	Chos Malal (*)	Urbano	686	0,16	4.282,00
1580420206	Chos Malal (*)	Urbano	727	0,23	3.181,09
1580420207	Chos Malal (*)	Urbano	858	0,36	2.365,89
1580420208	Chos Malal (*)	Urbano	897	0,28	3.223,33
1580420209	Chos Malal (*)	Urbano	582	0,17	3.376,07
1580420210	Chos Malal (*)	Urbano	595	0,19	3.125,21
1580420211	Chos Malal (*)	Urbano	1.184	0,64	1.861,47
1580420212	Chos Malal (*)	Urbano	713	0,15	4.798,20
1580420213	Chos Malal (*)	Urbano	626	0,28	2.273,31
1580420214	Chos Malal (*)	Urbano	908	0,24	3.737,68
1580420215	Chos Malal (*)	Urbano	659	0,20	3.249,26
1580420216	Chos Malal (*)	Urbano	619	0,14	4.493,78
1580420217	Chos Malal (*)	Urbano	1.189	0,23	5.122,08
Subtotal departamento			13.235	311,55	42,48
Minas					
1580770101	-	Rural	0	1.254,17	0,00
1580770102	Manzano Amargo	Mixto	461	635,41	0,73
1580770103	Varvarco	Mixto	585	672,83	0,87
1580770104	Villa Del Nahueve	Mixto	310	742,29	0,42
1580770105	Las Ovejas	Mixto	475	798,85	0,59
1580770106	Las Ovejas	Urbano	840	0,54	1.558,71
1580770201	Los Miches	Mixto	422	464,75	0,91
1580770202	Los Miches	Rural	188	26,32	7,14
1580770203	Guañacos	Rural	286	598,81	0,48
1580770204	Andacollo	Mixto	298	294,91	1,01
1580770205	Andacollo	Urbano	755	0,41	1.846,26
1580770206	Huinganco	Rural	277	297,59	0,93
1580770207	Huinganco	Urbano	733	3,64	201,37
1580770208	Andacollo	Urbano	1.295	0,49	2.616,64

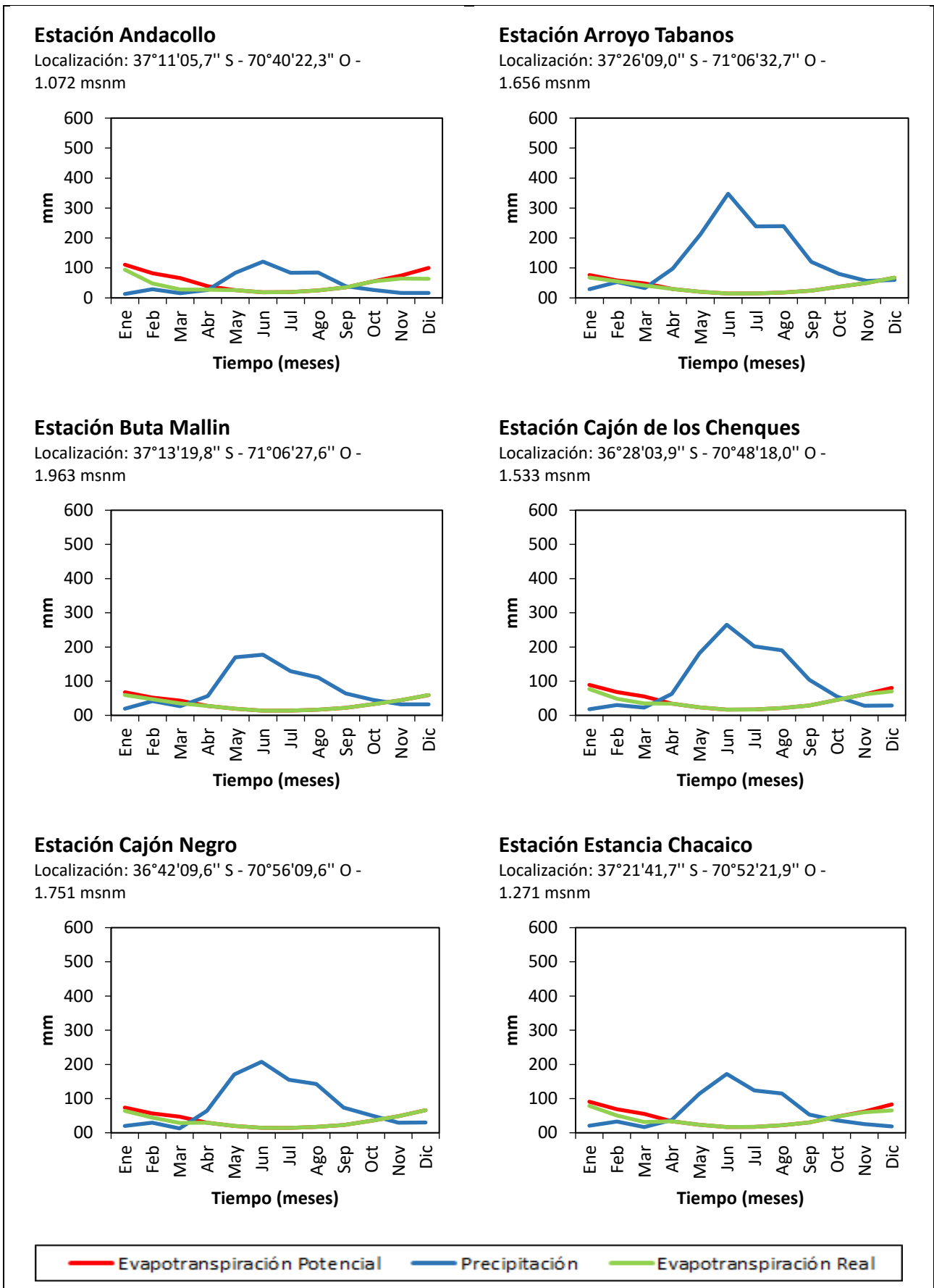
1580770210	Andacollo	Urbano	305	0,62	492,58
Subtotal departamento			7.229	5.791,65	1,25
Ñorquin					
1580840101	-	Rural	24	1.462,86	0,02
1580840102	El Cholar	Mixto	721	79,63	9,05
1580840103	El Cholar	Urbano	262	0,37	699,89
1580840104	-	Rural	58	710,28	0,08
1580840105	El Huecu	Mixto	1	0,12	7,82
Subtotal departamento			1.066	2.253,26	0,47
Total de la CARN			8.407 hab	8.282 km²	1,02
Total del municipio de Chos Malal			13.123 hab	77 km²	170,11
Total			21.530 hab	8.359 km²	2,58

Aclaraciones:

- 1) El radio censal Villa Del Nahueve incluye los centros poblados de Los Carrizos, Bella Vista y Cayanta.
- 2) Aquellos radios censales con un (*) en su clave, denotan la incorporación del centro poblado de Chos Malal.

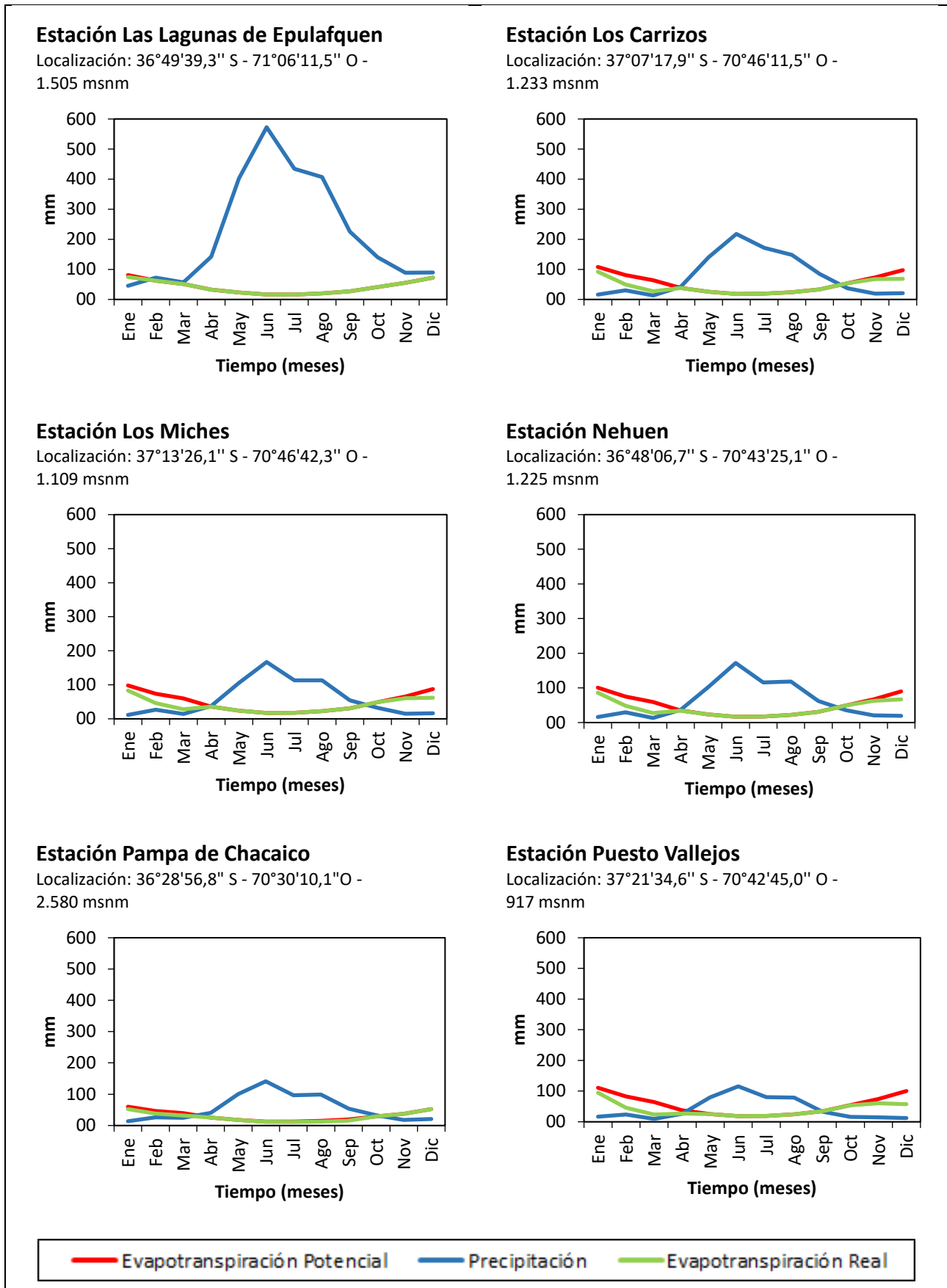
Fuente: elaboración propia en base a datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

Figura Anexo 1: Balance hídrico de estaciones hidrometeorológicas de la CARN.



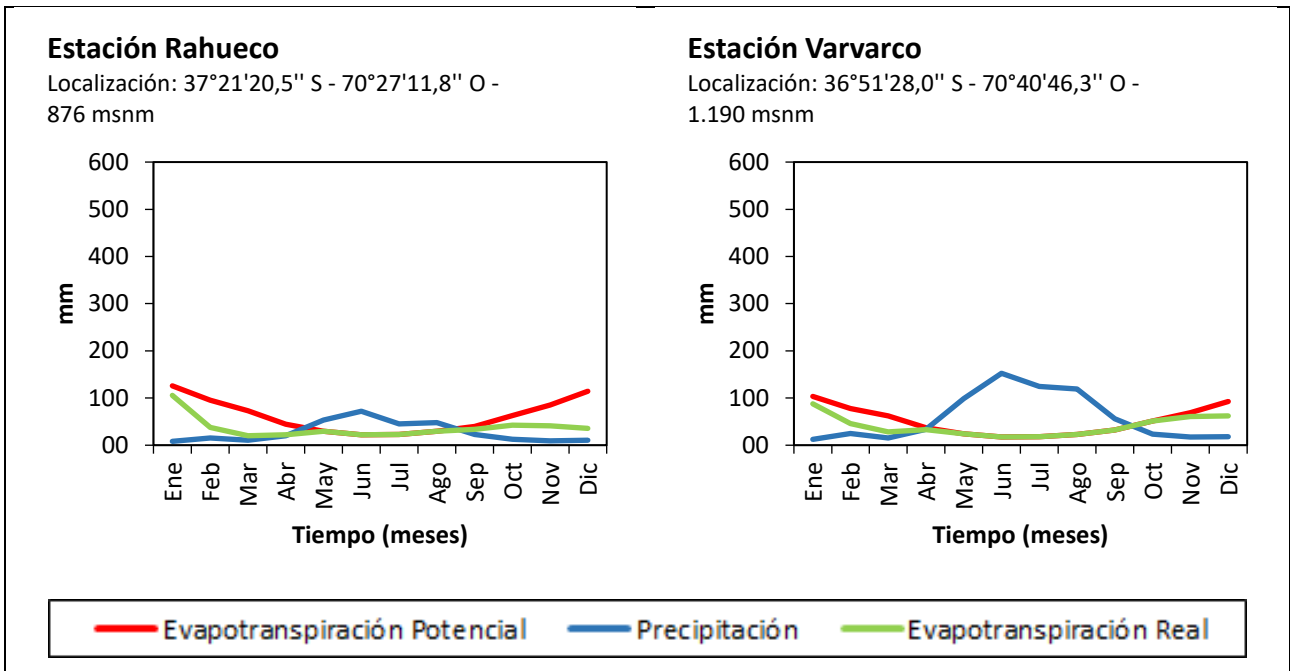
Fuente: elaboración propia en base a información proporcionada por la AIC.

Figura Anexo 2: Balance hídrico de estaciones hidrometeorológicas de la CARN (continuación).



Fuente: elaboración propia en base a información proporcionada por la AIC (pluviómetro totalizador: lluvia + nieve).

Figura Anexo 3: Balance hídrico de estaciones hidrometeorológicas de la CARN (continuación).



Fuente: elaboración propia en base a información proporcionada por la AIC.