



RÍO NEGRO
UNIVERSIDAD NACIONAL

*Evaluación e interacción de las
influencias naturales y antrópicas sobre
la cuenca del río Negro, Argentina*

Ing. Ana Clara Longo

Tesis presentada para la obtención del grado de Doctora con Mención
en Ciencias de la Tierra de la Universidad Nacional de Río Negro

Director: Dr. Gerardo M. E. Perillo

Codirectora: Dra. Stella M. Moreiras

Año 2023

Prefacio

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar el grado Académico de Doctora con Mención en Ciencias de la Tierra, de la Universidad Nacional de Río Negro y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito de los Institutos IADO- IANIGLA durante el período comprendido entre el 01 de Abril del 2015 y 04 de Septiembre de 2021, bajo la dirección de Dr. Gerardo M. E. Perillo, Investigador Superior del CONICET y Profesor Consulto del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur y la codirección de la Dra. Stella M. Moreiras, Investigadora Independiente del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CONICET Mendoza, ARGENTINA y Profesora Adjunta del Departamento de Ingeniería Agrícola Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

“Nunca debes tener miedo de lo que estás haciendo cuando es correcto.

Cree en ti misma, en tu ética personal y sigue adelante”

Marie Skłodowska-Curie (1867-1934)

Dedicada a mi hija Renata



Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a las personas que hicieron posible el desarrollo de esta tesis. En particular agradecer a mis directores, el Dr. Thomas Harmon y la Dra. Stella M. Moreiras por su dedicación, paciencia, criterio, apoyo y aliento, y en mención especial a mí director el Dr. Gerardo Perillo, quien ha sido además un gran mentor, incondicional apoyo, un ejemplo en este camino de la ciencia, paciente y siempre predispuesto. A la Universidad Nacional de Río Negro por brindarme el marco institucional y apoyo en mi formación. Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el marco institucional y el financiamiento económico mediante la beca de doctorado. En especial al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) y al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) por brindarme el lugar de trabajo y equipamiento necesario para desarrollar esta tesis.

Al Dr. Gerardo Perillo y la Dra. Cintia Piccolo por darme la posibilidad de formar parte de su grupo de investigación en los inicios del doctorado y a la Dra. Stella Moreiras por darme la posibilidad de formar parte del grupo de Geomorfología y Cuaternario. A los proyectos que financiaron estos trabajos SAFER, PIP 1122030100467CO y PICT 2016-0373.

También agradecer a las instituciones que colaboraron para la realización de esta investigación: Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN3038, con el apoyo de US National Science Foundation (Grant GEO-1128040), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Río Negro, Subsecretaría de Recursos Hídricos, al Instituto de Desarrollo del Valle Inferior (IDEVI) y al Departamento Provincial de Aguas (DPA).

Al personal técnico, administrativo, becarios e investigadores del IADO y IANIGLA. Al Dr. Alejandro Vítale por su compañerismo y apoyo tecnológico para el desarrollo del inicio de la tesis. A Carina, Facu, Katy, Ernesto y Sibila por haberme acompañado en los primeros pasos, por todo el apoyo brindado y por el inolvidable tiempo de aprendizaje en el procesamiento de datos. A mis amigos, mi familia de instituto, Pilar, Silvana, Mariana, Tomas, Matías y Marc por su compañerismo, consejos y apoyo día a día. A mis compañeros de oficina y almuerzos, cafés y viernes dulces Rafa, Luz, Seba, Aldana y todos y cada uno de los de la “gran mesa”. A la Dra. Aranibar, Dr. Mariano Masiokas, Dr. Lucas Ruiz, Dr. Pierre Pitte y Virginia Pitte, y a la Dra. María Laura Flores Cáceres por su ayuda y guía desinteresada.

A mi familia, a mi hija Renata por ser la luz y fuerza de cada día y Santiago, los mejores compañeros de caminos, campañas y apoyo incondicional. A mi gran familia, en particular a mis padres, Víctor y Mónica, por su invaluable ayuda, por motivarme a ser siempre un poquito mejor persona, respetarme y alentarme permanentemente a perseguir lo que quiero y a ser mejor profesional. A mis hermanos Juan, Leti, Luis y Lola por estar siempre a mi lado y a mis sobrinos Juli, Fran, Martín, Gini, Beni y Becca. A mis amigos gracias.

Resumen

La región patagónica es un área de gran extensión e importancia para el desarrollo poblacional y económico del país, cuya productividad está estrechamente ligada a la fuente del recurso agua. Cuenta con numerosas cuencas fluviales de nacimiento nívico en los Andes Argentinos, que brindan servicios ecosistémicos a la región, lo que hace necesaria su conservación y buen manejo. Una de estas grandes cuencas es la del río Negro, con nacimiento en la unión de otras dos cuencas, la del río Limay y la del río Neuquén conformando entre las tres el Sistema Fluvial del Río Negro (SFRN). A pesar de su importancia, representada por un área de drenaje de más de 26.000 km², se conoce muy poco sobre las características morfológicas y geoquímicas de la cuenca del río Negro y los tres segmentos en los que se divide el colector principal: Alto Valle, Valle Medio y Valle Inferior del río Negro. La hipótesis general de la presente tesis enuncia que *la evolución del río Negro a lo largo del territorio ha sido significativamente influenciada por factores antrópicos referidos a la construcción de represas y el aporte de elementos químicos por el desarrollo urbanístico y de diferentes industrias. En base a ésta, se realizó un estudio espaciotemporal de la morfometría y dinámica del río Negro analizando aquellos procesos, tanto antrópicos como naturales, dados a lo largo del Sistema Fluvial del río Negro. De forma más específica se analizaron los regímenes de parámetros climáticos e hidrológicos más significativos sobre el río Negro, conjuntamente al análisis de la relación de los parámetros climáticos e hidrológicos más significativos sobre el río Negro con los forzantes climáticos con influencias en la región. Además, se describió el río Negro desde el punto de vista de la morfometría a través del análisis de sensores remotos para dar base a la interpretación de los procesos dinámicos naturales. Finalmente se suma una clasificación fisicoquímica y elemental de los sedimentos para la observación de las posibles influencias directas del hombre sobre los sistemas fluviales. Se inició el proyecto estudiando los datos de veinte estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de la cuenca del río Negro. Se buscó identificar la relación entre los parámetros precipitación y temperatura con ENOS, y los valores encontrados se analizaron estadísticamente. Se llevó adelante un análisis de los parámetros morfológicos que definen al SFRN y al río Negro a través de la utilización de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SAGA GIS). Se generó entre ambos una relación de parámetros, interdependencia y consecuencia. Se estudiaron parámetros de forma, jerarquización del SFRN y del río Negro formando parte de este y como sistema aislado. Se obtuvo un análisis hipsométrico y de relieve del SFRN y del río Negro. Se sumaron los parámetros o factores externos como el factor topográfico (LS) en relación con la erosión del sistema, índice*

topográfico de humedad y de exposición a los vientos predominantes. Se realizó un análisis de estructura química elemental, textura y parámetros como pH y conductividad de los sedimentos.

Estadísticamente se obtuvieron datos de las precipitaciones acumuladas anuales, observándose a través del análisis estadístico de la base de datos climáticos, que los meses estivales son los de mayor proporción de lluvias en el Alto Valle. ENOS presenta influencias significativas como forzante climática en la Patagonia Norte. En los meses de invierno, mayormente junio, la correlación entre las lluvias y ENOS es significativamente positiva, mientras que existe una correlación negativa para los meses de primavera. Existe una clara interdependencia entre los parámetros de caudal, escurrimiento y derrame, estos a su vez demuestran una gran disminución en valor luego de la puesta en marcha de las represas en la década del setenta en adelante, demostrando, las represas y el control antrópico, ser la fuente principal del caudal actual del río Negro. Esto genera el efecto de aguas claras, mayor acarreo y erosión del Alto Valle. Se definió al SFRN y al río Negro como cuencas “muy grandes” de más de 5.000 km², y longitudes de 1.317 km y 719 km, respectivamente. Tanto el Índice de compacidad de Gravelius (Kc), el Índice de alargamiento medio de Caquot (Ca), Índice de forma de Horton (Kf) y Relación de elongación (Re) definen a las cuencas como alargadas, de baja concentración con bajo riesgo de crecidas de gran impacto. En cuanto al orden del río Negro, al aislarlo del sistema de afluentes que le dan origen, en si se define como orden 1 ya que, a lo largo de sus 719 km, desde su nacimiento en Confluencia hasta su desagüe en el mar Atlántico no presenta aportes; pero al integrarlo al SFRN toma valor 5, y se definen en transición entre un sistema de alta torrencialidad a llanura, con baja red de drenaje. A través de la curva hipsométrica se definió al SFRN como cuenca madura, con relieve peniplanizado, y gran desarrollo de las secciones de ritral y potamal. La Integral Hipsométrica (IH) muestra un sistema senil inicial, y las curtosis y asimetrías demuestran la erosión en la cabecera y zonas de mayores pendientes sobre fondo de cauce y laderas. El Relieve (R) demostró para el SFRN predominancia de máximas alturas y relieves, gran escorrentía y flujos de gran velocidad. Para el río Negro, R llega a valores de 500 m en la confluencia, y disminuye en valor hacia el estuario dando flujos de moderados a bajos, con formación de sistemas de meandros, mayor infiltración y menor escorrentía. Todo lo que se demuestra luego con el Índice de Relación de Relieve (Rr) y el Valor de Robustez (Rn). A través del Número de Rugosidad de Melton (MNR) se expone un mayor porcentaje de aporte de detritos en el SFRN sobre el porcentaje de detritos aportados en el río Negro. Luego con el Índice de Rugosidad del Terreno (TRI) se destaca la gran llanura que caracteriza al río Negro, con alturas a nivel o casi a nivel y la alta correlación de este índice con la pendiente. Pasando

al análisis de aspecto y pendientes, se demuestra que esa llanura representa un 33% del SFRN, y luego un 25% se observa como pendientes moderadas con dirección al norte y un 39% como pendientes pronunciadas con dirección al norte.

En los estudios fisicoquímicos de sedimentos del río Negro se definen las mayores proporciones o dominancia de texturas francas, con conductividades que van de valores medios de 4.857 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a máximos de 44.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en meandros abandonados antiguos sin influencia antrópica en la costa norte del Valle Medio, a mínimos de 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en un meandro abandonado antiguo, pero con presencia de actividad antrópica actual en la costa norte del Valle Medio. En cuanto a valores de pH se presentan valores medios de 7,9 y máximos de 10 en meandro abandonado en costa sur del Valle Medio y mínimo de 4,5 sobre costa norte del estuario. Los elementos químicos de base de los sedimentos a lo largo del río Negro muestra una composición principal de elementos tales como C, O y Si, sumados a porcentajes menores de Na, Mg, Cl, Fe, S, K y Ca. Luego se detectaron en sedimentos provenientes de varios puntos variaciones en concentraciones bajas, pero presencia de elementos tales como Ti, Ag, P, Mn, As, Ba, Mo, Ta, Ga, Zn, Cu y Ge. Algunos de estos elementos son de procedencia natural, de sedimentos de formaciones o de unidades geológicas. Otros son provenientes de la actividad antrópica que se desarrolla en los valles, como la agronomía y operaciones de extracción minera y petrolera. Se propone continuar este análisis desde el punto de vista del origen puntual de los elementos, debido a su importancia para comprender la procedencia, características contaminantes, consecuencias de su disponibilidad en el sistema, y el impacto positivo o negativo, natural y/o antrópico a su exposición, desde el Alto Valle a los inferiores.

La presente tesis depara un enfoque que aporta conocimiento tanto de base como aplicado para estudios similares de la dinámica de sedimentos, que permitan abordar de forma integrada la gestión fluvial de ríos como el Negro independiente y formando parte de un Sistema Fluvial. Se buscó generar un aporte que permita el aprovechamiento de los recursos suelo y agua del río Negro, para la gestión, el ordenamiento territorial y conocimiento base para estudios de riesgo y para distintas disciplinas.

Palabras claves: morfometría fluvial; geoquímica fluvial; sistema fluvial del Río Negro; ríos.

Abstract

The Patagonian region is an area of great extension and importance for the population and economic development of the country, whose productivity is closely linked to the source of water resources. It has numerous river basins of snowy source in the Argentinean Andes, which provide ecosystem services to the region, making their conservation and good management necessary. One of these large basins is the Negro river, which has its headwaters at the junction of two other basins, the Limay and the Neuquén rivers, which together make up the Negro River Fluvial System (SFRN). Despite its importance, represented by a drainage area of more than 26,000 km², very little is known about the morphometric and geochemical characteristics of the Negro river basin and the three segments into which the main collector is divided: Upper Valley, Middle Valley, and Lower Valley of the Negro river. The general hypothesis of the present thesis states that the evolution of the Negro river along the territory has been significantly influenced by anthropic factors referred to the construction of dams and the contribution of chemical elements due to urban development and different industries. Based on this, a spatio-temporal study of the morphometry and dynamics of the Negro River was carried out, analyzing both anthropic and natural processes occurring along the Negro River system. More specifically, the regimes of the most significant climatic and hydrological parameters on the Negro River were analyzed, together with the analysis of the relationship of the most significant climatic and hydrological parameters on the Negro river with the climatic forcing influencing the region. In addition, the Negro river was described from the morphometric point of view through the analysis of remote sensors to provide a basis for the interpretation of the natural dynamic processes. Finally, a physicochemical and elemental classification of the sediments is added for the observation of possible direct human influences on the river systems. The project started by studying data from twenty meteorological stations distributed along the Negro river basin. We sought to identify the relationship between the parameter's precipitation and temperature with ENSO, and the values found were statistically analyzed. An analysis of the morphometric parameters that define the SFRN and the Negro river was carried out employing remote sensors and geographic information systems (SAGA GIS). A relationship of parameters, interdependence, and consequence was generated between the two. Parameters of shape, the hierarchy of the SFRN, and the Negro river were studied as part of it and as an isolated system as well. A hypsometric and relief analysis of the SFRN and the Negro river was obtained. External parameters or factors such as the topographic factor (LS) about the erosion of the system, topographic index of humidity, and exposure to prevailing winds were added. An

analysis of elemental chemical structure, texture, and parameters such as pH and conductivity of the sediments was carried out.

Statistically, annual accumulated rainfall data were obtained, and the statistical analysis of the climate database showed that the summer months are those with the highest proportion of rainfall in the Alto Valle. ENSO has a significant influence as a climatic force in Northern Patagonia. In the winter months, mostly June, the correlation between rainfall and ENSO is significantly positive, while there is a negative correlation for the spring months. There is a clear interdependence between the parameters of flow, runoff, and spill, which in turn show a large decrease in value after the dams were put in place in the 1970s onwards, with the dams and anthropogenic control proving to be the main source of the current flow of the Río Negro. This generates the effect of clear water, increased conveyance, and erosion of the Upper Valley. The SFRN and the Negro river were defined as "very large" basins of more than 5,000 km², and lengths of 1,317 and 719 km, respectively. The Gravelius Compactness Index (Kc), Caquot Mean Elongation Index (Ca), Horton Shape Index (Kf), and Elongation Ratio (Re) define the catchments as elongated, low concentration with low risk of high-impact floods. As for the order of the Negro River, when isolated from the system of tributaries that give rise to it, it is defined as order 1 since, along its 719 km, from its source in Confluence to its outflow into the Atlantic Sea, it has no contributions; but when integrated into the SFRN it takes value of 5, and is defined as a transition from a system of high torrential flow to a plain, with a low drainage network. Using the hypsometric curve, the SFRN was defined as a mature basin, with a peniplanized relief, and a significant development of the ritral and potamal sections.

The Hypsometric Integral (HI) shows an initial senile system, and the kurtosis and asymmetries show erosion in the headwaters and areas of steeper slopes on the channel bottom and slopes. Relief (R) showed for the SFRN predominance of maximum heights and reliefs, large runoff and high velocity flows. For the Negro river, R reaches values of 500 m at the confluence and decreases in value towards the estuary giving moderate to low flows, with the formation of meandering systems, higher infiltration, and lower runoff. All of this is then demonstrated by the Relief Ratio Index (Rr) and the Roughness Value (Rn). Through the Melton Roughness Number (MNR) a higher percentage of debris input in the SFRN is exposed over the percentage of debris input in the Negro river. Then with the Terrain Roughness Index (TRI), we highlight the great flatness that characterizes the Negro River, with level or almost level heights and the high correlation of this index with the slope. Turning to the aspect and slope analysis, it is shown that the plain represents 33% of the SFRN, and 25% is observed as moderate north-facing slopes and 39% as steep north-facing slopes. The physicochemical studies of the

sediments of the Río Negro show the highest proportions or dominance of loamy textures, with conductivities ranging from mean values of 4,857 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to maximum values of 44,600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in old, abandoned meanders without anthropic influence on the north coast of the Middle Valley to minimum values of 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in an old, abandoned meander, but with the presence of current anthropic activity on the north coast of the Middle Valley. In terms of pH values, mean values of 7.9 and maximum values of 10 are found in an abandoned meander on the south coast of the Middle Valley, and a minimum of 4.5 on the north coast of the estuary. The basic chemical elements of the sediments along the Río Negro show a main composition of elements such as C, O, and Si, together with minor percentages of Na, Mg, Cl, Fe, S, K, and Ca. Then, variations in low concentrations, but the presence of elements such as Ti, Ag, P, Mn, As, Ba, Mo, Ta, Ga, Zn, Cu, and Ge were detected in sediments from several points. Some of these elements are of natural origin, from sediments of formations or geological units. Others are from anthropogenic activity in the valleys, such as agronomy and mining and oil extraction operations. It is proposed to continue this analysis from the point of view of the point origin of the elements, due to their importance in understanding the origin, polluting characteristics, consequences of their availability in the valley, and their impact on the environment.

The present thesis provides an approach that contributes both basic and applied knowledge for similar studies of sediment dynamics, which allows an integrated approach to fluvial management of rivers such as the Negro River as an independent river and as part of a river system. The aim was to generate a contribution that allows the use of the soil and water resources of the Negro River, for management, land use planning, and a knowledge base for risk studies and different disciplines

Keywords: Fluvial morphometry; fluvial geochemistry; fluvial system of the Rio Negro; rivers.

Contenido	
<i>Prefacio</i>	3
<i>Agradecimientos</i>	7
<i>CAPÍTULO I</i>	19
<i>Marco conceptual y caracterización general del área de estudio</i>	19
1.1 Introducción	20
1.2 Planteo del problema, hipótesis y objetivos.	25
1.3 Caracterización del Área de estudio	27
1.4 Marco conceptual	33
<i>CAPÍTULO II</i>	39
<i>Materiales y Métodos</i>	39
<i>2.1. Gabinete inicial</i>	40
2.1.1 Búsqueda de antecedentes	40
2.1.2 Diseños y planificación	40
2.1.3 Modelado digital del terreno	42
<i>2.2. Trabajos de campo</i>	42
2.2.1 Valle Inferior del Río Negro	42
2.2.2 Estuario del río Negro:	44
2.2.2.2 Muestreros de columna de agua	46
2.2.3 Alto Valle y Valle Medio del río Negro	46
2.2.3.1 Muestreros de agua.	47
2.2.3.2 Muestreros de suelos y sedimentos.	48
<i>2.3 Análisis de Laboratorio</i>	48
2.3.1 Análisis granulométrico	48
2.3.2 Conductividad eléctrica y pH	49
2.3.3 Análisis Geoquímico	50
<i>2.4 Tareas de gabinete final</i>	52
2.4.1 Análisis de datos meteorológicos	52
2.4.2 Análisis de caudales históricos	53
2.4.4 Geomorfología: Parámetros morfométricos	54
<i>CAPÍTULO III</i>	55
<i>Análisis de factores climáticos e hidrográficos en la cuenca del río Negro.</i>	55

3.1. Factores climáticos y forzantes atmosféricos.	56
3.2. Análisis de variables hidrológicas, afectaciones a factores climáticos e influencias antrópicas.	67
<i>CAPÍTULO IV</i>	74
<i>Análisis morfométricos y geomorfológicos del río Negro</i>	74
4.1 Características de forma del SFRN y el río Negro	75
4.2 Jerarquización de cuencas del SFRN	77
4.3 Análisis Hipsométrico	79
4.4 Análisis del relieve del SFRN y de la cuenca del río Negro	80
4.5 Análisis de factores externos	84
<i>CAPÍTULO V</i>	86
<i>Análisis físico y químico elemental en muestras de sedimentos del río Negro.</i>	86
5.1 Análisis de parámetros físicos del río Negro	88
5.2 Análisis químico elemental de los sedimentos de fondo del río Negro	92
<i>CAPÍTULO VI</i>	104
<i>Discusión y Conclusiones</i>	104
6.1 Factores climáticos e hidrológicos en la cuenca del río Negro	105
6.2 Morfometría y geomorfología del río Negro.	108
6.3 Composición geoquímica elemental de los sedimentos del río Negro.	116
6.4 Conclusión general.	123
6.4.1 Conclusiones generales sobre los factores climáticos e hidrológicos en la cuenca del río Negro.	123
6.4.2 Conclusiones sobre la morfometría y geomorfología del río Negro	124
6.4.2 Conclusiones sobre la composición geoquímica elemental de los sedimentos del río Negro.	124
<i>Bibliografía</i>	128

CAPÍTULO I

Marco conceptual y caracterización general del área de estudio



1.1 Introducción

Los ecosistemas fluviales representan un amplio e importante campo de trabajo. El estudio de estos sistemas implica todo un desafío, debiendo resolver múltiples problemas operativos y estrategias de trabajo para alcanzar una apropiada cobertura, tanto más si se trata de grandes ríos como los característicos de Sudamérica (Bonetto, 1993). La dinámica fluvial y geomorfológica forma la base del conocimiento necesario para funcionar y crecer correctamente como sociedad en el entorno de un sistema fluvial. Es indispensable conocer la dinámica hidrológica y parámetros geomorfométricos fluviales a la hora de avanzar en la gestión y toma de decisiones frente a problemas medioambientales y socioeconómico, que se deben afrontar de manera permanente y completa, teniendo en cuenta todos aquellos factores que dan forma y caracterizan como tal esta disciplina (Cappelletti, 2011).

El agua terrestre representa menos del 1% del agua total de la Tierra, y cumple un papel crucial en el desarrollo de la vida en la Tierra, en la variabilidad climática y en satisfacer las necesidades humanas (Cosandey y Robinson, 2000; Perrier y Tuzet, 2005). Considerando las diversas maneras en que el agua dulce se almacena y recorre la superficie de la tierra, ya sean ríos, arroyos, lagos, lagunas, embalses, humedales, etc. todas ellas juegan un papel crucial en los ciclos biogeoquímicos e hidrológicos del mundo (de Marsily, 2005).

Sudamérica tiene algunos de los ríos más grandes del mundo en términos de descarga de agua, incluyendo el río Amazonas y sus afluentes, y otros grandes ríos como San Francisco, Magdalena, Uruguay, de la Plata y Negro argentino, entre otros. Los ríos mencionados anteriormente drenan más del 65% del territorio sudamericano, descargando a los océanos alrededor del 28% del total de las aguas fluviales del mundo (Latrubesse, 2003). En áreas extensas, como la que es característica al río Negro y otros aún mayores, como la cuenca del Plata, la existencia de estudios sobre relaciones entre parámetros morfológicos, climatológicos e hidrológicos permite realizar aproximaciones a aquellos parámetros naturales que se suceden dentro de un Sistema Fluvial (Linsley et al., 1993; Yildiz, 2004).

Los ríos difieren entre sí y a lo largo del tiempo y del espacio. Un río puntual puede variar significativamente a lo largo de su recorrido, cambiando drásticamente sus dimensiones y su patrón en una corta distancia (Schumm, 2005), por ejemplo, serpenteantes como OuedSebou en Marruecos (Aouragh y Essahlaoui, 2014) o anastomosados como Jamuna en Bangladesh (Mejor et al, 2003). Muchos, sino la mayoría, de los sistemas fluviales presentan en su recorrido

más de un comportamiento de cauce y, cuando los humanos se involucran, las formas son mucho más simples, pero esta simplicidad es solo aparente (Ashworth et al., 2000). Si la hidrología y la hidráulica fueran los principales controles de la morfología y el comportamiento de los sistemas fluviales, cabría esperar que largos tramos de ríos mantuvieran morfologías características y relativamente uniformes (Schumm, 2005); sin embargo, los ríos son sistemas altamente sensibles al cambio climático, a los usos y accionar del hombre, así como también, son sistemas muy fuertes y tenaces en su camino y desarrollo propio. Son además el sustento de complejos ecosistemas que, a su vez, brindan diferentes servicios ecosistémicos. Se puede ver como la variabilidad de los ríos indica que intervienen varios factores importantes en su desarrollo espacio temporal. La complejidad de los ríos presenta un nuevo enfoque para comprenderlos incluida la respuesta fluvial a las actividades humanas. Comprender los mecanismos de la variabilidad es importante para geomorfólogos, geólogos, ingenieros fluviales y sedimentólogos cuando por ejemplo intentan interpretar depósitos fluviales antiguos o anticipar el comportamiento de los ríos en distintos lugares y a lo largo del tiempo” (Schumm, 2005).

Dentro de América del Sur, Argentina cuenta con sistemas tales como la Cuenca del Plata que es drenada por el propio río de la Plata y sus afluentes principales Paraná y Uruguay y abarca territorios de cinco países: Brasil, Bolivia, Paraguay, Argentina y Uruguay (Bonetto, 1993). La cuenca hidrográfica del Plata cubre un área de unos 3.100.000 km² (Darrigran et al., 2000) lo que la convierte en la segunda mayor de Sudamérica y la quinta del mundo, por detrás del Amazonas, Congo, Nilo y Mississippi (Bonetto, 1993). Luego hacia el sur de Argentina, en Patagonia, los ríos con nacientes en el sector cordillerano fluyen a través de una árida y desértica región prácticamente sin aportes de afluentes. Algunos de los ríos patagónicos como el Colorado, el Negro y el Santa Cruz, son de los más grandes del país en cuanto al tamaño de los valles y la descarga de los ríos (Piccolo y Perillo, 1999).

El control de la dinámica de los ríos es todavía muy incierto ya que hay un gran número de factores naturales que lo afectan, sumados a un escenario de cambios acelerados en usos del suelo y de cambio climático (Burlando et al., 1997). La cobertura vegetal, por ejemplo, ya sea nativa o exótica, que se desarrolla tanto en márgenes como en el lecho de un río impactan en entre otros factores, la capacidad de elevar la velocidad del curso a niveles críticos, evitando erosión y generando la sedimentación y esto a su vez propiciando desbordes por pérdidas de sección del canal de ese punto en el sistema fluvial (Doffo et al., 2021). Pese a la capacidad de reprocesamiento de los ríos frente a la creciente presión humana, ejercida por el vuelco de

residuales, nocivos, en sus aguas, sumado a intervenciones ingenieriles como presas, trasvases, rectificaciones entre otros, se ha llegado a transformar a muchos de ellos en lamentables cloacas, como es el caso de algunos brazos y afluentes del Paraná Inferior y del Río de la Plata (Bonetto, 1993; Depetris, 2019; Santucci, 2020). Las consecuencias de las actividades antrópicas sobre los sistemas fluviales como la canalización, diques, redireccionamiento de cauces son reconocidas desde hace tiempo (Fryirs et al., 2013). Esto se ve complementado con efectos por acciones antrópicas como el uso de los suelos, deforestación, agricultura intensiva, incendios y la urbanización sobre las llanuras de inundación (Gregorio, 2006).

La descarga del río Negro se desarrolla sobre el Atlántico a través de su estuario. Esta estructura geomorfológica es un cuerpo de agua costero semicerrado en el que se manifiesta la influencia de la marea a través de una o más conexiones directas con el mar abierto, o cualquier otra masa de agua costera salina, conjunta con la dilución frente al agua dulce derivada del drenaje terrestre, y que puede sustentar organismos eurihalinos en una parte o en la totalidad de su ciclo de vida (Perillo, 1995). Algunos estudios se han ocupado directamente de las características geomorfológicas y los procesos de transporte de sedimentos que se producen en el estuario del río Negro (del Río et al. 1991). La desembocadura presenta un ancho de 1 km y fluye a lo largo de un valle de 12 km aproximadamente; sin embargo, el ancho del río varía entre 500 y 800 m y su profundidad varía entre 5 y 10 m (Soldano, 1947). Se presenta entonces como un delta de reflujos con un canal principal, dominado por las corrientes de reflujos, y canales marginales, dominados por las corrientes de flujo, encontrándose en su desembocadura dos bancos de sedimentos, los bancos Miguel al SO y banco La Hoya al NE (del Río et al., 1991; Piccolo y Perillo, 1999).

Los procesos sedimentológicos que ocurren en el cauce modifican la morfología fluvial. Esta es variable en tiempo y espacio, hecho que se refleja en la forma de los cauces y para lo cual las crecidas tienen un papel determinante en la movilización y transporte de aguas abajo (Volenté, 2017). La morfometría fluvial complementa la información que permite caracterizar la dinámica hidrográfica ya que posibilita conocer la respuesta hidrológica de la cuenca y valorar formas y procesos de erosión. Numerosos autores han desarrollado índices morfométricos y evaluado su aplicabilidad, entre ellos se destacan: Horton (1945), Strahler (1952; 1964), Schumm (1956; 1963), Hadley y Schumm (1961), Melton (1965), Hynes (1970), Harlin (1978), Riley (1999) y Luo (2000).

La evolución de los sistemas naturales tiene una inercia propia que resulta de la interacción de diferentes componentes. La geología, el relieve, el clima y la actividad antrópica son los principales determinantes de los sistemas fluviales en la actualidad. Los cambios antropogénicos han llevado a modificaciones generalizadas en la estructura física de ríos, comunidades bióticas y el funcionamiento ecológico de ecosistemas acuáticos en todo el mundo (Thompson et al., 2002). Por ejemplo, los cambios graduales que se dan en una determinada llanura de inundación coinciden con el aumento también gradual del impacto antrópico, lo que sugiere la linealidad a escala de cuenca entre el forzamiento externo (antrópico) y la respuesta a éste de la llanura de inundación (Broothaerts et al., 2014). La sensibilidad de la respuesta morfodinámica, a diferentes impulsores naturales y antrópicos que operan a diferentes escalas temporales y espaciales, es muy diferente y refiere una verdadera complejidad inherente a la evaluación de un impacto acumulativo en sistemas fluviales (Dows et al., 2013).

Todos los elementos que hacen a la dinámica fluvial se ven influenciados por distintas actividades antrópicas que se desarrollan a lo largo de una cuenca. Ejemplo de esto es la gran masa de agua, como la que constituye el lago de Casa de Piedra, sobre las aguas del río Colorado, Argentina, de más de 60 km de largo y casi 3.800 hm³ de volumen, donde se produce la depositación del material transportado, disuelto o en suspensión, dándole una nueva condición de parámetros a las aguas emergentes de la represa y, por consiguiente, a su comportamiento en la cuenca (Cazenave, 2011). Las represas pueden dar como resultado cambios en el equilibrio entre los sedimentos, capacidad de suministro y transporte y, a menudo, cambios en la forma general del río y su desembocadura. La construcción de la represa en sí misma causa incisión aguas abajo, exposición de las superficies de la barra, invasión de la vegetación y la formación de superficies de anastomosamiento que pueden ir generando distintos aportes a la cuenca baja y en consecuencia en la estructura geomorfológica de descarga que resulte. Sin embargo, el tiempo y la secuencia de estos cambios dependen de los regímenes hidrológicos y de suministro de sedimentos, los ajustes geomorfológicos y acciones antropogénicas que acompañan a la construcción de represas (Slowik et al., 2018.)

Los deltas de marea de reflujos son grandes acumulaciones sedimentarias entre lo que se podría considerar el límite de sistema fluvial y el inicio del sistema oceánico, donde las mareas juegan un papel importante en el movimiento de sedimentos alrededor de los sistemas estuarinos e influyen en las rutas de transporte dentro de las células litorales costeras y se forman en respuesta a las fuerzas de las mareas. El tamaño y la forma de equilibrio de los lóbulos que conforman este tipo de deltas están determinados por el prisma de marea, la energía de las olas

y el sedimento disponible. Cuando trasladamos esto a un prisma local se produce una respuesta morfodinámica puntual, generalmente en forma de lechos móviles o barras de arena que migran a lo largo del delta hacia las playas cercanas a la costa o adyacentes (Harrison et al., 2017). Por ejemplo, a nivel nacional encontramos únicamente dos estuarios definidos como Deltas de Reflujo, uno de ellos es el estuario de Bahía Blanca, un estuario mesomareal formado por un sistema de canales separados por islas y amplias planicies de marea (Piccolo y Perillo, 1990). El otro, el que nos ocupa, es el estuario de río Negro. Estos ambientes estuarinos están regulados por procesos físicos de interacción, que incluyen el suministro de sedimentos por mareas y la descarga del río (Robins et al., 2016). Los estuarios son centros de procesos para los ciclos hidrológicos costeros, biogeoquímicos y biológicos, y su productividad biológica compite con los de las selvas tropicales y los arrecifes de coral (Cai, 2011); la asimetría del flujo de las mareas se considera como el factor principal que influye en el transporte neto de sedimentos y, por lo tanto, es responsable de la estabilidad del sistema (Hoitink et al., 2003).

En base al clima actual sumado a los efectos causados por las distintas actividades humanas, el desarrollo morfológico de los sistemas estuarinos se debe determinar, por la importancia relativa cambiante sus influencias en los sistemas fluviales, las olas y las mareas (Prandle, 2009). La influencia de las mareas a menudo excede la intrusión de agua salada en el río, y la región de influencia de agua dulce en el mar (ROFI) puede extenderse mar adentro, como en el estuario de Severn, Inglaterra (Robins et al., 2016). Tanto la magnitud como la duración de las flujos y reflujos afectan el resultado morfológico y los efectos de retroalimentación pueden mantener un estuario en un estado de equilibrio dinámico, oscilando entre estados morfológicos (Pethick, 1994). Los estuarios pueden clasificarse según la estructura de salinidad (homogéneo a estratificado), rango de mareas (micromareal, mesomareal o macromareal) y geomorfología. Por lo tanto, el monitoreo a largo plazo y el aumento de interés en la investigación de sistemas estuarinos debe considerar el sistema cuenca-río-estuario-costa como un todo (Robins et al., 2016). Según Lanzoni y Seminara (1998) y, más recientemente, Pye y Blott (2014), los estuarios profundos o construidos en barras tienden a generar dominancia de corriente de reflujo, mientras que en los estuarios poco profundos o de boca ancha, se ve dominancia de corrientes y se desarrollan inundaciones por lo que se ven afectadas las vías de transporte de sedimentos. Pero la clasificación de la asimetría del flujo de reflujo / corrientes de inundación (p.e., Friedrichs y Aubrey, 1988) no da necesariamente una indicación precisa del transporte neto de sedimentos (Robins et al., 2016). Se desarrolla un intento de sistematización del comportamiento general de los sistemas estuarinos, clasificando las regiones del estuario como

dominado por el flujo si la asimetría en la marea causa una acumulación neta de sedimentos en el estuario o como se refirieron al comportamiento opuesto como dominado por el reflujo. Es probable que un estuario se vuelva más dominado por el flujo a medida que la marea se desplaza hacia el interior, al mismo tiempo que proporciona una clara evidencia de los canales de reflujo en la promoción del predominio del reflujo en el transporte neto de sedimentos (Robins y Davies, 2010).

La Geomorfometría es la ciencia de análisis cuantitativo de la superficie terrestre (Pike et al. 2009). Desarrolla la representación numérica del relieve y el patrón de la superficie tanto de las formas terrestres específicas como paisajes continuos. La disciplina es conocida como análisis de terreno o geomorfología cuantitativa, aunque el término más reciente modelado digital de terreno parece cada vez más aceptado (Lane et al., 1998; Pike, 1998); está experimentando un crecimiento explosivo impulsado por la revolución informática y los modelos digitales de elevación (DEM) (Pike, 2000). Proporciona información que no implica la simulación de procesos como tales, sino que tiene en cuenta como los sedimentos y su dinámica son controlados por la topografía y de esta manera permite cartografiar la conectividad a la cuenta hidrográfica o a escala regional (Schopper et al., 2019). El término morfometría fluvial es empleado para denotar la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial (Strahler, 1979). A partir de estas metodologías sumadas a estudios geomorfológicos convencionales, se aporta información de base para estudios aplicados, edafológicos, ambientales, etc., y con ellos prevenir o mitigar daños producidos por diferentes actividades tanto antrópicas como naturales, principalmente por inundaciones en una cuenca fluvial determinada (Ocaña et al., 2020). El estudio de una cuenca requiere del análisis de muchos factores y de la intervención de distintas disciplinas donde las modificaciones humanas cobran gran valor en el análisis de estas redes de drenaje. La morfometría fluvial permite conocer diversas variables morfométricas que caracterizan la forma de una cuenca de drenaje. y con esto visualizar el papel esencial que ejercen en el análisis de variables físicas como así también de algunos componentes del ciclo hidrológico (erosión, drenaje, infiltración, escurrimiento, etc.) de una cuenca natural (Strahler, 1979; Jardí, 1985; Gonzales, 1999, Gil et al., 2009). El hombre reduce o aumenta las características del sistema fluvial con, por ejemplo, la construcción de obras de arte, las que se definen como las estructuras hidráulicas que hacen el funcionamiento del conjunto de una obra, como por ejemplo canales, compuertas, sumideros, alcantarillas, etc. Estas nuevas estructuras intervienen en la creación de nuevos niveles de base que modifican la energía del caudal aguas arriba y/o aguas debajo de las mismas, interponen

conductos en los cruces de ruta y vías férreas y canalizan redes cambiando la trayectoria del agua (Senciales, 1999). Lo que en un principio era una red de drenaje natural va transformando sus patrones originales en otros más antropizados (Campo et al., 2012).

La partición de los sedimentos por tamaño de partícula se produce durante el transporte produciendo depósitos de características sedimentológicas y químicas variables (Miller et al., 2013). Las características geoquímicas de los sedimentos pueden resultar de la combinación de numerosos factores como la naturaleza, la fuente, el tipo, proceso y distancia de transporte, la intensidad y duración de la meteorización, las características climáticas predominantes, la presencia de minerales seleccionados por procesos hidráulicos o la intensidad y extensión temporal de la diagénesis, entre otros (McLennan 1989, Cox y Lowe 1995). La meteorización de las rocas produce la liberación de los elementos mayoritarios, minoritarios y los elementos traza que se hallan generalmente en los minerales accesorios. El estudio de estos elementos en los sistemas fluviales proporciona información valiosa sobre de los procesos de meteorización y transporte que tienen lugar en una cuenca (Sepúlveda et al., 2019). En el caso de los sedimentos finos constituyen un componente especialmente importante como agente receptor y transportador de elementos potencialmente contaminantes, debido a su impacto directo en la biota, la sorción de nutrientes (Miller et al., 2007). Tanto los elementos llamados esenciales (hierro (Fe), cobre (Cu), etc.), como los no-esenciales (arsénico (As), plata (Ag), entre otros), son grupos de elementos potencialmente tóxicos para diferentes ecosistemas (Förstner y Wittman, 1983). Estos efectos nocivos (tóxicos) dependen de la especie química y de su concentración en la fase más lábil (Kontas, 2008). El oxígeno, por ejemplo, da información del estado aerobio, anaerobio o de descomposición o contaminación de un ambiente. La cantidad de oxígeno disuelto que es consumido por la oxidación de la materia orgánica y los sedimentos es conocido como: Demanda de Oxígeno de Sedimentos (SOD por sus siglas en inglés), (Cadwell y Doyle, 1995; Wood, 2001; Doyle y Lynch, 2003; Benjumea y Alvarez, 2017). Además, por ejemplo, en sistemas en condiciones de bajos potenciales redox, elementos como el molibdeno (Mo) pasan a ser indicadores de procesos redox (Crusius et al., 1996, Morford y Emerson 1999, Pearce et al., 2008), ambientes anóxicos - euxínicos, con altas concentraciones de H₂S, y diagnóstico de condiciones de depositación reductoras (Calvert y Pedersen, 1993; Anbar, 2004; McManus et al., 2005; Tribovillard et al., 2006; Montero-Serrano et al., 2009). La gestión de la contaminación no puntual en los sistemas acuáticos ha demostrado ser extremadamente difícil y es la principal causa de la degradación de las aguas superficiales (USEPA, 2000).

1.2 Planteo del problema, hipótesis y objetivos.

Los ríos que conforman el Sistema Fluvial del río Negro (SFRN), los ríos Limay, Neuquén y el Negro, representan un papel muy importante en el crecimiento y expansión económica de las más de 8 ciudades y pueblos, como General Roca (aproximadamente 90.647 habitantes), Cipolletti (aproximadamente 87.492 habitantes), Viedma (aproximadamente 53.618 habitantes), Villa Regina (aproximadamente 33.089 habitantes), Allen (aproximadamente 27.443 habitantes), Choele-Choel (aproximadamente 10.642), (Censo 2010 Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), que se desarrollan en el Valle del río Negro. Previo a la construcción de las diferentes represas que controlan las aguas de este sistema fluvial, los asentamientos o emprendimientos apenas se acercaban a la vera del río Negro, (Prates et al., 2006, 2010). A través de un análisis previo de imágenes satelitales, se denota que luego de la década del setenta, donde la gran mayoría de las represas ya se encontraban en actividad, la dinámica poblacional e industrial fue ocupando los espacios brindados por las planicies de inundación y así fueron surgiendo diferentes conflictos ambientales relativos a problemas escurrimiento, escorrentía, pérdidas de suelos, adaptación de la urbanización al medio natural y la degradación de los cursos entre otros (Alberto 2005; Ciminari et al., 2005; Andrade et al., 2017; Rotger, 2018). Existe una gran incertidumbre sobre el comportamiento que puede presentar el río Negro frente a cambios en sus características tales como el caudal, formación de islas, meandros, grado de incisión, etc. Además, todos estos factores se ven modificados por fenómenos diferentes tales como variaciones en las precipitaciones en alta montaña o en el llano, regulación de represas, descargas industriales no controladas, etc. Es entonces cuando surge la necesidad de predecir las posibilidades que deriven en cambios que representen un aumento en la vulnerabilidad para el hombre o sistemas de los cuales el hombre depende.

Para poder desarrollar un mapa o estudio de vulnerabilidades, ahondar en temas de ordenamiento territorial con todo lo que este conlleva, desarrollarse como sociedad sustentable en este o cualquier sistema fluvial, se deben conocer las características que lo definen de manera holística. Muchos estudios puntuales han hecho referencias a diferentes características de la cuenca del río Negro y de sus afluentes que se irán destacando en el desarrollo de esta tesis, pero a pesar de ello poca es la información de base y completa con la que se cuenta a la hora de conocer y predecir el comportamiento del río Negro. En resumen, un río es altamente sensitivo y se encuentra afectado de manera continua por gran cantidad de factores naturales y antrópicos

que hacen en su conjunto que el estudio de los sistemas fluviales sea altamente complejo y que requiera un análisis desde múltiples aspectos y herramientas.

Para poder enmarcar el estudio realizado en esta Tesis se planteó como hipótesis que *la evolución del río Negro a lo largo del territorio ha sido significativamente influenciada por factores antrópicos referidos a la construcción de represas y el aporte de elementos químicos por el desarrollo urbanístico y de diferentes industrias.*

Objetivo general:

- Realizar un estudio espaciotemporal de la morfometría y dinámica del río Negro analizando aquellos procesos, tanto antrópicos como naturales, desarrollados en el Sistema Fluvial del río Negro.

Objetivos específicos:

- Analizar los regímenes de parámetros climáticos e hidrológicos más significativos sobre el río Negro.
- Analizar la relación de los parámetros climáticos e hidrológicos más significativos sobre el río Negro con los forzantes climáticos con influencias en la región.
- Describir el río Negro desde el punto de vista de la morfometría a través del análisis de sensores remotos para dar base a la interpretación de los procesos dinámicos naturales.
- Realizar la clasificación fisicoquímica y elemental de los sedimentos para la observación de las posibles influencias directas del hombre sobre los sistemas fluviales.

1.3 Caracterización del Área de estudio

La Patagonia argentina es una de las regiones semiáridas más extensas de Sudamérica localizadas en el Sur de Argentina que abarca desde los 39-56° de latitud Sur e incluye la Cordillera de los Andes y las mesetas, planicies y serranías comprendidas entre los Andes y el Océano Atlántico, cubriendo una superficie de 1.073.060 km² (León et al., 1998) (Figura I-1). En 1986, Wilken definió a las Ecorregiones como áreas diferenciadas por sus características combinadas e interrelacionadas de factores geológicos, geomorfológicos, edáficos, climáticos, de vegetación, usos de la tierra y ocupación humana.



Figura I-1: Mapa de localización de la región patagónica, límites inferiores de provincias Fitogeográficas Del Monte (LIErM) en rosa y Patagónica (LIErP) en color amarillo (basado en SIPAS-INTA, 2019; Cabrera, 1976, 1994). Localización de las provincias Neuquén y Río Negro y los cursos principales de los ríos Neuquén, Limay y Negro sobre el que se destacan en sus respectivos colores las zonas del río Negro donde se centra el estudio.

La cuenca del río Negro se encuentra sobre las Planicies Estructurales Norpatagónicas. Se localiza entre los 39° -40° latitud Sur, ocupa el norte y este de la provincia de Río Negro, sur de la Pampa, este de Neuquén y sur de Buenos Aires. Es una región destacada por planicies estructurales y terrazas fluviales y estructurales formadas por la acción erosiva de los cursos fluviales. Según la clasificación de Köppen modificada, esta ecorregión es una transición entre un clima semiárido estepario frío (Bskw) y uno desértico frío (Bwk), con inviernos fríos y veranos cálidos, con precipitaciones escasas y vegetación natural de estepa o propia de desierto llegando a nula (Pereyra, 2003). Al mismo tiempo la Patagonia incluye a las provincias fitogeográficas del Monte, el límite austral de la Provincia Fitogeográfica del Espinal y Provincia Fitogeográfica Patagónica con estepa herbácea, arbustivas y semidesiertos (Cabrera, 1976).

En el norte patagónico, la provincia de Río Negro tiene una vasta extensión y diversidad de potencialidades productivas, donde los desarrollos más intensivos se han dado en los extremos

norte, este y oeste. Las limitantes en la productividad de la provincia están regidas por las características físicas y climáticas que presenta la región de la meseta. Sin embargo, presentan un buen desarrollo de los principales complejos productivos que manejan la economía de la provincia. Las principales industrias son: fruticultura, el turismo, la explotación de hidrocarburos, la minería, la pesca y la ganadería, siendo muy marcada la especialización de estas actividades (FAO, 2015).

El SFRN se desarrolla en dos provincias patagónicas en el extremo oeste se encuentran las provincias de Neuquén, con una superficie aproximada de 94.078 km² y Río Negro de 203.013 km². El río Limay por el sur y el río Neuquén por el norte conforman el río Negro, el que comprende un área de 70.000 km² (Depetris, 1980).

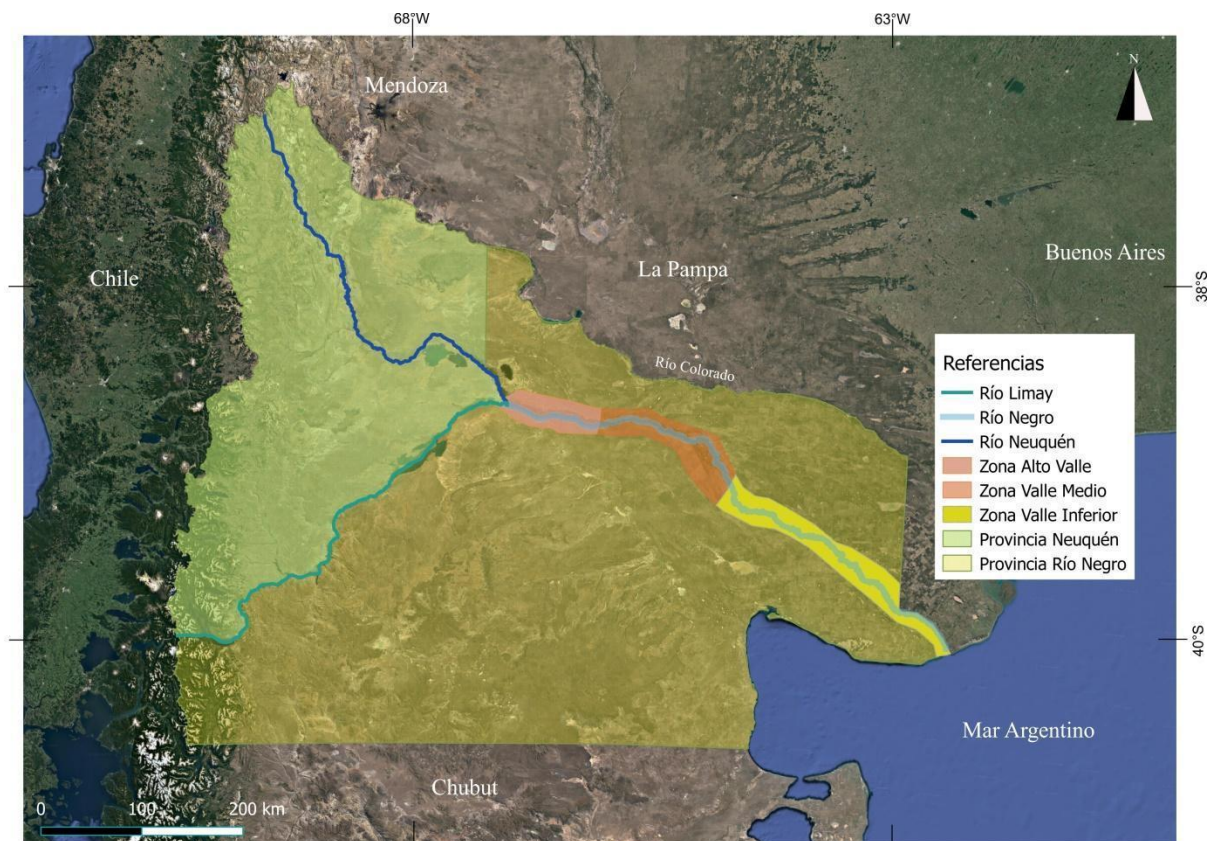


Figura I-2: Mapa de localización del norte de la Patagonia. Ubicación de los ríos que conforman el Sistema Fluvial del Río Negro y zonas en las que se divide el Valle del río Negro: Alto Valle, Valle Medio y el Valle Inferior (Basado en esquemas de Núñez (2015) sumado a mapa oficial de los valles del Río Negro del Gobierno Provincial de Río Negro, 2020).

La cuenca del río Negro es uno de los sistemas hidrográficos más importante con pleno desarrollo en el país (Pasquini y Depetris, 2007) y el más importante de los ríos patagónicos

tanto en el aspecto hidrológico como económico (Piccolo y Perillo, 1997). Se extiende desde la confluencia de los ríos Neuquén y Limay hasta la costa Atlántica con un largo de 636 km. La distancia directa entre su punto de origen y la desembocadura es de solo 527 km, el resto corresponden a más de 100 km de curvas y meandros. En término medio su ancho es de 200 m y su profundidad varía entre 1,5 y 7 m. (Windhausen, 1922). Las principales dimensiones del drenaje del río Negro son: cuenca de drenaje, 95.000 km², incluyendo las cuencas de sus dos afluentes, caudal medio de 858 m³/s y esorrentía de 251 mm/año; colocándolo así dentro de los ríos de la Patagonia argentina con mayor superficie de cuenca y el mayor caudal (Depetris, 2005). Los afluentes principales del río Negro, ríos Limay y Neuquén, se encuentran intervenidos por las represas que, a través de sus operaciones, ejercen una gran influencia sobre las principales actividades económicas del valle, actividad agrícola, frutícola intensiva, y sobre las aguas y características en general del río Negro. En 1972 se pone en operación la Presa Portezuelo Grande junto con la Presa El Chocón, seguidas por la puesta en actividad de la Central Planicie Banderita en 1977, la Presa Compensadora El Chañar y en 1983, la Presa Compensadora Arroyito (ORSEP, 2016), (Figura I-3).

El SFRN colecta las aguas del sector de la cordillera de los Andes ubicado entre las latitudes 36°S y 41°S, que con isohietas que alcanzan los 5.400 mm anuales es uno de los de mayor precipitación de todo el país. El 59.8% de la gran cuenca del río Negro se encuentra en territorio neuquino, constituyendo su cuenca activa. El río Negro, a lo largo de todo su recorrido se divide en tres zonas: zona del alto valle al noroeste y naciente del río, zona del Valle Medio, donde se destacan geoformas de islas y meandros, y la zona del Valle Inferior hacia la desembocadura. La zona del Alto Valle corresponde al curso superior del río Negro, conteniendo a las grandes ciudades como General Roca, Cipolletti, Villa Regina y otras menores. Ésta zona del río Negro comienza en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén, y alcanza hasta Chichinales.

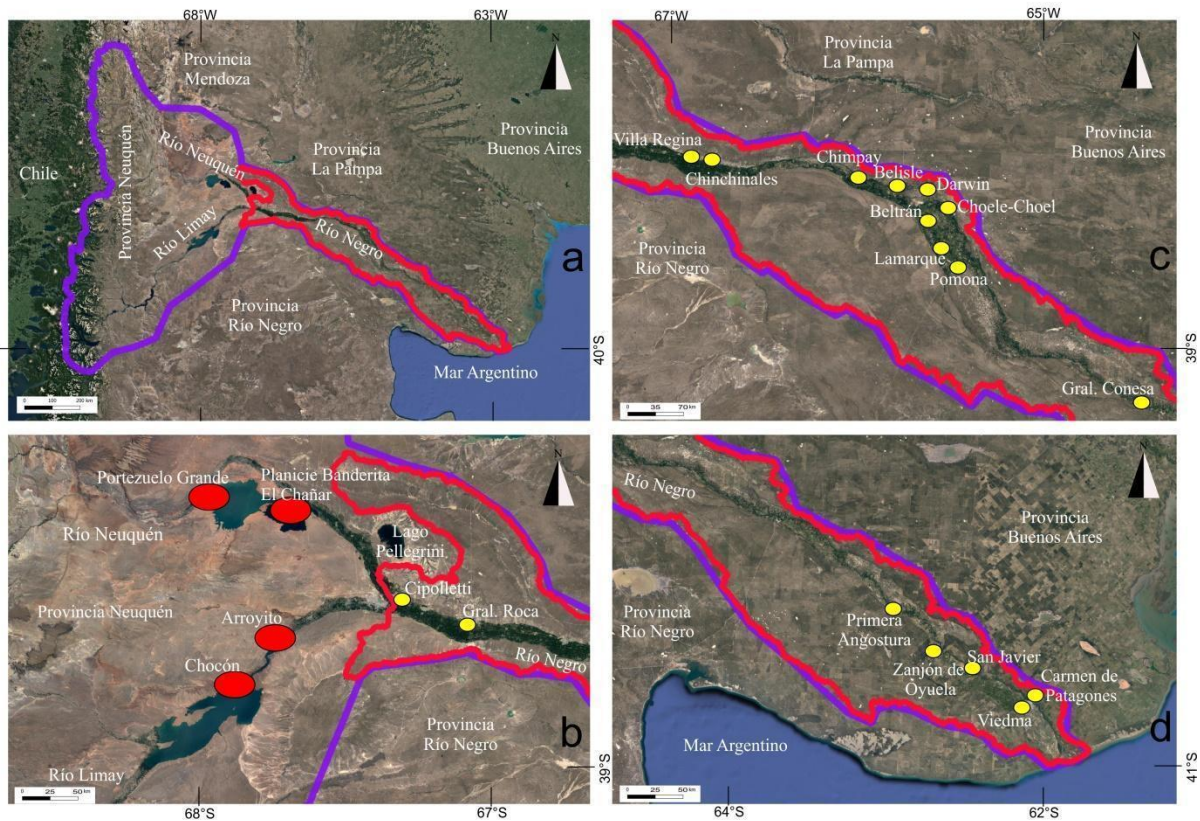


Figura I-3: Mapa de localización de represas y pueblos del Sistema Fluvial del Río Negro. Se utiliza como base imagen de Google Earth Pro-2016. **a.** SFRN y Cuenca del Río Negro. **b.** En elipses rojas las represas y en círculos amarillos los pueblos de zona de confluencia. **c.** En círculos amarillos los pueblos en zona de Alto Valle y Valle Medio. **d.** En círculos amarillos los pueblos de la zona de Valle Inferior y desembocadura del río Negro.

La zona de Valle Medio o cuenca media se localiza en el departamento de Avellaneda. Su actividad económica principal es la industria agronómica, centrada en los cultivos de alfalfa, pasturas y hortalizas. Con una superficie irrigada que supera las 20.000 ha, la dependencia de las aguas y características geomorfológicas del río Negro es crucial para la sustentabilidad de los siete pueblos que se encuentran y desarrollan en su extensión, Pomona (737 habitantes), Lamarque (8.234 habitantes), Luis Beltrán (5.603 habitantes), Choele Choel (10.642 habitantes), Darwin (1.148 habitantes), Cnel. Belisle (1,764 habitantes) y Chimpay (4.868 habitantes). (Figura I-3).

La zona del valle Inferior o cuenca baja corresponde al curso inferior del río Negro y presenta un delta de marea de reflujo en la desembocadura en el océano Atlántico. Se extiende en dirección NO-SE entre los 40° 36' - 40° 48' LS y 63° 00' - 63° 30' LO con una longitud de 100 km y un ancho medio de 8 km. Topográficamente el valle presenta una llanura con suave pendiente hacia el mar y una altitud media de 4 msnm, con algunas depresiones que no

sobrepasan los 2 m. La superficie total del valle es del orden de las 80 mil hectáreas de las cuales pueden acondicionarse para riego aproximadamente 65 mil hectáreas (IDEVI, 2010). Aquí se encuentran las ciudades de Viedma (80.632 habitantes) y Carmen de Patagones (35.000 habitantes). Otras localidades son Primera Angostura (menos de 700 habitantes), Guardia Mitre (856 habitantes), el paraje Zanjón de Oyuela, San Javier (530 habitantes), el paraje Cubanea con población rural y dispersa y el Balneario El Cóndor (428 habitantes) (Indec, 2001, 2019), entre otras, (Figura I-3).

1.4 Antecedentes del área de trabajo

Existe un fuerte consenso con relación al cambio acelerado del clima a escala global, particularmente a través de la variación en patrones y tendencias de algunos parámetros climáticos como la precipitación y la temperatura, cambios que repercuten en el desarrollo de una cuenca hidrográfica (Díaz et al., 2017). El monitoreo de parámetros asociados a la dinámica del recurso hídrico, resultan de gran valor para el estudio integrado de un sistema fluvial (Díaz Boris et al., 2017). En regiones extensas como lo es el sistema fluvial del río Negro, existen relaciones útiles entre parámetros morfométricos, climatológicos e hidrológicos que permiten realizar una aproximación a los procesos naturales influyentes. El análisis de diversos indicadores del medio físico, en particular de los asociados con los recursos hídricos representa así, una herramienta fundamental para la caracterización de la cuenca (Díaz Boris et al., 2015).

En la región del Valle de Río Negro, muy pocos estudios paleo climáticos se han llevado adelante que permitan dar base y reconstrucción de lo acontecido con respecto al clima de la zona de estudio; sin embargo, se encuentran algunos estudios de la Patagonia y la Pampa que ayudan a reconstruir el paleo ambiente general de este valle. Se indicó que durante el Holoceno Temprano (10.000 a 7.000 años AP), el clima era más húmedo que en el pasado, mientras que las temperaturas aumentaron, pero se estabilizaron durante el Holoceno Tardío cuando se hizo más árido (Luchsinger, 2006). De 7.000 a 5.000 años AP, lo que se denomina Holoceno Medio, el clima de la región era principalmente árido. Hacia el Holoceno tardío (5.000 a 3.000 años AP) se tornaba cada vez más semiárido con una mayor frecuencia de precipitaciones y más estacionalidad (Tonni y Fidalgo, 1978).

En 1965, Polanski expresa como el clima de Patagonia es riguroso, con temperaturas que muchas veces no superan -10 °C. Con vientos impetuosos y constantes que en oportunidades superan los 100 km/h. Las lluvias son escasas en esta porción del continente (alrededor de los 200 mm/año), resultando en general en un clima árido-semidesértico que se atempera hacia la

cordillera, al sur y en Tierra del Fuego, donde puede calificarse de semiárido. En la década del 70', y hasta el presente, se desarrollan con más profundidad los conocimientos de los causantes de este clima. Los principales determinantes del clima hacia el sur de Sudamérica son: el Cinturón ciclónico circum-antártico, la celda de alta presión del sureste del Pacífico y la barrera montañosa de los Andes en toda su extensión (Taljaard, 1972; Prohaska, 1976; Miller, 1976). Son muchos los trabajos que analizan la variable temperatura en la región patagónica y en Sudamérica o el hemisferio sur. Pittock en 1980 analizó las variaciones climáticas en el sur de Sudamérica encontrando una estructura norte-sur en la variabilidad interanual de la temperatura registrada en diferentes áreas de Patagonia. Son varios los factores geográficos, como topografía e índice de continentalidad, que hacen de la Patagonia una región climatológicamente atípica (Coronato, 1992). Coronato y Bisigato (1998) sugirieron que esta división en la temperatura regional es producida por una combinación de factores asociados con la orografía y la circulación atmosférica. Sin embargo, en 1999, Cogliati y Mazzeo explican que al estar situada entre el flanco sur del cinturón Subtropical de Altas Presiones y las bajas presiones subpolares en el Círculo Antártico, y siendo sistemas de presión con pequeñas variaciones estacionales y espaciales y de intensidad, proveen el mejor criterio para la delimitación de la Patagonia como una región climática uniforme. Rusticucci y Vargas (2002) presentaron evidencias de que la temperatura en la Patagonia Argentina disminuye durante la ocurrencia de eventos El Niño debido a la persistencia de masas de aire frío sobre la región. Unos años después, Garreaud (2009) pudo relacionar el Índice Multivariado de El Niño/Oscilación Sur (Multivariate El Niño-Southern Oscillation (ENSO) Index, MEI) y la temperatura durante las cuatro estaciones del año.

El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) es el fenómeno dominante de la variabilidad acoplada océano-atmósfera en la escala interanual de diferentes regiones del mundo (Trenberth y Stepaniak, 2001). El fenómeno ENOS es 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 cual presenta manifestaciones principalmente en las regiones costeras del océano Pacífico tropical, con una duración de meses, una recurrencia irregular y efectos que varían según su intensidad (Gómez Cole, 2010; Araya Ojeda e Isla, 2016). *“Está cada vez más claro que la variabilidad hidrológica puede interpretarse en términos de anomalías climáticas a gran escala, como las asociadas con El Niño/Southern Oscillation (ENSO), y que existen fuertes relaciones entre las anomalías hidrológicas en diferentes partes del mundo”* (Scarpatti et al., 2001). Entonces, gran parte de la

variabilidad interanual a multidecádica de la precipitación en el continente Sudamericano es atribuida a la variabilidad de la cuenca del Pacífico ecuatorial, vinculación que se establece a través del fenómeno ENOS (Compagnucci y Agosta, 2008). El fenómeno de ENOS comienza a estudiarse como tal en los años setenta, cuando se conoce la relación entre el calentamiento superficial del océano Pacífico ecuatorial (El Niño) con las anomalías en las diferencias de presión entre el Pacífico Sur y la región de Indonesia, denominada Oscilación del Sur (OS) (Troccoli, 2010). El ciclo en que se desarrolla expresa y culmina el fenómeno ENOS abarca dos años consecutivos. Generalmente comienza durante la primera parte del año y alcanza su máxima expresión hacia el final del año y comienzos del siguiente, y desaparece sobre la segunda mitad de este año (Ahrens, 2000). Ropelewski y Halpert (1987) documentaron la influencia del ENOS en la variabilidad interanual de la precipitación en Sudamérica (Fernández Long et al., 2011). Mas puntualmente en la Patagonia, autores como Barros y Mattio (1978), Barros y Rodríguez Sero (1979) y Castañeda y González (2008) estudiaron la variabilidad de baja frecuencia de las lluvias y obtuvieron así una tendencia a un aumento progresivo de las lluvias en el norte patagónico y un decrecimiento en el oeste montañoso. Masiokas et al. (2006) y Lauro et al. (2016) postularon que el caudal es el factor representante de todos los procesos que se verifican en una cuenca; y en la región andina –entre los 30° y 37° Sur– 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. En dicha región, para el período 1931-2011 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). Las fases cálidas (El Niño) se asocian a precipitaciones nubes por encima de la media y aumento del escurrimiento durante el período estival, mientras que en las fases frías (La Niña) las precipitaciones y el escurrimiento se comportan inversamente (Lauro et al., 2016). Otros trabajos detallaron el estudio de la variabilidad de la precipitación en escalas interanuales en el centro sur de la Patagonia (Aravena et al., 2008), o en el extremo este del río Negro, ciudad de Viedma (Russian et al., 2010), y aportes significativos sobre esta variabilidad en el sur patagónico (González y Vera, 2010). Se sumaron estudios de la relación entre la variabilidad de las precipitaciones interanuales en la Patagonia Norte y la circulación troposférica, con los cuales los autores detectaron conexiones estadísticamente significativas ($\alpha = 0,05$) con ENOS (Russian et al., 2010) y Compagnucci y Araneo (2005, 2007) plantean que se desconoce aún, en los ríos patagónicos, la relación entre la variabilidad de los caudales y las características de los forzantes climáticos que los determinan. Además, que 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 Temperatura de Superficie del Mar (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, lo que insinúa una escasa o baja relación con ENOS. Debido a que la fase de madurez de los eventos de El Niño normalmente ocurre durante los veranos australes, los fenómenos de ENOS podrían ser parcialmente responsables de las tendencias de calentamiento como de enfriamiento que se denotan más intensas en verano (diciembre a febrero), una característica que contrasta con las tendencias de temperatura en latitudes más altas del hemisferio norte (Villalba et al., 2003). Boninsegna et al. (2009) exponen el impacto a largo plazo de la variabilidad océano-atmósfera, ENOS, sobre el clima de América del Sur. Analiza como en regiones como la Patagonia Argentina fenómenos ambientales, incendios, inundaciones e infestaciones forestales, se relacionan con ese fenómeno. Patagonia Norte presenta correlación con el índice Niño3 y las descargas de primavera y principios de verano, alcanzando valores de r cercanos a 0,60, que explican el 36% de la varianza anual de las descargas. Mientras que la Patagonia central y la Patagonia austral no presentan correspondencia entre el índice de TSM y las descargas en verano (Scarpati et al. 2001)

La circulación del viento de oeste a este y el ascenso de masas de aire húmedo desde el Océano Pacífico provocan precipitaciones más abundantes en la Patagonia occidental que en la oriental (Scarpati et al., 2001). El clima de la zona del Alto Valle presenta un régimen de lluvias invernales mientras que hacia el este las lluvias son escasas y predominan en verano. La precipitación en esta zona noreste de la Patagonia presenta un ciclo anual muy marcado con 2 máximos relativos: uno en mayo y otro en octubre. Las precipitaciones disminuyen sustancialmente en los meses de verano. El río Negro tienen un régimen fluvial pluvio-nival, durante la temporada de octubre a marzo, cuando las precipitaciones son escasas, se alimentan del deshielo. De abril a septiembre se alimentan tanto de las precipitaciones como de las nevadas (Scarpati et al., 2001). La precipitación anual media acumulada en la cuenca del río Negro es de 188,6 mm, el valor medio anual es de 15,7 mm y el desvío estándar es de 4,18 mm para el período de tiempo 1961-2012. (Romero et al., 2014). Con respecto a la evolución de los caudales medios mensuales se observa un máximo en julio y otro en octubre. El caudal medio anual más grande que registra el río Negro es de 900,1 m³/s con un desvío estándar de 451,5 m³/s. El año hidrológico comienza en el mes de marzo y termina en febrero, con un pico máximo medio en julio de 1.377,5 m³/s y otro en octubre de 1.375,26 m³/s (Romero et al., 2014).

El río Negro forma parte la cuenca geológica del Colorado siendo parte de la provincia geológica de la Llanura Chacabonaense que limita al sur con el Macizo Nordpatagónico o Macizo de Somuncurá, al noreste con el Sistema de Ventania y al oeste con la Cuenca Neuquina (Ramos, 1999). Los principales tributarios del río Negro, los ríos Limay y Neuquén nacen en las provincias geológicas de la Cordillera Principal y de la Cordillera Patagónica Septentrional. La cuenca del Colorado es una cuenca extensional orientada E-O asociada a la apertura del océano Atlántico y se extiende costa afuera con importantes espesores sedimentarios atravesados por distintas perforaciones (Fryklund et al., 1996; Lovecchio et al., 2018). La estructura de la cuenca se asocia a sistemas de rift, controlados por fallas normales de rumbo oeste-noroeste, generado antes y durante la apertura del Atlántico Sur y luego desactivados (Ramos, 1999; Lovecchio et al., 2018). Estos sistemas de rift controlan la depositación de la secuencia cretácica (Gelbhard, 2005).

Esta cuenca consiste en llanuras y mesetas desarrolladas sobre una secuencia sedimentaria cenozoica y mesozoica depositadas sobre lo que sería parte del basamento del Sistema de Ventania y Tandilia (Zambrano, 1972; Ramos, 1999; Gerster et al., 2011). Este consta de rocas cristalinas precámbricas y depósitos paleozoicos que corresponden a conglomerados continentales (Ramos et al., 2014). Sobre éstos se depositan en discordancia conglomerados y areniscas rojas cretácicas con intercalaciones marinas, correspondientes a las formaciones Fortín y Colorado (Yrigoyen, 1999), que totalizan espesores mayores a 8000 m (Ramos, 1999). Las transgresiones marinas del Cretácico Tardío llegarían hasta la Cuenca Neuquina (Aguirre-Urreta et al., 2011).

Sobre estas rocas y en discordancia se deposita una secuencia pelítica con evaporitas y levemente calcárea, correspondiente a la Formación Pedro Luro del Cretácico Tardío a Paleoceno, asociada a una ingesión marina (Yrigoyen, 1999). A continuación, se depositan las areniscas de la Formación Elvira del Eoceno a Oligoceno (Lesta et al., 1978) y que consiste en intercalaciones de areniscas glauconíticas intercaladas con niveles finos de pelitas y gravas finas, de ambiente marino. La Formación Barranca Final consiste en areniscas con intercalaciones pelíticas de origen marino (Angulo et al., 1979; Suriano et al., 1999) cuya edad es Mioceno, de acuerdo con los microfósiles (Malumián et al., 1998). Sobre esta sobreyace la Formación Río Negro o Formación Belén (Andreis, 1965; Angulo et al., 1979; Yrigoyen, 1999), compuesta por areniscas finas a medianas intercaladas con pelitas asociadas a depósitos fluviales (y deltaico mar adentro) y que corresponde al Plioceno. Esta unidad aflora en la parte

media del valle del río Negro y conforma el sustrato sobre el que yacen los depósitos aluviales de este río.

Posteriormente se depositan los Rodados Patagónicos, de gran extensión areal en la Patagonia y cuyo origen y edad es discutido entre aluvial, fluvial y glaci-fluvial, pero que en la zona septentrional de Patagonia estaría más asociada a los primeros (Lapido y Pereyra, 1999; Martínez et al., 2009). Estos rodados corresponden a gravas y arenas que apoyan discordantemente sobre la Formación Río Negro (Fidalgo et al., 1999). Durante el Mioceno ocurre el levantamiento de los Andes, ocupando la cuenca del Colorado la parte distal del sistema de antepaís (Folguera, 2015). Los Rodados Patagónicos podrían asociarse a extensos abanicos aluviales asociados a pulsos de levantamiento andino post-miocenos (Lapido y Pereyra, 1999).

Con respecto a la historia cuaternaria, un protorío Negro se habría formado entre el Pleistoceno temprano a medio con la consecuente depositación de sedimentos fluviales y aluviales (Gonzalez Díaz y Malagnino, 1984; Suriano et al., 1999). Se deben separar estos sedimentos que conforman terrazas fluviales y planicies de inundación del río Negro de los Rodados Patagónicos, ya que si bien pueden ser similares esto se debe al retrabajo de los Rodados en sedimentos más nuevos (Lapido y Pereyra, 1999). La zona andina que corresponde a las cabeceras del sistema del río Negro fue afectada por eventos glaciares entre 30 y 14 ka (Rabassa y Clapperton, 1990) dentro del Último Máximo Glaciar. La deglaciación, entre 14 y 13 ka, produjo un importante aporte sedimentario en el sistema del río Negro (Zárate y Blasi, 1993).

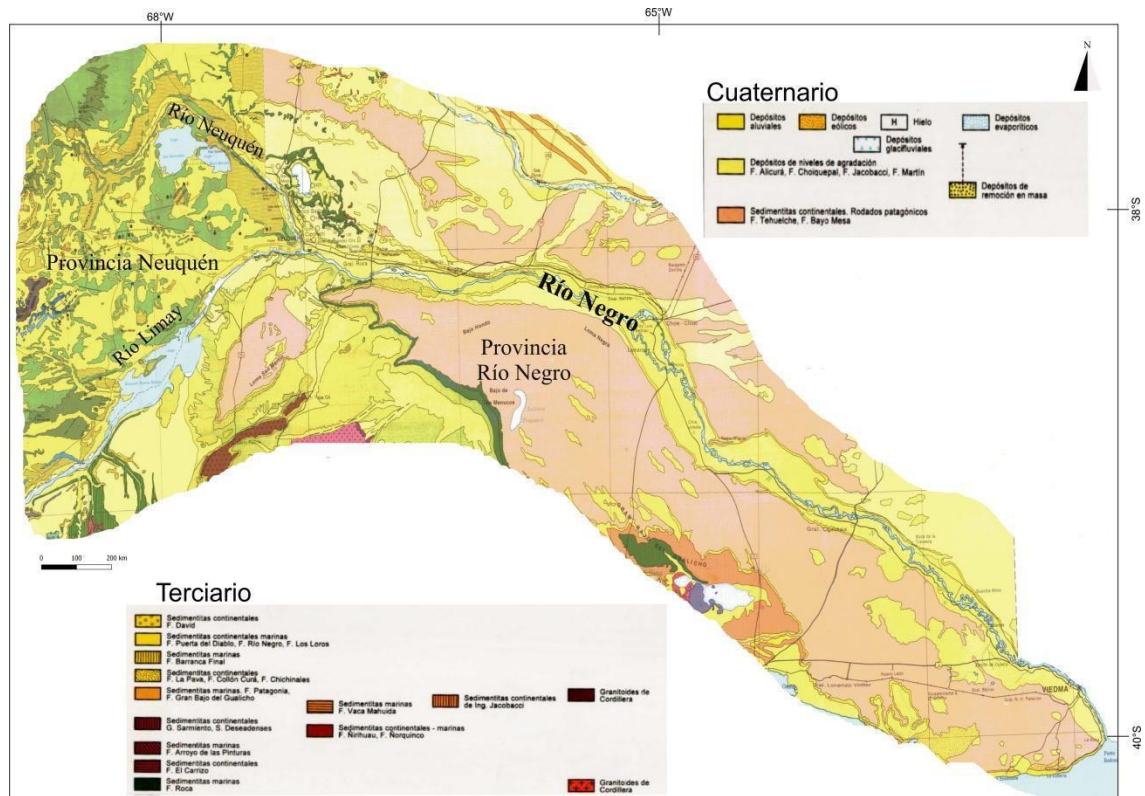


Figura I-4: Mapa geológico del SFRN. Tomado de Mapa Geológico de la Provincia de Río Negro, República Argentina, Secretaría de Minería Dirección Nacional del Servicio Geológico. Ministerio de Economía y Obras y servicios públicos. (Basado en Proserpio et al., 1984).

El régimen de la mayoría de los ríos patagónicos es pluvio-nival en casi todos los casos presentando crecidas anuales que ocurren en primavera, producto de la fusión nival en las altas cuencas, aunque ríos como el Negro tienen también crecidas de otoño-invierno debido a las precipitaciones de esta estación. Sin embargo, las crecidas están reguladas en casi todas las cuencas hídricas patagónicas por el desarrollo de lagos, en algunos casos conectados entre sí, producto del sobre-excavación glacial durante la Última Glaciación Pleistocena, como sistemas de represas antrópicas (Coronato et al., 2017),

Es característico el diseño meandroso de ríos colectores de cuenca, que atraviesan la Patagonia de O a E, un valle amplio respecto al caudal del río actual, condiciones heredadas del paisaje glaciofluvial de baja pendiente por el que fluyen. Luego se desarrollan diseños de cauce anastomosados en los cursos inferiores del río Limay y predominan en los ríos Neuquén y Río Negro. Islas fluviales, barras, meandros abandonados y activos, forman parte del paisaje fluvial actual del río Negro y son las geformas que permiten el desarrollo de vegetación de ribera, mientras que en los fondos de valle aluviales o las mesetas circundantes es la estepa arbustiva la predominante (Coronato et al., 2017).

El río Limay tiene su nacimiento en el lago Nahuel Huapi, de origen glacial, el cual drena una superficie total de 60.671 km² (AIC, 2016) y posee un régimen irregular de tipo fluvio-nival presentando oscilaciones muy dispares según años secos o húmedos. Su hidrograma anual presenta dos picos de crecidas a lo largo del ciclo hidrológico: por precipitaciones invernales de mayor intensidad en el mes de junio, y por la fusión de la nieve en los meses de octubre a noviembre (AIC, 2011). La red de drenaje del Limay es compleja, con 40 lagos de origen glacial, de extensión y profundidad notable (Vich et al. 2014). Presenta evidencias de tendencia decreciente en el caudal anual y en el caudal de verano propiamente. Seoane et al., (2006) destaca que en el periodo de 1997 a 2003 el caudal anual en los principales ríos patagónicos muestra una tendencia negativa no significativa. Sobre el cauce del río Limay, existen cinco represas en cadena, con múltiples objetivos, tales como generación hidroeléctrica, atenuación de crecidas, abastecimiento para consumo humano, riego y producción acuícola (Wiccki y Luchini, 2002).

El río Neuquén se diferencia del Limay por no presentar cuencas lacustres y un régimen de precipitaciones, que acusa una disminución notable y que tiende a ser más estacional (Coronato et al., 2017). En la historia de las crecidas del río Neuquén, por ejemplo, han ocurrido y registrado dos acontecimientos de crecidas importantes en cuanto a volúmenes erogados. Una de ellas está registrada en julio de 1899, donde las aguas sin ningún tipo de control arrasaron con General Roca y llegando al pueblo de Viedma con la misma intensidad y mayor carga. En esa oportunidad no fueron mayores los daños ocasionados debido a la casi total ausencia de pobladores asentados en las riberas (Lang, 1904). La segunda crecida de importancia, y no habiéndose registrado otra de estas características, fue en 2006, donde todas las instituciones involucradas en el control de las aguas y represas se presentaron en alerta continua. Crecida que fue consecuencia de las precipitaciones sobre las cuencas alta y media del río Neuquén que superaron los 200 mm diarios (AIC, 2006).

En la Patagonia Argentina se ha estudiado la fracción lábil de un grupo de oligoelementos metálicos (Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, Cr, Zn y Co en materiales fluviales y eólicos, (Gaiero et al., 2003). Se realizaron reconstrucciones paleo-ambientales a través de rasgos geoquímicos de formaciones en la provincia de Río Negro (Luna et al., 2008) y donde también se desarrollaron trabajos de geoquímica de sedimentos en función de la tectónica (Spalletti et al., 1993, Díaz et al., 2019).

El Sistema Fluvial Río Negro (SFRN) está fuertemente impactado por compuestos derivados de las diferentes industrias que se desarrollan en sus llanuras de inundación y aportes ambientales, como expone Abrameto et al., (2014), que las fuente de las concentraciones de Cu y Cd intercambiables podrían ser los mismos sedimentos del río Negro, mientras que el input para el Pb sería referido a fuentes estacionales y a esto suma que los sedimentos en la última década han sido enriquecidos con metales pesados donde las posibles fuentes serían las depositaciones atmosféricas (Pb), usos de la tierra (Cu) y descargas puntuales provenientes de la industria química, de papel o hidrocarburífera que se desarrolla en la región (Cd). Además, desde el Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de Luján (UNLU) se expone que en la totalidad de los compuestos evaluados derivados de la industria agronómica y del polo petrolero, los valores de los contaminantes superan a aquellos máximos propuestos por entidades como la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación. (Unidad de Gestión de Calidad del Agua, 2012).

En 1980 sobre el río Negro, Depetris realizó un estudio con el propósito de determinar las principales características hidroquímicas del río, evaluando algunos de los mecanismos que controlan la concentración de los principales componentes químicos inorgánicos, donde concluye entre otros puntos que el relieve, el clima y, sobre todo, la geología, propia de la cuenca de drenaje del Negro, determinan las aguas cuyas concentraciones de sales disueltas están estrechamente ligados al contenido relativo de silicatos.

CAPÍTULO II

Materiales y Métodos



La investigación se desarrolló siguiendo la metodología tradicional utilizada en los estudios de Ciencias de la Tierra. Las etapas que se cumplieron fueron: gabinete inicial, campo, laboratorio y gabinete final, donde se recopiló toda la información generada a lo largo del desarrollo de la tesis, para luego pasar a una discusión fundamentada y conclusiones respaldadas en los datos.

2.1. Gabinete inicial

2.1.1 Búsqueda de antecedentes

Sumado a la lectura de bibliografía de base para el estudio, se realizaron entrevistas no dirigidas o no estructuradas. Las personas entrevistadas fueron el Sr. Carlos Merg de la Departamento Provincial de Aguas (DPA) de la Ciudad de Viedma, provincia de Río Negro; el Ingeniero Adrián Henri del Instituto de Desarrollo del Valle Inferior (IDEVI) de la ciudad de Viedma, provincia de Río Negro; el Ingeniero Juan José Serra de Prefectura Naval Argentina de la Ciudad de Carmen de Patagones, provincia de Buenos Aires y el Ingeniero Simón Martínez de INTA del Valle Inferior, Río Negro. Cada representante de estas instituciones que gestiona las aguas del río Negro, proporcionó información introductoria a la institución (fines, obligaciones, dedicaciones particulares) y brindaron información y los recursos que tienen para dar cumplimiento a sus funciones. De esta manera se utilizó esto para plantear campañas de muestreos, definir estaciones para luego establecer mejoras o propuestas post resultados a modo de devolución a estas Instituciones.

2.1.2 Diseños y planificación

Se planteó un reconocimiento del Sistema Fluvial Río Negro utilizando como información de base el Modelo Digital de Elevación digital (MDE) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución de 90 m, descargado del sitio United States Geological Survey (<http://earthexplorer.usgs.gov>). Se conforma una idea inicial de las modificaciones geomorfológicas del río Negro y su desembocadura. Además, se utiliza información de las hojas geológicas (Tabla II-1) del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), con el fin de formar una base en cuanto a formaciones y puntos de interés de muestreo y contraste de resultados.

Tabla II-1: Cartas Geológicas correspondientes a la zona de estudio.
**República Argentina SEGEMAR Instituto de Geología y Recursos
 Minerales (todas presentan la misma escala de 1:250.000)**

Carta Geológica	Ubicación	Escala
39633	Pichi Mahuida	1:250.000
3966-I	Gobernador Duval	
3966-II	Puelches	
3966-III	Villa Regina	
3966-IV	Choele-Choel	
3969-II	Neuquén Sector Rionegrino	
3969-IV	General Roca	
4163-I	Adolfo Alsina	
4166-I	Valcheta	
4166-II	San Antonio Oeste	

Se delimitaron áreas de muestreo de acuerdo con los recursos económicos y temporales necesarios para tal fin. Se determinaron puntos específicos de toma de muestras, rutas de acceso, posibles alternativas a estas rutas, empresas relevadas. Además, se confeccionaron permisos específicos para los ingresos a zonas privadas y restringidas. En base a esta información se diseñaron cuatro campañas. Las dos primeras destinadas a la zona del Valle Inferior y estuario del río Negro, y la tercera y cuarta campaña se proyectaron para cubrir la zona del Valle Superior y Medio del río Negro (Figura II-1). Las zonas relevadas en este estudio se establecieron de acuerdo con los recursos económicos, equipos y transporte que permitieron concluir con la mayor cantidad de datos relevantes posibles. Quedando por fuera del análisis el área de cuenca comprendida entre General Conesa y Viedma.

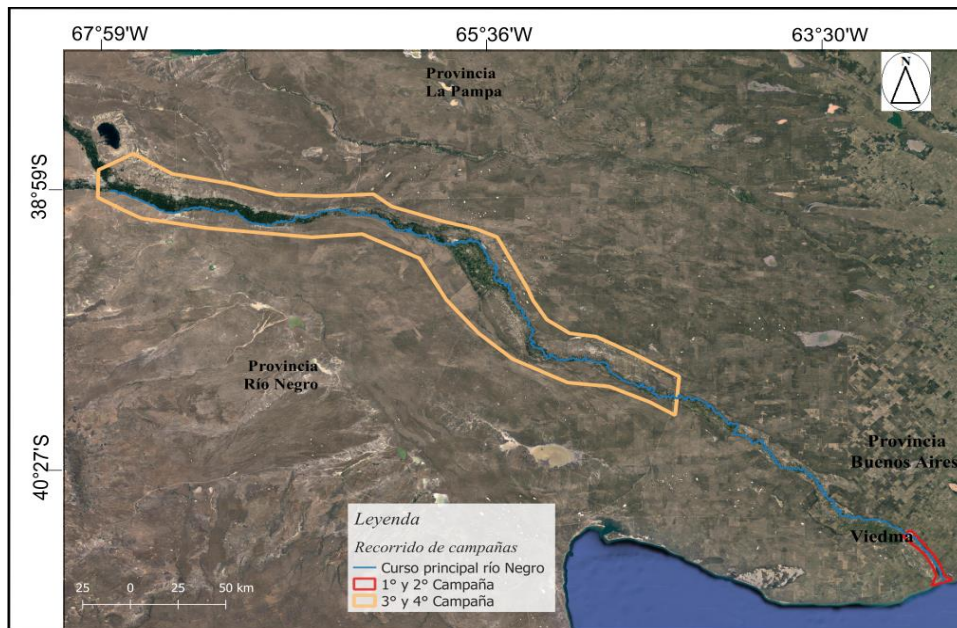


Figura II-1: Imagen de Google Earth Pro donde se señala la ubicación geográfica de los recorridos de las cuatro campañas.

2.1.3 Modelado digital del terreno

Se utilizaron distintos softwares como SIG para el procesamiento de imágenes del SFRN. Para el análisis topográfico regional y de unificación de antecedentes cartográficos se buscó representar superficies y entidades como fronteras y límites de zonas. Luego se analizaron las superficies como fenómenos geográficos que incluyen datos que representan temperaturas, concentraciones, direcciones de flujos, entre otros que se exponen a lo largo del desarrollo de este y el siguiente capítulo.

Estas tareas se ejecutaron con los softwares QGIS 2.18.28, SAGA GIS 2.3.2, Global Mapper 15, CorelDRAW 2018, Google Earth Pro y RSI ENVI 4.1 sobre el MDE del SFRN proporcionado por Open Topography High-Resolution Topography Data and Tools y United States Geological Survey Earth Explorer. Con resoluciones de 90 m y 30 m se produjeron imágenes y mapas específicos de superficies, pendientes, orientaciones, propiedades específicas, flujos, caudales y delimitaciones. Todo esto unido a la bibliografía recopilada en la primera etapa se dio paso a la planificación de campañas de campo y posterior análisis de laboratorio.

2.2. Trabajos de campo

Los diferentes trabajos de campo se organizaron de acuerdo con la posibilidad de muestreos, recursos económicos, equipos y personal. De esta manera se inician el estudio por el valle inferior, más puntualmente el estuario de río Negro, y luego se plantean y llevan a delante los estudios de los valles Alto y Medio. Se realizaron de manera sistémica a las diferentes zonas los diferentes muestreos, siendo algunos característicos o puntuales a una zona en particular. Si bien es importante poder repetir o sistematizar las tecnologías, metodologías y los resultados obtenidos a lo largo de toda la zona de estudio, por impedimentos de accesos restringidos, económicos y temporales, se exponen de manera puntual a cada zona.

2.2.1 Valle Inferior del Río Negro

En la desembocadura del SFRN, se recorrió Viedma y Carmen de Patagones. Como objetivo se planteó el reconocimiento del área de trabajo y la obtención de la mayor cantidad de datos como imágenes, fotos aéreas, relato de habitantes de la zona, entrevistas informales (surgieron como oportunidades del viaje) con los representantes de distintas entidades de control de las aguas del río Negro. Se caminaron las costas y desembocadura del río, en busca de posibles zonas para bajar la embarcación y realizar futuras navegaciones.

A partir de datos obtenidos en esta primera campaña se pudo evaluar la desembocadura del río desde el punto de vista de la evolución histórica de sus lóbulos: Estudio del estuario del río Negro desde 1935 a 2015. Se realizó un estudio preliminar de la zona con la información brindada por los representantes de las distintas instituciones que trabajan sobre la cuenca del río Negro. Las entidades que han aportado información valiosa sobre la el sistema fluvial son: Dirección Provincial de Aguas (DPA), Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), Prefectura de Patagones, Instituto de Desarrollo del Valle Inferior del río Negro (INDEVI - CEMAT), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria del Valle Inferior del río Negro (INTA), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, y la Secretaria de Medio Ambiente, Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP).

Se adquirieron:

- Imágenes de levantamientos del área del estuario de la Subsecretaría de Recursos Hídricos del año 1972 a una escala de 1:20.000 (Figura II.2-a-b)
- Fotografía aérea del año 1957 a escala 1:10.000 proporcionada por el INTA Río Negro. (Figura II.2-c-d)

- De los años 1935, 1936, 1984 y 1986 con escala de 1:30.000 en base a publicación de del Río et al (1991). (Figura II.2-e)
- Aerofotografía del año 1935 a una escala de 1:30.000 proporcionada por INDEVI.
- Imágenes de alta calidad obtenidas del Google Earth Pro de los años 1997, 2004 y 2015 a una escala de 1:30.000.
- Mosaico de imágenes satelitales Landsat del año 2016 obtenidas del USGS Earth Explorer, como base para el análisis de los cambios geomorfológicos en la localización geográfica 41°S - 62°O a una escala de 1:60.000.

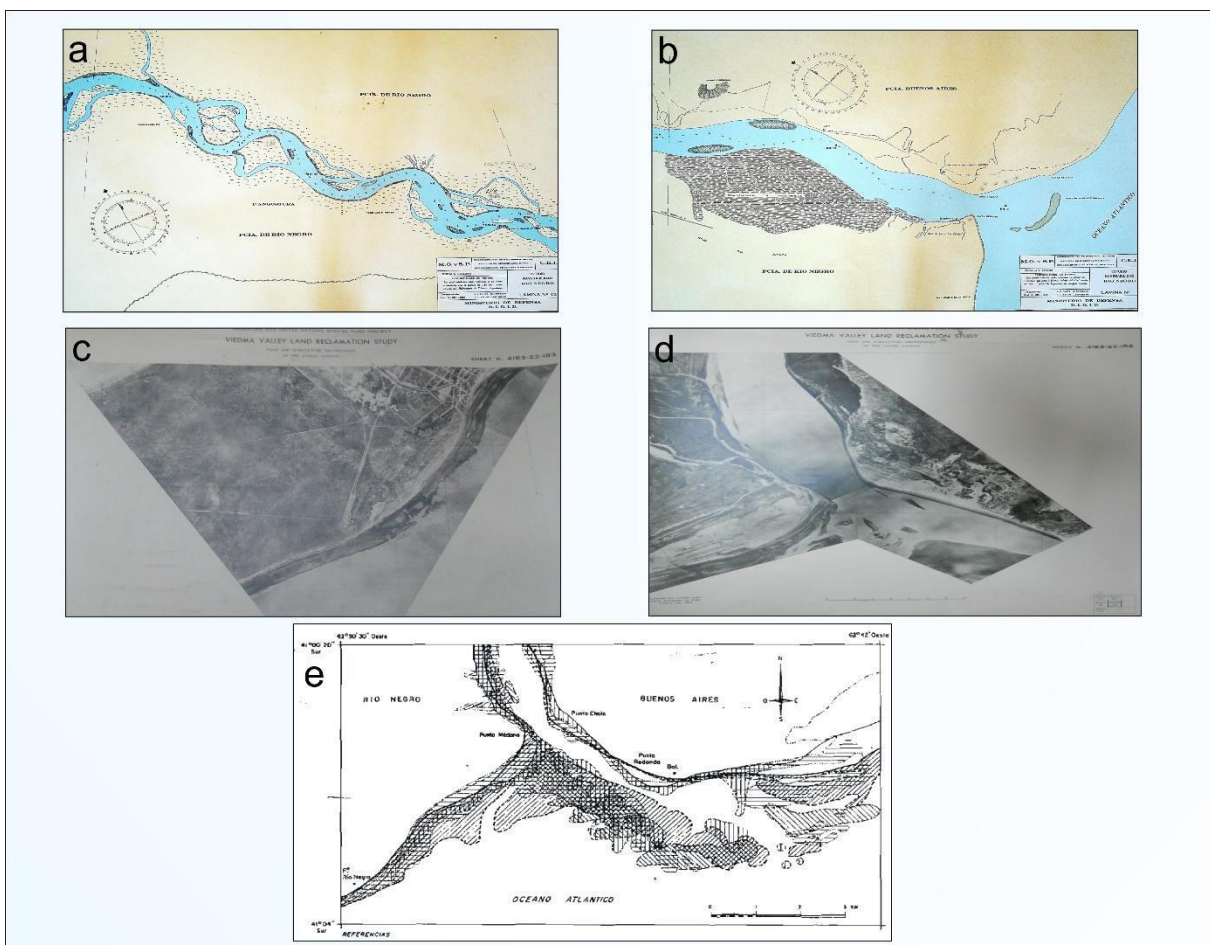


Figura II-2: Ejemplo de mapas e imágenes obtenidas en la primera campaña: **a-**Imágenes de levantamientos del área de Primera Angostura de la Subsecretaría de Recursos Hídricos del año 1972. **b-** Imágenes de levantamientos del área del estuario de la Subsecretaría de Recursos Hídricos del año 1972. **c-** Fotografía aérea del año 1957 a escala 1:10.000 proporcionada por el INTA de la ciudad de Viedma y su costa. **d-** Fotografía aérea del año 1957 a escala 1:10.000 proporcionada por el INTA del estuario del río Negro. **e-** Imagen del estuario del río Negro de del Río et al (1991).

2.2.2 Estuario del río Negro:

Se inició el trabajo de campo con la preparación de mapas de recorrido, especificando los puntos de muestreo (Figura II-3), luego se alistaron los equipos y la embarcación para la toma de datos como se muestra en el diagrama de la figura II-4.



Figura II-3: Esquema metodológico de campaña de campo para la obtención de datos de sedimentos transportados en el estuario del río Negro.

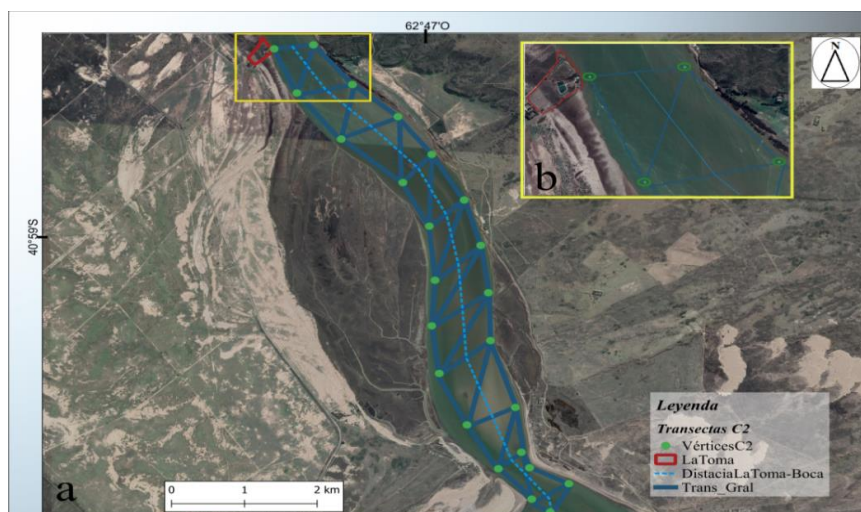


Figura II-4: Imagen de Google Earth Pro-2016 donde se expone. **a.** Recorrido navegado por la IADO IV desde La Toma a la desembocadura. **b.** Visualización de los vértices que demarcan las paradas de muestreo. Puntos de muestreo del 66 al 72 (Tabla II-2)

2.2.2.2 Muestreos de columna de agua

Se recorrió el canal principal del río Negro, desde La Toma ($40^{\circ}57'37''\text{S} / 62^{\circ}49'49''\text{O}$), punto donde se desembarcó, hasta la desembocadura, a la altura del intermedio de los lóbulos La Hoya al noreste y Miguel al suroeste ($41^{\circ}01'30''\text{S} / 32^{\circ}47'41''\text{O}$), se muestreó la columna de agua en cada parada sobre los Vértices C2 observados en la figura II-4.

Los equipos con los que se trabajó fueron: Sonda Multiparamétrica YSI 6000V2 (Figura II-5), DRAGA van Veen y DGPS RTK (Figura II-8). Además de todos los elementos menores que son necesarios para tal empresa: bolsas rotuladas de cierre hermético para sedimentos, barreno para muestras de llanura, GPS manual, cámara fotográfica, sogas para equipos, heladera portátil para conservación de muestras, pizetas, pinzas de Mohr, notebook, baterías, linterna y rotuladores. Con sonda YSI se obtuvieron datos de temperatura, conductividad eléctrica, profundidad y pH, en cuanto a la columna de agua, y con la draga se obtuvieron sedimentos de fondo para el análisis fisicoquímico.

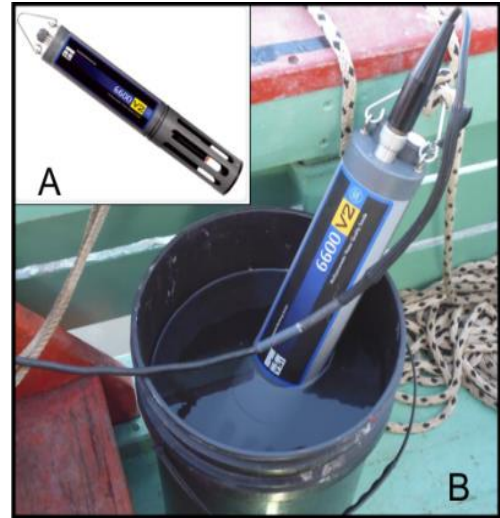


Figura II-5: A. Sonda Multiparamétrica YSI 6000V2. B. Sonda YSI lista para iniciar el monitoreo de calidad del agua.

2.2.3 Alto Valle y Valle Medio del río Negro

En esta etapa se muestrean sedimentos, perfiles estratigráficos, suelos y modificaciones de cursos principal y secundarios del río Negro en el Alto Valle y Valle Medio. Se viajó desde la confluencia de los tributarios Limay y Neuquén ($38^{\circ}59'39''\text{S} / 67^{\circ}59'05''\text{W}$) hasta General Conesa ($40^{\circ}06'11''\text{S} / 64^{\circ}27'29''\text{W}$), buscando relevar la mayor cantidad de superficie posible. Cabe aclarar que, frente a la imposibilidad de navegar en estas campañas, se utilizaron para tal fin equipos manuales de muestreo, como barreno y draga.

A través de herramientas como Google Earth Pro se visualizaron los lugares de posibles accesos y relevantes de muestreo. Se trazaron transectas sobre canal principal que abarcaran zonas con representación de canal fluvial, meandros activos y abandonados, suelos cubiertos y descubiertos y posibles aportes de sedimentos. Sobre cada transecta se definieron los puntos de

muestreo, que una vez en campo, fueron variando de acuerdo con la accesibilidad (Figura II-6).

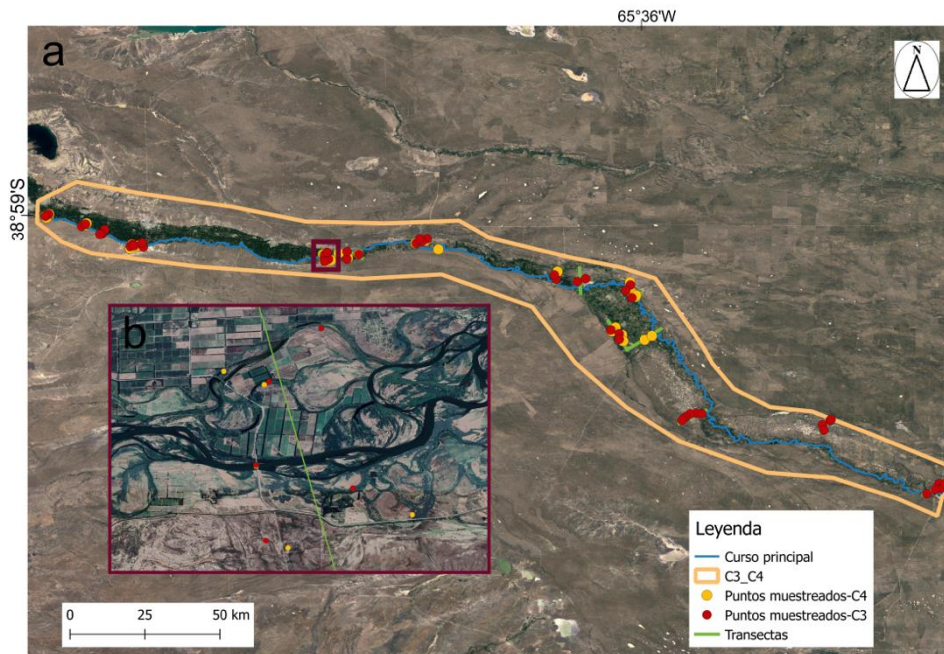


Figura II-6: Imagen de Google Earth Pro-2016 donde se expone: **a.** Imagen de las transectas trazadas para guiar los puntos de muestreo relevados en la 3^{ra} (C3) y 4^{ta} (C4) campañas dirigidas al Alto Valle y Valle Medio del río Negro. **b.** Transecta de Chinchinales, correspondiente al límite entre el Año Valle y Valle Medio, con los correspondientes puntos de muestreo de cauce principal, meandros activos y abandonados, terrazas y cerros que aportan sedimentos. Puntos de Muestreos desde 1 al 65 (Tabla II-2).

2.2.3.1 Muestras de agua.

Las muestras de la columna de agua fueron tomadas manualmente con frascos color caramelo y llevadas a costa para la toma inmediata de datos de pH, temperatura en °C y conductividad del agua con Conductímetro Denver Instrument UP 25 pH/mV/Ion Meter (Figura II-7). Al haberse tomado desde la costa o a una zona donde únicamente se pudo ingresar nadando, o en canoa, las profundidades de muestreo no pudieron ser predeterminadas. Una vez medidos los parámetros las muestras fueron conservadas en heladera a 15 °C.



Figura II-7: Conductímetro Denver Instrument Up-25 pH/mV/Ion Meter siendo calibrado para inicial medición en la tercera campaña.

2.2.3.2 Muestreos de suelos y sedimentos.

Con la Draga Ekman, propiedad de EVARSA Cipolletti, se tomaron muestras de sedimentos de fondo de aquellos lugares que permitían la utilización de esta herramienta. Se utilizaron puentes públicos y privados, rampas, terrazas fluviales e islas. Las muestras fueron colocadas en bolsas de cierre hermético debidamente rotuladas, y conservadas hasta su posterior análisis granulométrico, fisicoquímico y geoquímico (Figura II-8).



Figura II-8: Draga Ekman. Propiedad de EVARSA Cipolletti Río Negro.

Con barreno Eijkelkamp, bolsas de cierre hermético, palas y cinta métrica se obtuvieron muestras de suelos en las llanuras de inundación y meandros abandonados. En las terrazas se hace una descripción geomorfológica y sedimentológica y se tomaron también muestras de sedimentos. Todas las muestras fueron georreferenciadas con GPS Garmin Etrex. De manera continua se acompañó a todos los muestreos con cámara fotográfica (Figura II-9).



Figura II-9: Equipos de muestreos de suelos y sedimentos. **A.** Muestreo con barreno Eijkelkamp y pala en meandro abandonado. **B.** Cinta métrica en pozo de barreno. **C.** Observación y relevamiento de terraza donde se observa barreno Eijkelkamp y piqueta. **D.** Momento de descripción geomorfológica y sedimentológica de terraza.

Tabla II.2: Puntos de muestreo y georeferencias

1	C4M1P0	38°59'38,2"/67°59'13,8"W	37	C4M3P11	39°05'53,0"/66°31'75,5"W
2	C4M1P1	38°59'13,4"/67°58'09,7"W	38	C3M1P0	38°59'39,6"/67°59'05,2"W
3	C4M1P3	38°59'44,8"/67°59'07,5"W	39	C3M1P1	38°59'45,3"/67°59'04,3"W
4	C4M1P4	38°59'44,5"/67°59'04,0"W	40	C3M1P2	38°59'50,6"/67°59'01,3"W
5	C4M1P5	38°59'52,7"/67°59'00,4"W	41	C3M1P3	38°59'45,6"/67°59'05,6"W
6	C4M1P6	38°59'52,2"/67°59'01,1"W	42	C3M2P0	39°01'57,1"/67°50'23,7"W
7	C4M1P7	39°00'00,4"/67°58'53,8"W	43	C3M2P2	39°01'32,7"/67°49'33,8"W
8	C4M1P8	39°01'57,4"/67°50'19,8"W	44	C3M3P0	39°03'33,3"/67°45'24,6"W
9	C4M1P9	39°01'13,3"/67°49'33,1"W	45	C3M4P0	39°06'47,3"/67°37'36,2"W
10	C4M1P10	39°06'17,9"/67°38'32,4"W	46	C3M4P1	39°07'26,8"/67°39'09,4"W
11	C4M1P11	39°07'24,1"/67°39'08,4"W	47	C3M4P2	39°06'33,3"/67°38'29,4"W
12	C4M1P12	39°07'23,2"/67°39'07,5"W	48	C3M4P5	39°06'35,1"/67°36'59,6"W
13	C4M1P13	39°06'54,4"/67°37'15,9"W	49	C3M8P1	39°08'52,3"/66°52'55,6"W
14	C4M1P14	39°06'35,0"/67°37'02,1"W	50	C3M5P4	39°08'29,8"/66°46'41,4"W
15	C4M2P1	39°8'39,97"/66°53'19,3"W	51	C3M5P5	39°08'25,3"/66°46'32,4"W
16	C4M2P2	39°08'48,9"/66°52'54,4"W	52	C3M9P0	39°05'29,8"/66°31'45,7"W
17	C4M2P3	39°09'35,7"/66°53'00,7"W	53	C3M9P1	39°05'12,9"/66°28'30,1"W
18	C4M2P4	39°10'35,6"/66°52'41,9"W	54	C3M9P2	39°05'45,7"/66°29'49,1"W
19	C4M2P5	39°10'08,8"/66°51'24,9"W	55	C3M10P0	39°14'32,8"/65°58'02,6"W
20	C4M2P7	39°09'31,3"/66°47'25,6"W	56	C3M10P1	39°12'57,0"/65°57'24,2"W
21	C4M2P8	39°08'30,1"/66°49'41,4"W	57	C3M6P0	39°08'29,8"/66°46'41,4"W
22	C4M2P9	39°8'36,74"/66°44'55,43"W	58	C3M6P1	39°08'29,8"/66°46'41,4"W
23	C4M2P10	39°07'34,5"/66°25'53,5"W	59	C3M6P2	39°08'29,8"/66°46'41,4"W
24	C4M2P11	39°18'68,6"/65°39'71,5"W	60	C3M6P4	39°08'29,8"/66°46'41,4"W
25	C4M2P12	39°18'34,3"/65°39'29,1"W	61	C3M6P5	39°08'29,8"/66°46'41,4"W
26	C4M2P13	39°17'27,0"/65°40'91,9"W	62	C3M11P0	39°14'32,8"/65°58'02,6"W
27	C4M3P1	39°28'98,0"/65°37'0,29"W	63	C3M11P2	39°14'32,8"/65°58'02,6"W
28	C4M3P2	39°28'92,2"/65°36'26,1"W	64	C3M12P1	39°14'32,8"/65°58'02,6"W
29	C4M3P3	39°25'49,4"/65°43'16,2"W	65	C3M7P0	39°08'29,8"/66°46'41,4"W
30	C4M3P4	39°26'98,9"/65°44'57,4"W	66	H-297	40°59.251'S / 62°48.296'W
31	C4M3P5	39°27'53,5"/65°42'22,7"W	67	I-298	40°58.976'S / 62°47.955'W
32	C4M3P6	39°29'20,3"/65°42'15,3"W	68	J-299	40°59.682'S / 62°48.205'W
33	C4M3P7	39°15'89,6"/65°40'06,2"W	69	K-300	40°59.379'S / 62°48.205'W
34	C4M3P8	39°12'46,3"/65°57'32,0"W	70	L-301	41°00.115'S / 62°48.215'W
35	C4M3P9	39°05'20,5"/66°28'55,1"W	71	N-303	41°00.546'S / 62°48.168'W
36	C4M3P10	39°05'24,9"/66°29'07,6"W	72	O-304	41°00.254'S / 62°47.674'W

2.3 Análisis de Laboratorio

2.3.1 Análisis granulométrico

Se caracterizaron de los sedimentos de fondo y márgenes del cauce principal, meandros activos y abandonados y llanura de inundación del Alto Valle y Valle Medio del río Negro. Se definen granulométricamente los sedimentos que están siendo transportados al momento del muestreo. De igual manera se ven aquellos que fueron transportados y depositados por diferentes comportamientos del curso del río.

Las muestras fueron ingresadas en el Laboratorio de Fitoquímica de IANIGLA CCT Mendoza donde se procesaron para la obtención de datos de Textura y VS.

Volumen de Sedimentación (VS) y Textura:

- Volumen de Sedimentación: es el volumen que ocupa 100 g de tierra seca cuando está sumergido en agua. Se utiliza con el fin de dar una idea de las características de la fase sólida y las relaciones cuantitativas entre las fases.

- Textura: proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo.

Metodología para obtener en laboratorio VS y Textura: Volumetría del Sedimento. El VS está relacionado con la clase textural del suelo (Nijensohn, 1971) y con la capacidad hídrica en equilibrio con una succión matriz vinculada con el nivel mínimo de agua disponible (Nijensohn et al., 1970; Jacobi et al., 1980).

2.3.2 Conductividad eléctrica y pH

Se completó el análisis en el Laboratorio de Fitoquímica de IANIGLA CCT Mendoza con los datos de pH y conductividad eléctrica. Cada uno de estos datos se sumó a un conjunto que permitió predecir determinados comportamientos de ese suelo, la proveniencia o destino en caso de ser movilizados por transporte fluvial.

En el campo, a cada muestra de sedimento de fondo se le tomó una muestra de la columna de agua y se midieron los parámetros de pH, conductividad y temperatura (ver apartado 2.2.3.1). Luego las muestras fueron ingresadas en el Laboratorio de Fitoquímica de IANIGLA CCT Mendoza donde se procesaron para la obtención de datos de pH, y conductividad eléctrica de los sedimentos. A todas las muestras en este mismo laboratorio se le realizó una preparación física de tamizado y separación de sub-muestras que se utilizaron luego en un análisis de química elemental en el Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido y Microanálisis (MEByM) del IANIGLA CONICET Mendoza.

Para la obtención de estos datos sobre los sedimentos se aplicaron las siguientes técnicas de laboratorio: se preparó una pasta saturada de cada una de las muestras y del extracto obtenido se tomaron los datos de conductividad eléctrica con el conductímetro Sension PH3 Hach y el peachímetro Sension5 Hach (Figura II-10) método obtenido de Allison et al. (1954). Estos datos se contrastaron con aquellos tomados en campo buscando detallar las diferentes condiciones de análisis.

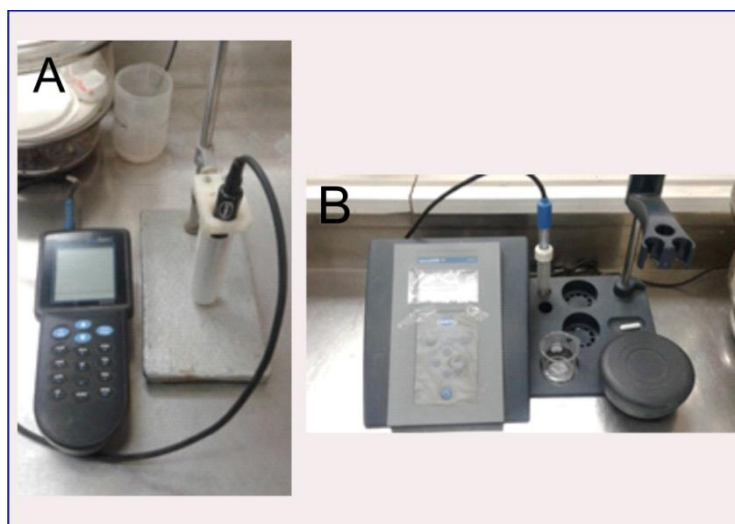


Figura II-10: A. Peachímetro Sension 5 Hach. B. Conductímetro Sension PH3 Hach. Equipos del Laboratorio de Físicoquímica del IANIGLA CCT Mendoza.

2.3.3 Análisis Geoquímico

Lacassie et al. (2009) estudiaron la geoquímica de sedimentos del sistema fluvial del río Huasco, Chile, con el fin de evaluar los impactos antrópicos y naturales sobre el sistema fluvial, de la misma manera que en Mora et al. (2013), estudian los elementos mayoritarios, minoritarios y traza en muestras de sedimentos fluviales en Venezuela, con el fin de reconocer sus recorridos en el sistema y posibles impactos. Astudillo (2015), en Chile, presenta algunos de los principales resultados obtenidos de la Geoquímica de Sedimentos de la Hoja Pisagua, donde pudieron definir valores de línea de base para estudios medioambientales, como también identificar zonas prospectivas caracterizadas por anomalías geoquímicas multi-elemento.

La composición elemental de los sedimentos a lo largo de la cuenca del río Negro fueron analizados en MEBYm, laboratorio que pertenece al IANIGLA CCT Mendoza. Este análisis se basa en que un delgado haz de electrones acelerados por una diferencia de potencial, establecida en el rango de 5 a 50 kV, es enfocado sobre la superficie de una muestra (el diámetro de esta sonda electrónica puede ser reducido hasta aproximadamente 10 nm). La gran profundidad de campo y alta resolución espacial de este equipo permite, a partir de imágenes electrónicas, obtener información sobre el tamaño de partículas (Wt%), granos y fases presentes; suministran datos sobre la composición química en volúmenes del orden del micrón cúbico (Vigna, 1996).

Procedimiento:

- ✓ Montaje de muestras: se montaron los sedimentos en platinas de aluminio (Specimen Mount, $\phi 12.2 \times 10$ mm) (Figura II-11)



Figura II-11: Muestras montadas en Specimen Mount, $\phi 12.2 \times 10$ mm.

- ✓ Metalizado con Carbono en metalizadora DENTON VACUUM, modelo Desk IV (Figura II-12): consiste en recubrir la superficie de una muestra con una delgada capa de carbón procedente de la evaporación de un filamento de ese material. Esto torna conductora su superficie para su observación bajo microscopio electrónico. El espesor del depósito se ajusta en función de la conductividad eléctrica requerida para cada muestra.

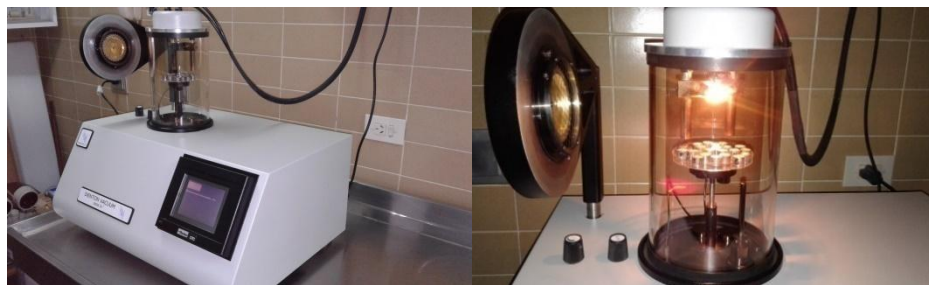


Figura II-12: Metalizado con C en equipo DENTON VACUUM, modelo Desk IV.

- ✓ Microscopía de Barrido JOEL modelo JSM-6490LV (Figura II-13): las muestras de sedimentos ya montadas y metalizadas se cargan en el microscopio de barrido que nos permite obtener imágenes de la superficie del material. En este caso se utilizaron magnificaciones de 50X, 200X y 500X; y voltaje de 25 kV y Método de Corrección Proza (Phi-Rho-Z).
- ✓ Microanálisis por rayos X dispersivo en energía (EDS), THERMO FISHER SCIENTIFIC, modelo NORAN SYSTEM SEVEN (Figura II-13): permitió

observar la presencia simultánea de elementos y su distribución espacial, para cada posición del haz de electrones que barre la muestra.



Figura II-13: Microscopía de Barrido JOEL modelo JSM-6490LV, junto al THERMO FISHER SCIENTIFIC, modelo NORAN SYSTEM SEVEN.

2.4 Tareas de gabinete final

2.4.1 Análisis de datos meteorológicos

Sabiendo que la variabilidad climática puede estar influenciada por fenómenos climáticos “forzantes”, se analizó entonces el fenómeno del Niño – Oscilación del Sur (ENOS) que es el influyente en América del Sur. Se procesaron y analizaron datos meteorológicos de precipitación y temperatura relacionándolos con el fenómeno de ENSO a través del Índice NINO3. El análisis estadístico se realizó desde la base de Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>). Se aplicó un análisis de correlación lineal de Pearson con la reanálisis de ERS.ITERIM. Se utilizó como base de datos del NINO3 del NOAA ERSSTv5. Los años analizados fueron desde 1902 a 2019. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la base de datos del IANIGLA CONICET (http://www.ianigla.mendoza-conicet.gov.ar:680/db_ianigla/) que mide los parámetros climáticos influyentes y luego los pre-analizan poniéndolos a disposición en diferentes informes y boletines. Precipitaciones, temperaturas máximas, mínimas y promedio fueron tomadas de las distintas estaciones. Se convirtieron las series en anomalías de precipitación restando sus ciclos estacionales. Se analizaron en total los datos de 20 estaciones meteorológicas, distribuidas y cubriendo la mayor cantidad de área dentro de la cuenca del río Negro. Estos datos fueron ingresados en el software libre R versión 3.6.2, utilizando los paquetes R Base, Datasets Graphics y Devices and Support,

Formal Methods and Classes, Stats, Utils, Openxlsx y Readxlsx, Kendall, Mannkendall y Biwavelet, procesados y analizados en gráficas que resumen la información y permiten resaltar eventos importantes o cambios relevantes. Como se obtuvieron variaciones sutiles en cuanto a los valores de precipitación entre los diferentes tramos del valle, se continuó el análisis ingresando puntualmente a cada uno de ellos y graficando sus precipitaciones mensuales en el período de 1902-2009 según los años correspondientes con datos a cada estación.

2.4.2 Análisis de caudales históricos

Los datos de caudales históricos (1922-2004) fueron obtenidos del Tomo II de la Estadísticas Hidrológica de la República Argentina (Edición 2004) Sistema de Río Negro provisto por Evarsa, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Recursos Hídricos. (Tabla de Datos de Caudales Históricos y de los Informes Hidrometeorológicos Anuales de la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC). Se analizó la información referida al: SFRN, estaciones de medición: Paso Córdoba con longitud de serie de datos de 60 años y Primera Angostura con longitud de serie de datos de 77 años. Los datos analizados en el software libre R con librería Kendall y Mannjendall, y librería Biwavelet, fueron: Derrame anual (hm^3), Escurrimiento (mm), Caudal máximo medio diario (m^3/s), Caudal mínimo medio diario (m^3/s) y Caudal medio anual (m^3/s); y para cada uno de ellos los máximos, relacionándolos a posibles inundaciones, y los mínimos, relacionándolos a épocas de sequías. Se establecieron tiempos de retorno de los máximos y mínimos en ambas estaciones de medición con propuesta de posibles causas. Se trabajó también con el análisis de los caudales erogados por el río Negro en los años 1970 y 1971 como datos previos a las represas El Chocón y Portezuelo Grande, y luego los años 1972, 1974, 1986, 1997, 2004, 2015, tiempo donde se han ido desarrollando los demás emprendimientos de control de aguas.

2.4.4 Geomorfología: Parámetros morfométricos

El objetivo principal de esta etapa de la tesis fue evaluar los diversos parámetros morfométricos importantes para el plan de gestión de los recursos hídricos dentro de la cuenca. Definir a través de estos el comportamiento de los subsistemas que integran el Sistema Fluvial del Río Negro, basado en cálculos realizados.

En diferentes puntos del mundo se realizaron estudios de índices morfométricos y aplicaron técnicas geomorfológicas y Sistemas de Información Geográfica para obtener información

acerca del comportamiento de sistemas fluviales. En Rumania, Grecu en 2008 investigó cuencas en diferentes ambientes utilizando índices morfométricos para establecer correlaciones entre ellas. Thomas et al. (2012), Magesh, et al. (2013) e Ibrahim Batthis y Ahmed (2013) aplicaron índices morfométricos en India junto con modelos digitales de elevación (DEM) y Sistemas de Información Geográfica para generar cartografía específica a los efectos de comprender el comportamiento fluvial ante las inundaciones (Volonte, 2017); mientras que ya años antes, en 1990, en el País Vasco, Docampo et al., realizaban un análisis morfométrico de las redes fluviales de todo el país. En Argentina, Angelleri en el 2008 estudio el riesgo de inundación en la cuenca de secano del río Colanguil de San Juan. Mesa en el 2006, realiza un análisis morfométrico en Tucumán de la cuenca del río Lules subtropical en los Andes.

Para el SFRN, el río Negro y sus afluentes, río Limay y Neuquén se procesaron en el software SAGA Gis 2.3.2. Se obtuvieron, con la base del MDE SRTM, los parámetros morfométricos del río Negro. Esta información se utilizó para establecer el conjunto de estructuras y procesos que conforman el paisaje del río que a su vez influye en la manera que estos suceden. Se buscó definir las variables internas que operan dentro del Sistema Fluvial y, la relación y dependencia de estas, con las variables externas: clima, tectónica y actividad antrópica. Se confeccionaron mapas de orden de Strahler de los ríos que conforman el sistema fluvial, definición de cuenca, profundidad de valle, curva hipsométrica, red hídrica, longitud de red de drenaje, factor LS, perfiles topográficos, curvas de nivel, perfil longitudinal, pendiente, curvatura e índices hidrológicos: índice de humedad, grado de incisión y poder de la corriente.

CAPÍTULO III

Análisis de factores climáticos e hidrográficos en la cuenca del río Negro.



La cuenca del río Negro posee una gran extensión latitudinal ($38^{\circ} 59'$ - $41^{\circ} 02'$ S) y longitudinal ($67^{\circ} 59'$ - $62^{\circ} 45'$ O). El objetivo de este capítulo es analizar cómo es el régimen de los parámetros climáticos e hidrológicos más significativos, como el caso de la temperatura, precipitación, caudales, escurrimiento y derrames en la cuenca del río Negro. Además, entender la relación de estos parámetros con los forzantes climáticos como el fenómeno ENSO y las presiones antrópicas como la construcción de las represas de control de aguas a partir de 1970 en los afluentes del río Negro: los ríos Limay y Neuquén.

3.1. Factores climáticos y forzantes atmosféricos.

En cuanto a precipitaciones, parte del SFRN se encuentra dentro de la Diagonal Árida con valores que llegan a los 500 mm en promedio anual. Los datos de series de tiempo, seguido por un análisis estadístico de base, se analizan a través de datos de precipitación media para los 12 meses de cada año del período analizado (1908-2009). Los valores fueron obtenidos a partir de la base de datos del IANIGLA-ETM CONICET (http://www.ianigla.mendoza-conicet.gob.ar:680/db_ianugla/). Se analizaron en total los datos de 20 estaciones meteorológicas (Tabla III-1), distribuidas y cubriendo la mayor cantidad de área y tomando la mayor cantidad de datos de manera de cubrir el espacio-tiempo trabajado

Tabla III-1: Estaciones meteorológicas de registro de precipitación y temperatura a lo largo de los tres valles del río Negro. Valores obtenidos de la base de datos meteorológicos del IANIGLA CONICET Mendoza (ianigla.mendoza-conicet.gob.ar:680/db_ianigla/ (2019-2020)).

Valle del Río Negro	Estación	Ubicación	Nro. años	Período temporal
Alto Valle de Río Negro	Cipolletti-I	38.95 S 67.98 O	70	1908 – 1978
	Cipolletti	38.95 S 67.96 O	30	1978 – 2009
	Allen FC	38.98 S 67.83 O	56	1937 – 1993
	Alto Valle I	39.01 S 67.66 O	51	1933 – 1988
	Padre A. Este	39.03 S 67.53 O	79	1914 – 1993
Valle Medio del Río Negro	Chinchinales	39.11 S 66.93 O	84	1908 – 1992
	Chelforo FC	39.08 S 66.51 O	85	1908 – 1993
	Chimpay FC	39.16 S 66.06 O	85	1908 – 1993
	Belisle CNEL	39.18 S 65.98 O	45	1945 – 1990
	Darwin FC	39.2 S 65.76 O	56	1936 – 1992
	Choele Choel	39.28 S 65.65 O	67	1902 – 1969
	Lamarque CT	39.4 S 64.7 O	49	1934 – 1983
	Pomona GOB	39.46 S 65.58 O	29	1937 – 1966
General Conesa	40.1 S 64.41 O	55	1908 – 1963	
Valle Inferior del Río Negro	Primera Angostur	40.43 S 63.66 O	24	1968 – 1992
	Guardia Mitre	40.45 S 63.66 O	55	1925 – 1980

Patagones	40.8 S 62.98 O	84	1883 – 1967
Patagones FC	40.8 S 63.01 O	78	1914 – 1992
Viedma FC	40.81 S 63.01 O	67	1927 – 1994
Viedma Aero	40.85 S 63.01 O	56	1953 – 2009

Para la zona del Alto Valle la precipitación media mensual histórica, tomando el período de 1902 a 2009, es de 11,43 mm con datos tomados desde los 39.95 S a 68.98 O y aproximadamente 536 m.s.n.m. en la estación Cipolletti hasta los 39.03 S a 68.53 O a unos 813 m.s.n.m. tomados en estación de Padre Alejandro Stefenelli (Padre A. Este). Se realizaron los gráficos que se observan en las figuras III-1, 2 y 3. En los meses de enero, febrero y marzo se registraron eventos en los que las precipitaciones superaron los 100 mm de precipitación acumulada dentro del período correspondiente entre 1902 – 2009. Las más relevantes fueron para el mes de enero de 1945 las estaciones Cipolletti, Allen FC, Alto Valle I y Padre Este registraron precipitaciones de 119,6 mm, 107 mm, 160,4 mm y 155 mm respectivamente. Luego para 1970 la estación Allen FC registro 135 mm de precipitación acumulada. En febrero de 1978 Allen marcó 114 mm y en 1990 Cipolletti marcó 129.8 mm. En cuanto al mes de marzo fueron varios los eventos que superaron los 100 mm de precipitación acumulada. En la estación Alto Valle I en 1973 se marcaron 100,9 mm, hacia 1975 las estaciones Cipolletti, Allen FC, Alto Valle I y Padre Este registraron 161,9 mm, 163 mm, 152,6 y 164,5 mm respectivamente. La estación Cipolletti marcó 133,8 mm, Allen FC registró 152 mm, Alto Valle I 158,2 mm y Padre Este 156,5 mm. El último registro de un valor superior a los 100 mm fue en 1988 en la estación Padre Este de 104.9 mm (Fig.III-1). De esta manera se demostró como los meses estivales son los más lluviosos para el Alto Valle del Río Negro. En los meses de abril a junio fueron muchos menos los registros que superaron la media máxima de 55,20 mm. Siendo el mes de abril el más lluvioso de este trimestre, con solo dos registros de 101 y 103 mm en la estación meteorológica de Alto Valle I en los años 1973 y 1981, respectivamente. Luego para mayo, el máximo registro fue de 87,2 mm en 1949 en la estación Alto Valle I y en junio fue de 89 mm en 1954 en Padre Este.

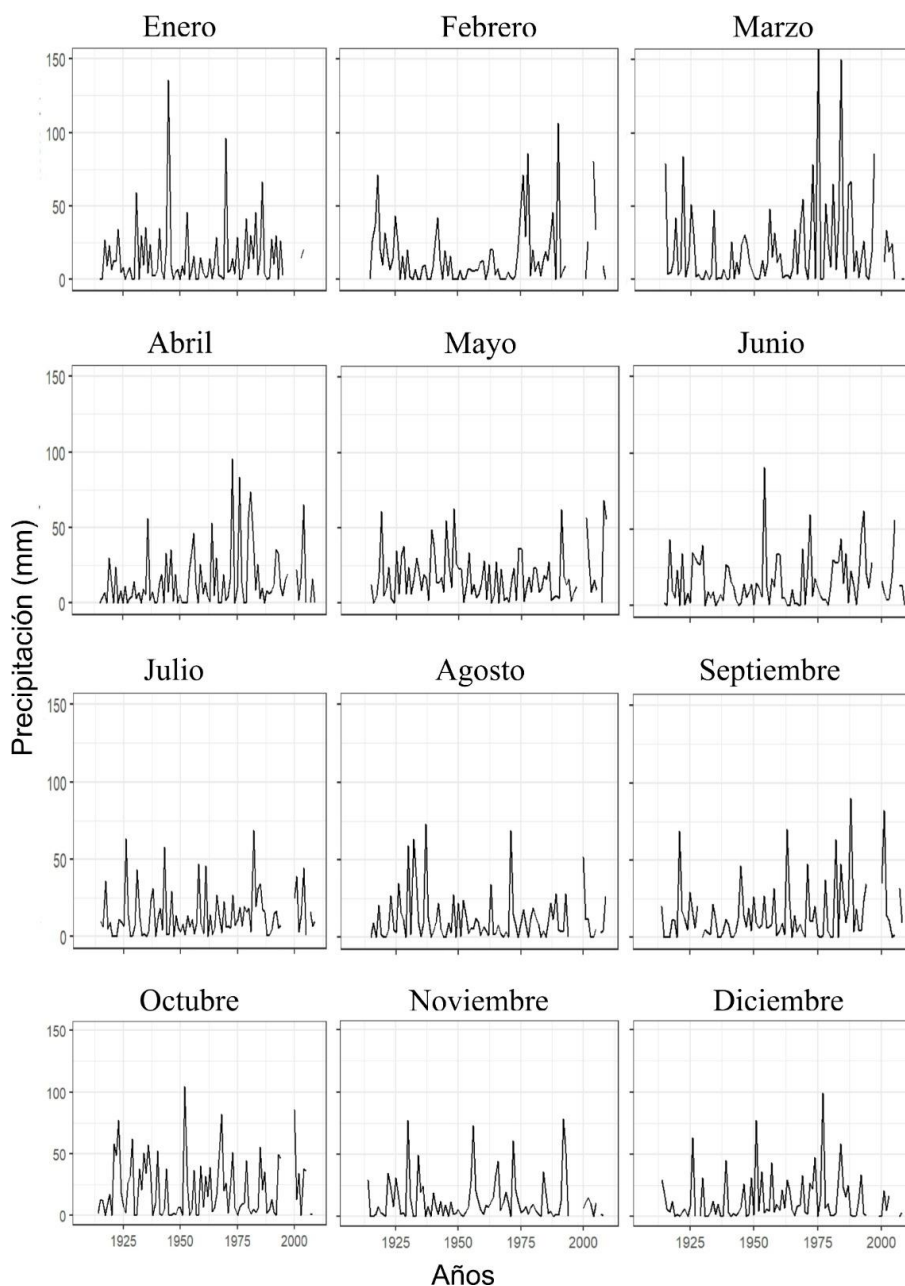


Figura III-1 Precipitación registrada en el Alto Valle de río Negro, para cada mes a lo largo del período 1902 – 2009.

Los valores mínimos de precipitaciones fueron reportados durante los meses de julio y agosto. En el mes de julio solo se registran precipitaciones que fluctúan entre los valores del análisis estadístico descriptivo, y solo se pueden observar precipitaciones mayores en mínimas ocasiones y que no superaron los 60 mm. En el mes de agosto se destacó un gran evento que registró 108 mm en 1971 en la estación Allen FC. Igualmente, el resto de los datos muestran al mes de agosto con el mismo comportamiento del mes de julio. En el mes de septiembre se registraron mayores precipitaciones que en los dos meses anteriores, pero solo dos de ellas

superan el rango descriptivo para estos meses. En septiembre del año 1988 se registraron 119,3 mm en la estación Alto Valle I y 104 mm en la estación Padre Este. Finalmente, para el Alto Valle I el último trimestre, octubre, noviembre y diciembre, tienen un comportamiento similar al trimestre anterior. En el mes de octubre, se registraron cinco picos de precipitaciones mayores a los 100 mm. Se registraron 111,4 mm en el año 1952 en la estación Cipolletti, 116 mm en el mismo año en la estación Allen FC y finalmente en la estación Alto Valle I dos registros en 1952 y 1968 lo superaron con 101 y 111,5 mm respectivamente. En el mes de noviembre no hubo registro que superara los valores descriptos y en el mes de diciembre si bien fueron pocos, marcaron una mínima diferencia haciéndolo más húmedo que su predecesor. Estos fueron en 1977 con 125,6 mm y en 1984 con 95 mm en Alto Valle I y en 1978 con 90,2 mm en Cipolletti.

La precipitación media mensual registrada en el Valle Medio fue de 20,67 mm, para el período de 1908-1993. En este valle los datos fueron tomados desde los 39.11 S a 66.9 W y aproximadamente 608 m.s.n.m. en la estación Chinchinales hasta los 40.1 S a 64.41 W a unos 341 m.s.n.m. tomados en estación de General Conesa (Figura III-2). Siguiendo el mismo patrón de comportamiento que el Alto Valle los primeros meses del año registraron el mayor volumen de precipitaciones. En este valle con casi el doble de estaciones que el Alto Valle, se tomaron en el primer trimestre, 17 mediciones que superaron los 100 mm de precipitación. Estas mediciones varían desde los 105 mm en la estación de Lamarque CT en el año 1934 a los 172 mm en esta misma estación en 1976. El último registró fue de 106 mm en la estación Chelforo FC en 1987. En el segundo trimestre se encontraron 19 mediciones que superaron los 100 mm siendo el 74 % de estas registradas a lo largo del valle en el mes de abril con el registro más alto de 156 mm en 1981 en la estación Belisle CNEL. En el mes de agosto de 1971 en las estaciones de Chimpay FC y Belisle CNEL se registraron valores de 110 y 130 mm respectivamente. En lo referente al resto de éste tercer trimestre los registros no superaron los valores medios. Finalmente, en el último trimestre se observan dos años (1967 – 1968) que mostraron registros superiores a los 100 mm y concentrados en los meses de octubre y noviembre. En el año 1968, el mes de octubre fue el más húmedo con precipitaciones registradas entre los 110 mm y los 166 mm, registros medidos a lo largo de varias de las estaciones: Chimpay FC, Belisle CNEL, Choele_Choele, Lamarque CT y General Conesa. En el mes de diciembre se encontraron solo dos registros de los años 50, siendo de 110 mm en el 1953 y de 162,3 mm en 1951 en la estación de Choele-Choele.

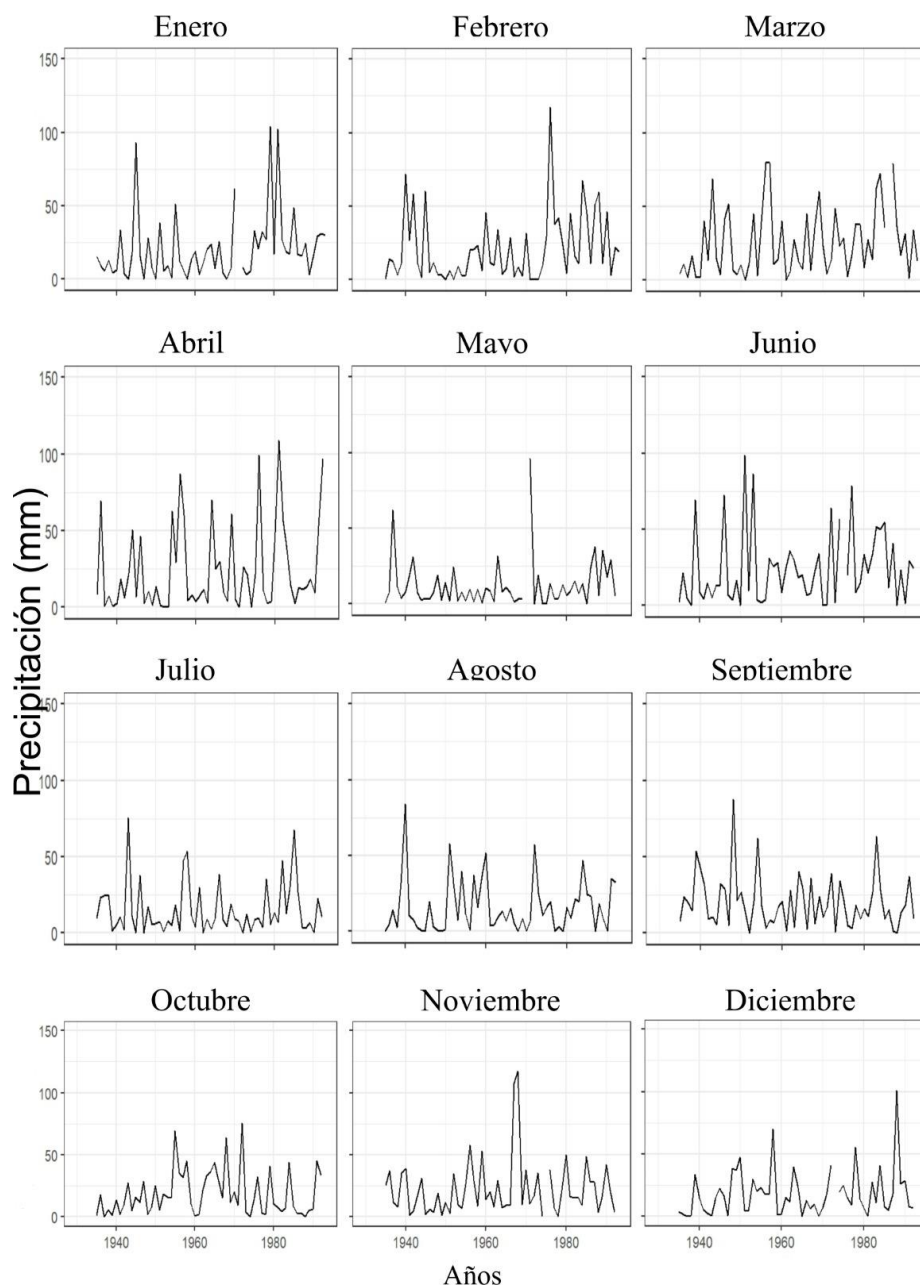


Figura III-2 Precipitaciones registradas a lo largo del Valle Medio, para cada mes a lo largo del período 1908 – 1993.

Por último, la precipitación media mensual registrada en el Valle Inferior fue de 19.70 mm para los periodos de 1914-2009, con datos tomados desde los 40.4 S a 63.6 O y aproximadamente 182 m.s.n.m. en la estación de Primera Angostura y hasta los 40.85 S a 63.01 O a unos 506 m.s.n.m. tomados en la estación de Viedma. Para este valle la máxima precipitación es de 56,30 mm. En la Figura III-3 se destaca como las precipitaciones registradas en los tres trimestres exponen valores mucho más altos que en los valles anteriores. En el primer trimestre los valores “pico” o superiores se registran con aproximadamente 200 mm. Se muestran registros que oscilan desde los 124 mm a los 150 mm en cada una de las estaciones, los años de mayores

volúmenes: 1985 con 215,9 mm en el mes de enero en la estación Viedma; 1945 con 224 mm en el mes de febrero en la misma estación y 1943 con 222 mm en el mes de marzo en la estación Patagones. El segundo trimestre registra al mes de mayo como el más húmedo. En 1954 en la estación Patagones se registraron valores de 157,7 mm y en 1967 en las estaciones Viedma y Patagones los valores fueron de 173,5 y 273 mm respectivamente. Para los meses de abril y junio las máximas se registraron alrededor de los 150 mm y el máximo fue para junio con 168 mm en el año 1997 en la estación Viedma. En el tercer trimestre los valores son inferiores, se registraron como máximos entre los 120 y los 204 mm ambos registros son del mes de septiembre en los años 1948 y 1934, respectivamente. En agosto se observó solo un registro de 133 mm en el año 1971 y para el mes de julio los registros máximos fueron desde 122 mm en el año 1946 en la estación de Patagones a 132,5 mm en 1946 en la misma estación. En el último trimestre los registros se observaron aun menores a los medios y máximos registrados, al igual que el Valle Medio y el Alto Valle este trimestre es el que se puede considerar el más “seco” en cuanto a precipitaciones. En el mes de octubre se registraron máximas desde 108 mm en 1981 en Patagones a 162,3 mm en 1956 en la misma estación. En el mes de noviembre no se registraron valores que superen los 100 mm de precipitación en ninguna de las estaciones del valle. Para el mes de diciembre fueron dos los registros que superaron este valor: en el año 1968 con 122 mm en la estación Patagones y 144.5 mm en el año 1977 en la misma estación.

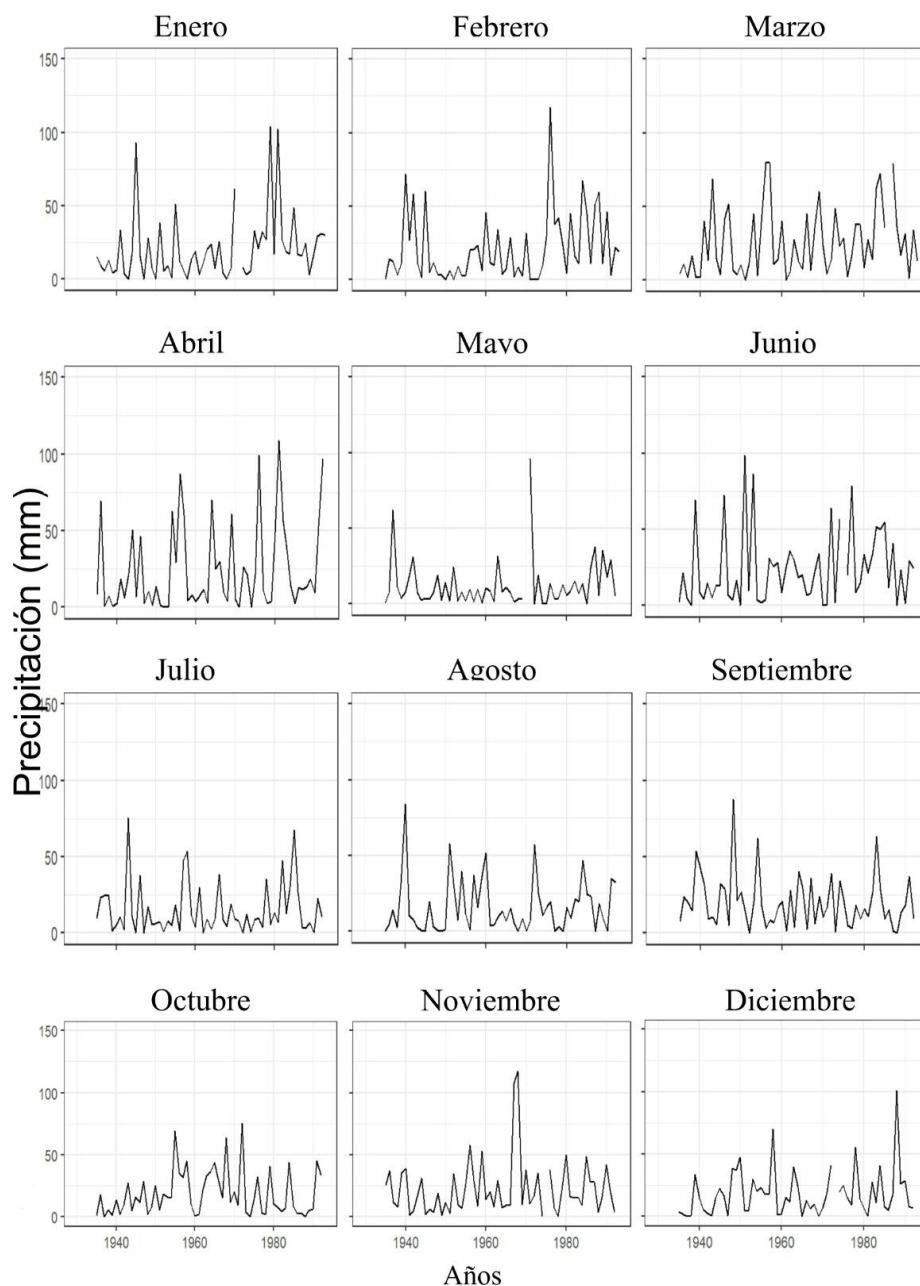


Figura III-3 Precipitaciones registradas en el Valle Inferior del río Negro, para cada mes a lo largo del período 1914–2009.

Los resultados del análisis descriptivo de las precipitaciones en el período de 1902 al 2009 fueron: para el Alto Valle del río Negro los datos arrojados fueron tendientes a cero en la mínima, primer cuartil y mediana. Los valores no presentan grandes variaciones entre los distintos segmentos del valle. Sin embargo, sí se puede destacar que las medias marcan la zona del Valle Medio del río Negro con precipitaciones superiores analizando los períodos acotados en común que presentan las tres zonas.

Tabla III-2: Resumen estadístico base de las precipitaciones acumuladas (mm) en cada uno de las zonas de Valles del río Negro en los períodos correspondientes. Análisis de datos mediante el software libre R.

Valle	Mínima	1st. Qu	Mediana	Media	3er. Qu	Máxima
Alto	0.00	0.00	0.00	11.43	14.05	55.20
Medio	13.00	16.00	19.00	20.67	24.50	30.00
Inferior	2.20	7.92	11.3	19.70	29.02	56.30

En Patagonia Norte, el forzante climático que presenta influencias significativas es el Fenómeno El Niño/Oscilación Sur (ENSO). Este fenómeno presenta una correlación con la variabilidad de la precipitación en los meses de invierno. En el período evaluado, desde 1979 al 2019, a través del procesamiento de datos que brinda *Climate Explorer*, se seleccionó un área conformada entre los 35°S - 45°S y los 80°W - 57°W. En las figuras III-4 y III-5 se muestra la correlación entre los datos de la precipitación media mensual de la red ERA-Iterim y ENSO entre 1979 y 2019. Sólo se muestran las correlaciones estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Los valores de correlación obtenidos muestran una relación directa (Fig. III-4), con valores positivos entre 0 y 1, entre la influencia de ENSO con los períodos de sequía y el de desarrollo de precipitaciones que caracterizan la zona en los meses de invierno, siendo el mes de julio más significativo.

Los colores más intensos marcan el centro de la mayor relación ($0,3 \leq r \leq 0,5$), mientras que en el resto del área los valores de $r = 0$ indican la inexistencia de una correlación lineal. La fracción del mapa con $p < 0,5$ es de 28%, con 4 grados de libertad. Lo que indica que las precipitaciones invernales están relacionadas y varían en correlación positiva con ENSO, por lo que existe un efecto del ENSO, no inmediato, sobre la precipitación para el mes de julio.

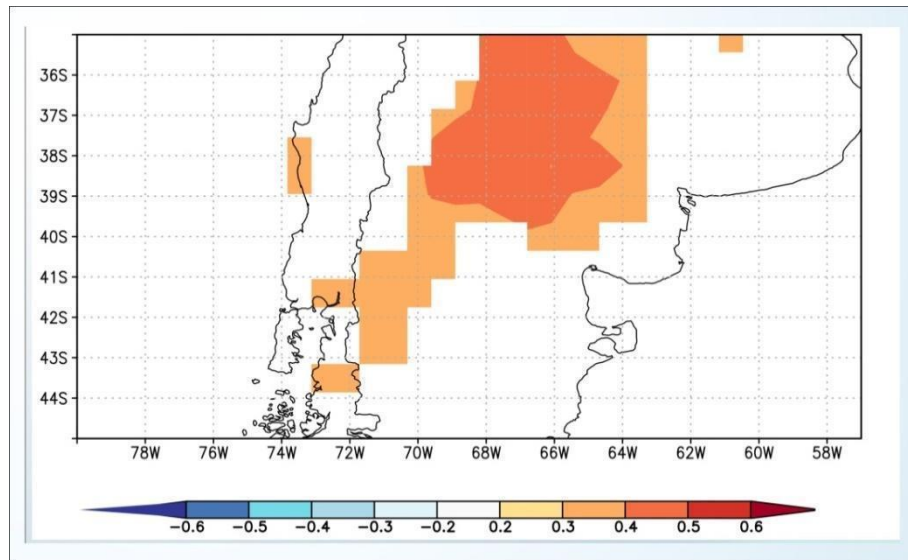


Figura III-4: Correlación entre el efecto ENSO con los parámetros meteorológicos precipitación en el mes de julio, afectado al área comprendida entre los 35° y 45° S y los 80° y 57° W, en el período 1979 a 2019. Datos obtenidos y procesados en KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl)

En la figura III-5 se muestran valores de correlación negativos ($-0,6 \leq r \leq -0,3$) para el mes de octubre en el período estudiado (1979-2019). Este fue el mes que presenta mayor relación con la fase cálida del ENSO. Estadísticamente se observa una conexión significativa ($p < 0,1$). La fracción con $p < 0,5$ es del 28%, con 4 grados de libertad. Indicando que las precipitaciones de primavera se encuentran inversamente relacionadas y varían en dirección opuesta a los efectos de ENSO, justamente porque estas precipitaciones no provienen del Pacífico (Westerlies). La correlación es importante con una franja de valores mayor que los meses invernales, el rango de acción es mayor. En el caso de la primavera del hemisferio sur se alcanza a ver como la influencia del ENSO es inversa a lo largo de la Patagonia Central sumado el efecto directo que se observa hacia el Océano Pacífico, con posibles repercusiones en la inversión del efecto a medida que el fenómeno avanza.

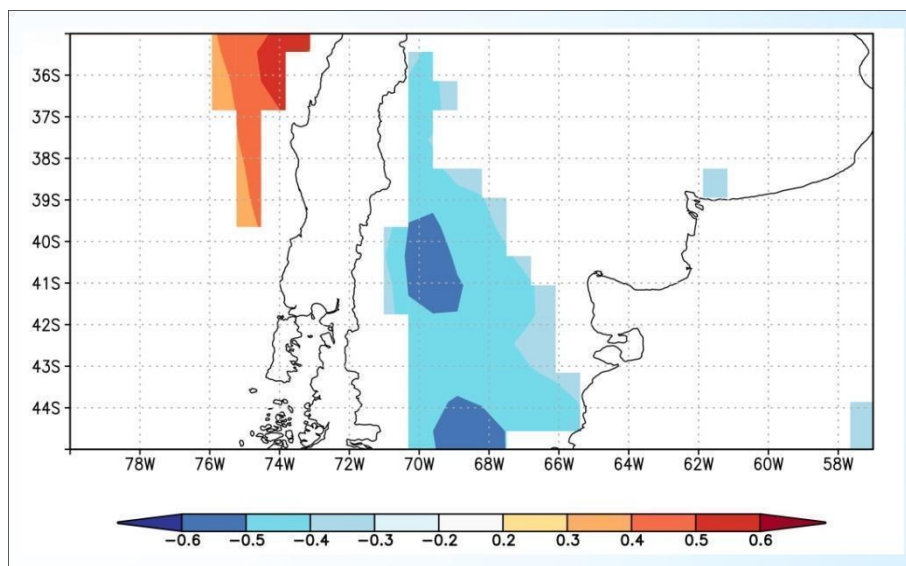


Figura III-5 Correlación entre el efecto ENSO con los parámetros meteorológicos precipitación en el mes de octubre, afectado al área comprendida entre los 35° y 45° S y los 80° y 57° W, en el período 1979 a 2019. Datos obtenidos y procesados en KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl).

Se analizaron los resultados de relación entre la temperatura y precipitación con el forzante climático ENSO a través del índice NINO3. Se observó que el ENSO sobre la temperatura de los tres valles en el período de 1979-2019, presentó influencias en relación directa con las precipitaciones. En la figura III-6 se muestra que los rangos de medias de temperaturas en los meses con mayor influencia del ENSO se mantienen a lo largo del período 1902 al 2010, para el mes de octubre entre los $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$ para julio entre los $6 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Haciendo referencia a las estaciones de medición para los tres segmentos del valle del río Negro, se registraron: en la estación Neuquén Aero en el Alto Valle del río Negro en julio temperaturas medias de $5,87^{\circ}\text{C}$ y en octubre $15,40^{\circ}\text{C}$, en la estación de Cipolletti del mismo valle se registraron $5,88$ y $14,75^{\circ}\text{C}$. Para el Valle Medio las temperaturas medias para esos meses en el periodo analizado fueron registradas en la estación de Choele-Choel con valores de $7,65^{\circ}\text{C}$ en el mes de julio y $15,3^{\circ}\text{C}$ en octubre. En el Valle Inferior los registros fueron de $6,7$ y $14,59^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Se observaron eventos de temperaturas llamadas extremas para estos meses, en junio de $2,9^{\circ}\text{C}$ de mínima y $11,4^{\circ}\text{C}$ de máxima y en el mes de octubre 12°C de mínima y $18,6^{\circ}\text{C}$ de máxima.

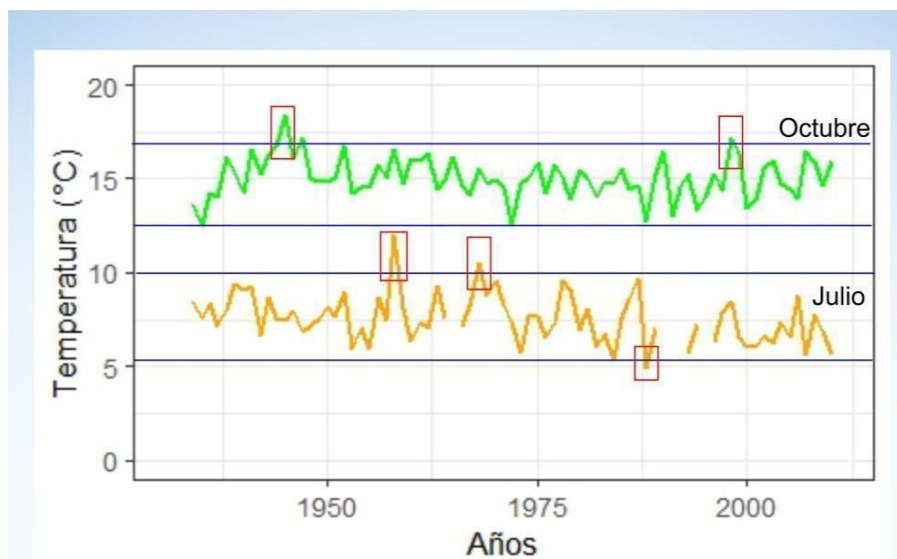


Figura III-6. Temperaturas medias y extremas en los meses de mayor influencia de los efectos de ENSO. Con color azul marcando los límites de las temperaturas medias y color rojo marcando los picos de las temperaturas fuera de rango en los meses de octubre (en verde) y julio (en amarillo) en el período de 1902 a 2010 a lo largo del Valle del río Negro.

3.2. Análisis de variables hidrológicas, afectaciones a factores climáticos e influencias antrópicas.

Los datos de caudal analizados en este capítulo corresponden a los promedios mensuales (m^3/s) provistos por la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (IAC), Secretaría de Operaciones y Fiscalización. El caudal del río Negro depende de las características climáticas de precipitación sólida en la Cordillera de los Andes y precipitación líquida tanto en alta montaña como en llano. Además, desde la década del 70' a la actualidad, se le suma el control antrópico a través de la construcción y funcionamiento de las represas. En los afluentes del río Negro, los ríos Limay y Neuquén, se encuentran las represas de contención, control y producción hidroeléctrica (Tabla III-3). El escurrimiento, el derrame y el caudal que se desarrollan a lo largo del río Negro se encuentran condicionados por factores como: época del año, estación de lluvias o sequías, controles antrópicos por medio de repreas, precipitaciones en llano o también llegada directa en valles por escorrentía.

Tabla III-3: Descripción de las represas que controlan las aguas de los ríos del Sistema Fluvial del río Negro. Información provista por el Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP)

Represas www.orsep.gob.ar/presa.php						
	Portezuelo Grande	Central Planicie Banderita	Compensadora El Chañar	El Chocón	Compensadora Arroyito	
Puesta en Operación	1972	1977	1979	1972	1983	
Complejo	Cerros Colorados	Cerros Colorados	Cerros Colorados	El Chocón	Arroyito	
Operador	DukeEnergy S.A.	DukeEnergy S.A.	DukeEnergy S.A.	Hidroeléctrica el Chocón S.A.	Hidroeléctrica el Chocón S.A.	
Provincia	Neuquén	Neuquén	Neuquén	Neuquén y Río Negro	Neuquén y Río Negro	
Población	Añelo	San Patricio del Chañar	San Patricio del Chañar	Villa el Chocón Neuquén	Senillosa (Neuquén)	
Río Cuenca	Neuquén	Neuquén	Neuquén	Limay y Negro	Limay y Negro	
Tipo de Presa	Materiales sueltos, homogénea y hormigón para vertedero	Materiales sueltos, zonificada	Materiales sueltos, zonificada. Con pantalla de hormigón.	Materiales sueltos, zonificada	Materiales sueltos, homogénea	
Capacidad de Vertedero	11.500 m ³ /s	n/a	3.500 m ³ /s	8.000 m ³ /s	3.750 m ³ /s	

En la figura III-7 se observa como a través de los años la tendencia del caudal en el río Negro es negativa, presentando una continua disminución en su valor. A lo largo de la historia analizada para esta serie de caudales se observaron a través del análisis de base estadístico: máximas de 1550 m³/s, una media de 972,5 m³/s y mínimas de 456,5 m³/s para Paso Córdoba y 1346 m³/s de caudal máximo, 849,1 m³/s como media y 334,9 m³/s de mínima para la estación Primera Angostura. El comportamiento en los distintos valles se denota diferente frente a la disminución del caudal entre el Alto Valle y los Valles Medio e Inferior. Por lo que frente a

estos resultados los valles inferiores se unificaron en el análisis. A su vez, en el caso del Alto Valle, hay un vacío de datos que abarca las décadas del 70 y del 80. Además, el comportamiento observado en los datos permitió subdividir el análisis en tres períodos de tiempo, desde la década del 20 hasta la del 40, luego de la década del 40 a la década del 70 y por último desde la década del 70 al año 2004. En el primer período se observó que el caudal fluctuaba entre máximos de 1300 m³/s a mínimos de 700 m³/s, encontrando un pico de 1500 m³/s en el año 1930 en el valle superior y de 1300 m³/s para los inferiores. Con estos valores se advirtió que la diferencia de caudal entre los valles es baja, lo que se traduce en pocas pérdidas, o también asignado al escaso uso de este recurso para esos años. En el siguiente período se observó como esta diferencia entre valles iba aumentando, pero de manera muy paulatina y mediante valores mínimos de 100 a 200 m³/s, igualmente en este período se distinguieron los picos de máximas y mínimas, mostrando diferencias mayores superando los 350-400 m³/s. Por la falta de datos en el Alto Valle, las décadas del 70 y 80 no se logran analizar en profundidad en la figura III-7. Sin embargo, se observa a través de los valores del caudal de los valles inferiores que existe una continua disminución del caudal proveniente del Alto Valle, demarcando el aumento de los usos del recurso, ya sea en controles del caudal e industrias de distintas índoles. Se destaca en el último período analizado, cómo los máximos se encuentran muy por debajo de los primeros dos periodos, siendo estos anteriores a la puesta en actividad de las represas (ver tabla III- 3). Los mínimos erogados por los valles inferiores se encuentran por debajo de los 400 m³/s, siendo 334,9 m³/s el valor mínimo registrado.

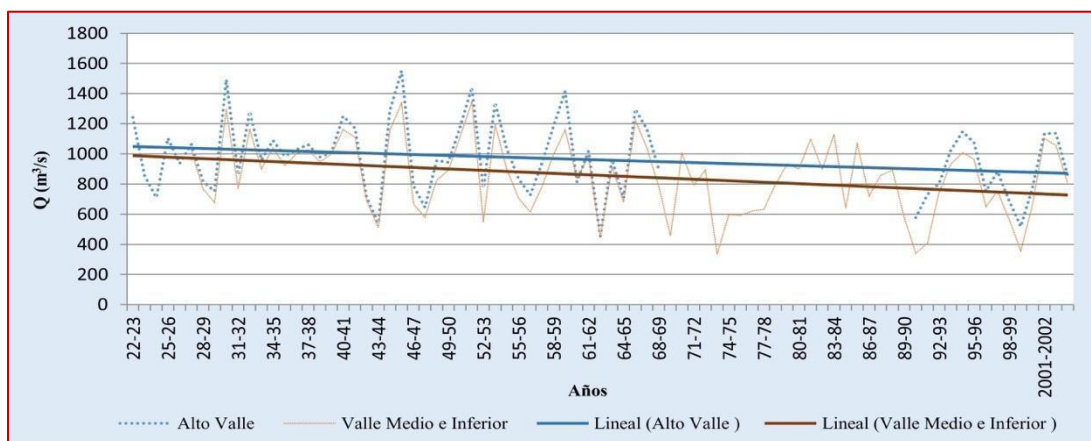


Figura III-7 Caudales medios (m³/s) del Alto Valle (azul) y Medio e Inferior (naranja) del río Negro en el período comprendido entre 1922 y 2004. Datos provistos por la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas, Secretaría de Operaciones y fiscalización.

Para ahondar más en cada uno de los valles estudiados se analizó en la figura III-8 el comportamiento del caudal, escurrimientos y derrames en el período comprendido entre los años 1922 y 2004. Claramente los tres gráficos arrojaron el mismo comportamiento, demostrando una clara interdependencia entre los tres parámetros. En el caso del Alto Valle se detallan los tres, con una marcada declinación hacia las últimas décadas ya demostrada con el caudal en la figura III-7, y retomada en esta figura a través de la línea de tendencia en color rojo. En la estación Paso Córdoba, en el Alto Valle, en el departamento de General Roca, donde se toman los datos de los parámetros caudal específico, derrame anual y escurrimiento. Se demuestra la clara disminución de medias con la aparición del control a través las represas en los 70' y a medida que nos acercamos a los últimos años de medición. Los datos de caudal registran picos máximos superiores a los 14 l/s/km^2 , condiciéndose estos con picos máximos en derrame anual y escurrimiento. Luego de la construcción de las represas se registraron picos moderados y temporales que no superan los 13 l/s/km^2 .

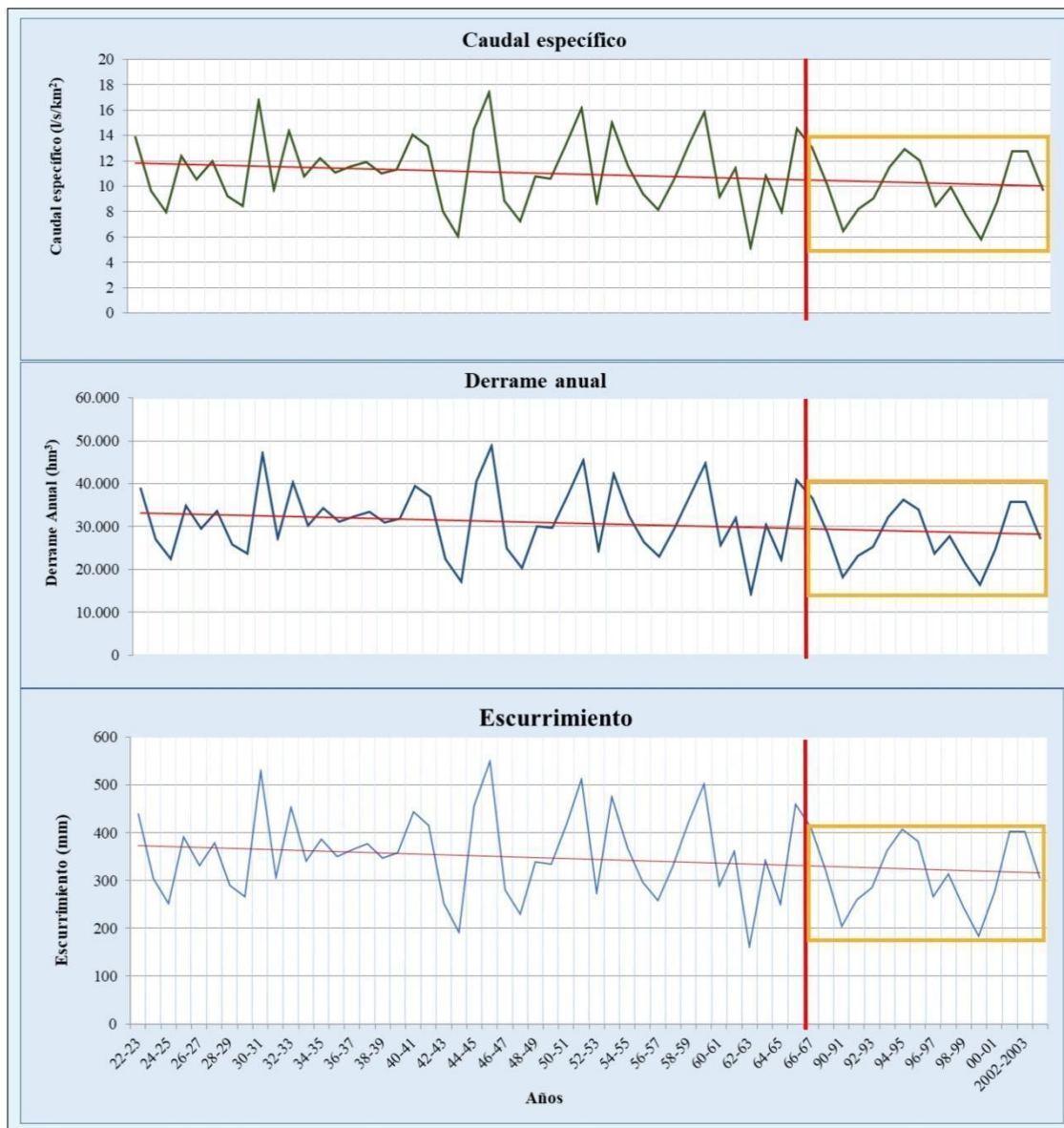


Figura III-8 Caudales específicos, derrame anual y escurrimiento superficial en el Alto Valle del río Negro. Datos tomados en la estación Paso Córdoba y provistos por la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas, Secretaría de Operaciones y fiscalización. En línea roja se marca el inicio de la década del 70 y en recuadro amarillo el comportamiento posterior a 1970 de los tres parámetros.

En la Tabla III-4 se observaron los valores que cada una de estas variables registran a lo largo de los 82 años analizados y además en la figura III-11 se puede ver claramente las tendencias de los caudales máximos medios diarios, mínimos medios diarios y medio anual en m^3/s .

Tabla III-4. Tabla de valores promedios, máximos y mínimos de los parámetros: caudal, derrame y escurrimiento a lo largo del Alto Valle del río Negro con longitud de datos de 82 años (1922-//2004).

	Promedio	Máximos	Mínimos
Derrame Anual (hm ³)	30690	48880	14396
Caudal específico (l/s/km ²)	10,93	17,42	5,13
Escurrecimiento (mm)	344,8	549,2	161,7
Q max-med diario (m ³ /s)	2692	5975	925,1
Q min med diario (m ³ /s)	254,1	528,9	80
Q med anual (m ³ /s)	972,5	1550	456,5

En el Valle Medio y Valle Inferior del río Negro, no solo se tiene en cuenta la influencia antrópica a través de las represas, sino que además las actividades económicas, agronomía, petrolífera, minera, y por supuesto el ordenamiento territorial. Todo lo que se ve reflejado en las disminuciones de los valores de caudales, derrame y escurrimiento en comparación con los datos obtenidos en la estación Paso Córdoba del Alto Valle (Fig. III-8). Se realizó el mismo análisis de los datos en Alto Valle, Valle Medio y Valle Inferior donde, a través de los gráficos se puede visualizar el mismo comportamiento de tendencia de parámetros, siendo más marcada en los valles inferiores. El período analizado para esta fracción del río es desde 1927 al 2004, con los datos de las décadas 70 y 80 completas. Se observó en los datos posteriores a 1972 (recuadro amarillo en la figura III-8), cómo disminuye abruptamente el valor de caudal específico, y de hecho se mantuvo por debajo de la media durante al menos 5 años.

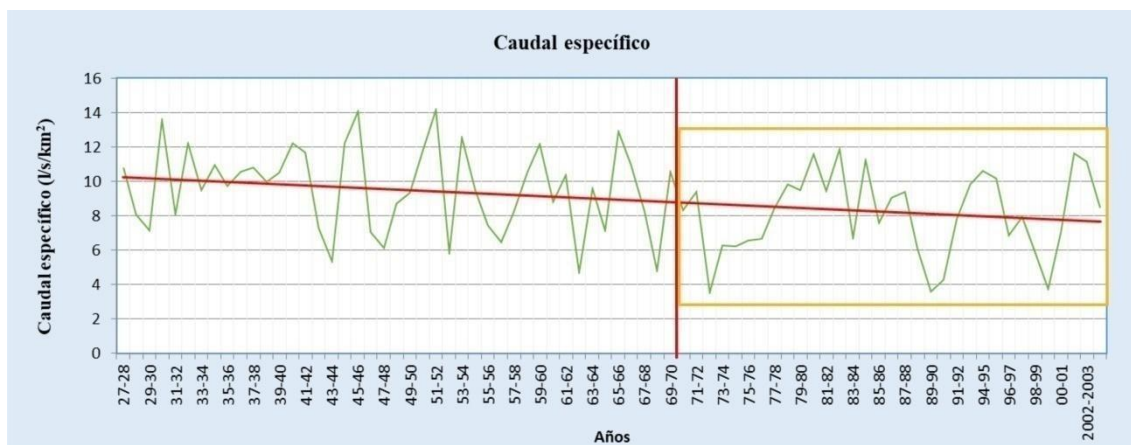


Figura III-9 Caudales específicos de los Valles Medio e Inferior del río Negro. Datos tomados en la estación Primera Angostura y provistos por la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas, Secretaría de Operaciones y fiscalización. En línea roja se marca el inicio de la década del 70 y en recuadro amarillo el comportamiento posterior a 1970 de los tres parámetros.

En la tabla III-5 se resaltan los valores de derrame anual, caudal específico y escurrimiento para la estación Primera Angostura además de los caudales máximos medios diarios, mínimos medios diarios y medios anuales, con la idea de, al igual que en el Alto Valle, poder observar el comportamiento conjunto de estos valores a lo largo de los tres Valles. Entonces, desde el punto de vista de caudales y sistemas influyentes al mismo como el derretimiento níveo y las precipitaciones, encontramos dos sistemas diferentes, uno encuadrado en el Alto Valle del río Negro y el otro conformado por los valles inferiores.

Tabla III-5. Tabla de valores promedio, máximos y mínimos de los parámetros: caudales, derrame y escurrimiento a lo largo de los Valles Medio e Inferior del río Negro con longitud de datos de 77 años (1927-//2004)

	Promedio	Máximos	Mínimos
Derrame Anual (hm³)	26797	42573	10560
Caudal específico (l/s/km²)	8,94	14,17	3,52
Escurrecimiento (mm)	282,1	448,1	111,2
Q max-med diario (m³/s)	1963	3405	497
Q min med diario (m³/s)	251,5	511,6	75
Q med anual (m³/s)	849,1	1346	334,9

En la figura III-10 se observa el comportamiento de los caudales que fluyen en la cuenca del río Negro. Respetando la división temporal para cada valle, el caudal medio anual se comporta de manera similar a lo largo del Alto Valle, con fluctuaciones que se mantienen alrededor de los 1000 m³/s y en dos ocasiones alrededor del año 1931 y en el año 1943 las máximas alcanzaron los 1500 m³/s y con mínimas que no llegaron a ser inferiores a los 500 m³/s. Por otro lado, los datos reflejaron que los valles inferiores tuvieron picos más marcados de máximas y mínimas en reiterados años, con una marcada disminución de la mínima por debajo de esos 500 m³/s, llegando a los 400 o 300 m³/s para los últimos años de análisis.

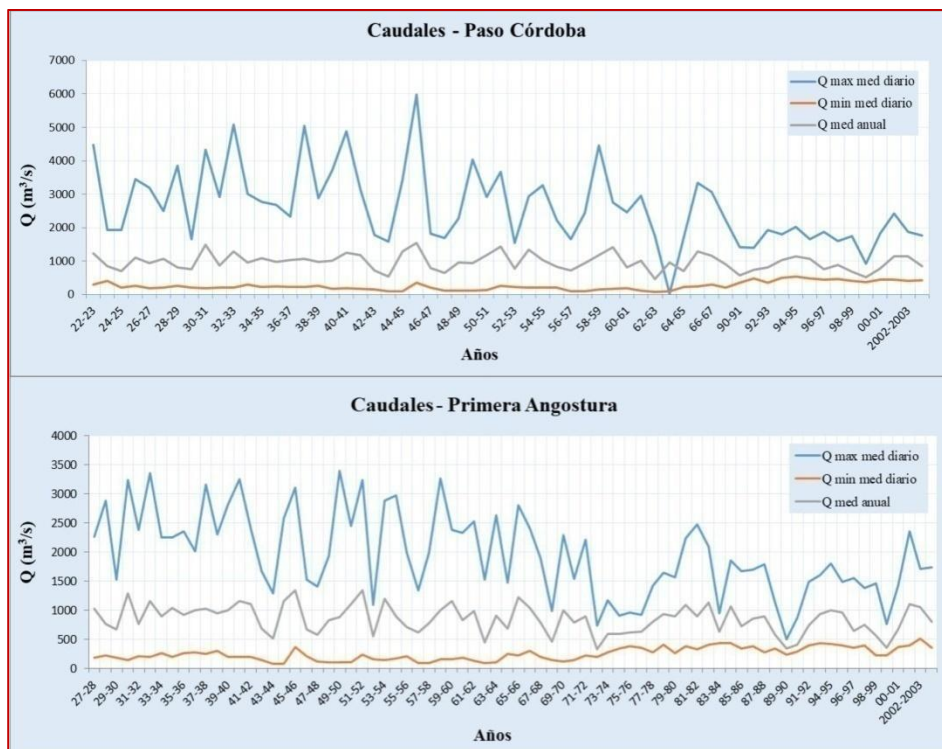
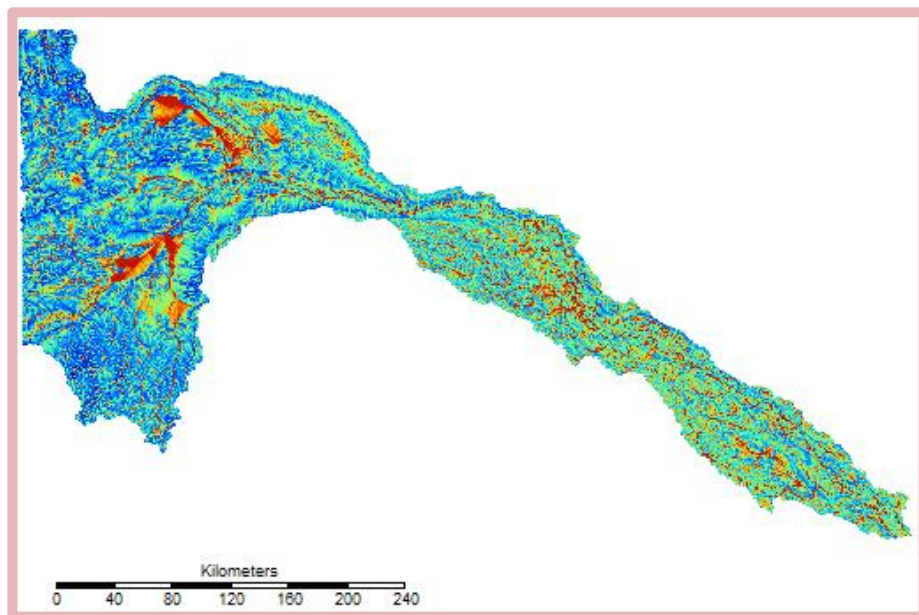


Figura III-10. Comportamiento de caudales máximos medio diario, mínimos medio diario y medio anual en m³/s para el Alto Valle en Paso Córdoba y en Valle Medio e Inferior en Primera Angostura en los períodos 1922-2004 y 1927-2004 respectivamente. Datos obtenidos de AIC.

CAPÍTULO IV

Análisis morfométricos y geomorfológicos del río Negro



El análisis morfométrico del SFRN se llevó adelante con el objetivo de caracterizar la cuenca de drenaje del río Negro (Figura I.3). Para este fin se tuvo en cuenta el área influenciada por los afluentes del río Negro, los ríos Neuquén y Limay, con sus cuencas de drenaje dentro de las provincias de Neuquén y Río Negro en el norte de la Patagonia Argentina.

4.1 Características de forma del SFRN y el río Negro

En el trazado de la red de drenaje del SFRN se han considerado todos los cursos de agua de trazado continuo (régimen fluvial permanente) y aquellos discontinuos (temporales) que, por sus dimensiones, tienen una gran importancia en la morfología.

4.1.1 Área (A) y Perímetro (P): Para el cálculo de estos parámetros se consideró el SFRN con sus tres fracciones hidrográficas principales. El SFRN drena un área aproximada de 60.000 km², teniendo en cuenta los cursos permanentes y temporales, desde las nacientes de los ríos Limay y Neuquén, hasta la desembocadura en el Océano Atlántico del río Negro, dentro de un perímetro de 2.800 km. El río Negro drena el área mayor del sistema, siendo de aproximadamente 26.327 km² en un perímetro de aproximadamente 2.370 km. Dentro de la clasificación de Campos Aranda (1992) tanto el SFRN como el río Negro son considerados como muy grandes (Tabla IV-1).

Tabla IV-1. Clasificación de tamaños de cuencas. Fuente: Campos Aranda 1992.

Rangos de áreas (km ²)	Clasificación
<25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
>5000	Muy grande

4.1.2 Longitud de cuenca (L): este parámetro se corresponde a la longitud máxima del SFRN medida en paralelo a la línea de drenaje principal y es de aproximadamente 1317 km. La

longitud del curso principal del río Negro es de aproximadamente 719 km. El río Limay tiene una longitud de aproximadamente 370 km y el río Neuquén aproximadamente 228 km.

4.1.3 Índice de compacidad de Gravelius (K_c): Indica la circularidad de la cuenca, y se calcula como la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo que tuviera su misma superficie:

$$K_c = P / (2\sqrt{\pi S})$$

Si K_c presenta valores cercanos a 1, la cuenca tiende a ser circular y cuanto mayor sea este valor, más alargada (elíptica) será la forma que toma la cuenca. El valor de K_c para el SFRN es de 3,2 y para el río Negro toma un valor de 4,1 condiciéndose con la característica forma alargada de esta cuenca hidrográfica.

4.1.4 Índice de alargamiento medio de Caquot (C_a): para la cuenca hidrográfica del río Negro se indica la relación entre el recorrido más largo desde la naciente en la confluencia de los ríos Neuquén y Limay a la desembocadura en el océano atlántico con respecto a la longitud del lado de un cuadrado de área equivalente:

$$C_a = L / \sqrt{S}$$

Al igual que el índice K_c , las cuencas más alargadas presentan un coeficiente de Caquot más elevado, siendo $C_a = \sqrt{2}$ una cuenca perfectamente cuadrada. El C_a del SFRN es 5,37. El C_a del río Negro es 4,43.

4.1.5 Índice de forma de Horton (K_f): Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca (adimensional).

$$K_f = A / L^2$$

El valor de K_f para el SFRN es de aproximadamente 0,03 y para el río Negro es de 0,05.

4.1.6 Relación de elongación (Re) (Schumm, 1956): Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y la longitud de la cuenca. Su formulación matemática es la siguiente:

$$Re = \left(\frac{2}{L}\right) * \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}$$

El Re del SFRN es de aproximadamente 0,21 y el Re para el río Negro es de 0,25, tomando valores tendientes a cero marcando una forma alargada.

Tabla IV-2. Resumen de las características de forma del SFRN y del río Negro.

Características de forma	SFRN	Río Negro
Área (km ²)	60.000	26.327
Perímetro (km)	2.800	2.370
Longitud (km)	1.317	719
Kc	3.2	4.1
Ca	5.37	4.43
Kf	0.03	0.05
Re	0.21	0.25

4.2 Jerarquización de cuencas del SFRN

4.2.1 Orden de cursos: es la clasificación de los cursos basada en el número y tipo de cauces de afluentes y es condicionado por la escala de trabajo que permite reconocimiento y mapeo de cursos menores. Es un indicador útil del tamaño del río, la descarga y el drenaje (Strahler, 1957). Como se muestra en la figura IV-2 el ordenamiento de los cursos que conforman el SFRN, el río Negro presenta un orden según la clasificación de Strahler de valor 5, dominando el área de desarrollo de la cuenca de este río. Sus afluentes, los ríos Limay y Neuquén, en sus cursos principales se clasifican con un Orden 4, siendo los cursos de orden inferiores los que dominan el área.

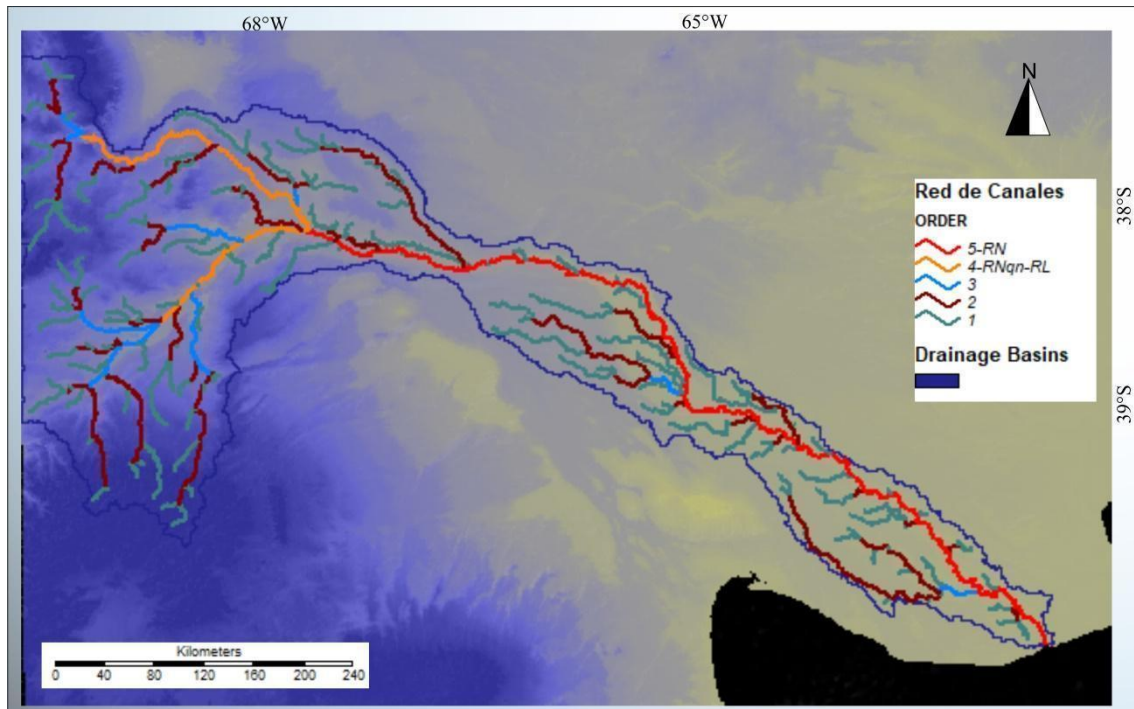


Figura IV-1. Red de drenaje del SFRN con la clasificación según Strahler (1964) del ordenamiento de los cursos que lo conforman.

4.2.2 Relación de bifurcación (R_b): es un parámetro adimensional que expresa la razón del número de corrientes de cualquier orden (u) con respecto al número en el siguiente orden inferior ($u+1$), tomando N_u como el número de cauces de orden u , dando lugar el número total de segmentos de órdenes sucesivos (Horton, 1945). Por lo tanto, se define como:

$$R_b = N_u / (N_{u+1}) \quad (1)$$

A partir de la recta de regresión semilogarítmica entre $\log N_u$ y u se determina R_b , que es el antilogaritmo de la pendiente de dicha recta, se obtiene el valor de la relación de bifurcación representativo del conjunto de la cuenca. Este es un parámetro muy importante que expresa el grado de ramificación de la red de drenaje.

Tabla IV-3. Jerarquización de cuencas del SFRN y del propio SFRN.

Ríos	Negro	Limay	Neuquén
Nro. Orden "u"	5	4	4
N_u (1)	58	47	21
N_u (2)	18	13	11

Nu (3)	2	4	3
Nu (4)	2	1	1
Nu (5)	1	0	0
Rbi (1)	0,00	0,00	0,00
Rbi (2)	3,22	3,62	1,91
Rbi (3)	9,00	3,25	3,67
Rbi (4)	2,00	0,00	0,00
Rbi (5)	0,00	0,00	0,00
Rb	3,87	3,43	2,65
Ld	3088	-	-
S	26328	-	-
Dd	0.1	-	-
Fu	0.003		
Rb_SFRN		3,27	
Ld_SFRN		5818	
S_SFRN		60000	
Dd_SFRN		0,1	
Fu_SFRN		0,003	

Los valores individuales del radio de bifurcación se determinan mediante la relación (1). Estos valores sirven para comparar los diferentes tramos de distintas cuencas pertenecientes al mismo orden. Sin embargo, la comparación global de cuencas debe hacerse mediante un radio de bifurcación representativo de la red de drenaje de cada una de ellas (Rb). El cálculo de Rb puede hacerse mediante la media aritmética o la media geométrica de los Rbi. La media geométrica es menos variable que la aritmética, por lo tanto, el número de cauces de orden u se ajusta a una

progresión geométrica inversa en función del número de orden (Horton, 1945). El valor de R_b , normalmente, toma valores entre 3 y 4 (Hynes, 1970) o entre 3 y 5 (Strahler, 1977), tomando valores altos como indicadores de torrencialidad moderadamente alta, típicos de regiones de relieves fragmentados y los valores bajos como indicadores de regiones llanas (Horton, 1945). El SFRN presenta un valor de R_b de 3,27.

4.2.3 Densidad de drenaje (D_d): esta determina la longitud de drenaje (L_d) por unidad de superficie:

$$D_d = L_d/S$$

La L_d del SFRN es de 5.818 km y la del río Negro es de aproximadamente 3.088 km. Para los parámetros considerados, el valor de D_d para el SFRN es 0,1 km/km². Se califica tanto por la clasificación de Fuentes Junco (2004), como Delgadillo y Páez (2008) como clase de red de drenaje baja. El río Negro presenta un valor de D_d de 0,1 km/km², manteniendo la misma relación de longitud de drenaje por unidad de superficie que el SFRN y por lo tanto la misma clasificación.

4.2.4 Frecuencias de cauces (F_u): se define como el número de cauces por unidad de superficie. Al igual que la densidad de drenaje da una medida de la textura del drenaje y del grado de disección del paisaje (Decampo et al., 1990).

$$F_u = N_u/S$$

El F_u para el SFRN es de 0,003 partiendo de un N_u de 182 canales considerando los de orden de 1 al 5. El río Negro tiene un N_u de 81 y un F_u de 0,003. Al igual que la D_d , la F_u presenta la misma relación entre el SFRN y el río Negro.

4.3 Análisis Hipsométrico

La curtosis de la curva hipsométrica está relacionada con el efecto de la erosión en los sectores de cabecera y desembocadura de la cuenca, siendo para el SFRN de 0,24 y en cuanto al sesgo o asimetría el valor arrojado por la curva hipsométrica fue de 0,81, dato asociado a la erosión en la cabecera del sistema.

El valor de la integral hipsométrica (IH) (Strahler, 1952) se determinó a partir de la ecuación propuesta por Pike y Wilson (1971):

$$IH = \frac{(Z_{med} - Z_{min})}{(Z_{max} - Z_{min})}$$

Donde Z corresponde a la elevación del canal y los valores estadísticos de base media, mínima y máxima. El valor de IH para el SFRN toma el valor de 0,34. De esta manera el SFRN se puede clasificar como sistema fluvial senil inicial (Figura IV-2).

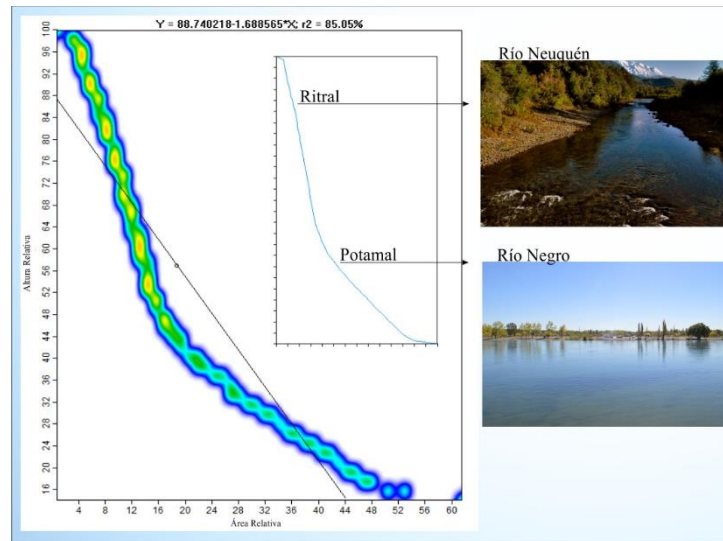


Figura IV-2: Curva Hipsométrica del SFRN. Identificación de zonas de ritrial y potamal en perfil longitudinal del SFRN.

4.4 Análisis del relieve del SFRN y de la cuenca del río Negro

El relieve de una cuenca hidrográfica se define como la diferencia entre los puntos de elevación más altos y más bajos. El relieve total de la cuenca del río Negro se calcula como $R = H - h$ (H= máxima elevación de la cuenca, h= mínima elevación de la cuenca) (Hardley y Schumm, 1961). Para el SFRN, el R toma valores de 1.400 m, definido por predominancia de sus alturas máximas y máximos relieves, demostrando una gran porción del sistema con gran escorrentía, y flujos de gran velocidad. Para el río Negro el R toma valores menores, llegando a los 500 m en la parte más cercana a la confluencia.

$$Rr = R/L$$

El valor de la relación de relieve $Rr = R/L$ (Schumm, 1963), es la relación entre el relieve total de una cuenca y la dimensión más larga de la cuenca paralela a la línea de drenaje principal (Rodrique-Iturbe y Valdés, 1979). El SFRN presenta un Rr de 1,06 y el río Negro un valor de 0,69.

$$Dis = R/H$$

El índice de disección, $Dis = R/H$ (Singh, 1994), es un parámetro que expone el grado de disección o erosión vertical y las etapas de desarrollo del terreno o del paisaje para una cuenca hidrográfica determinada (Singh y Dubey, 1997). En promedio, los valores de Dis varían entre '0' (ausencia total de disección/erosión vertical y, por lo tanto, dominio de la superficie plana) y '1' (en casos excepcionales, acantilados verticales, puede ser en la escarpa vertical de la ladera de una colina o en la orilla del mar). Tanto para el SFRN como para la cuenca del Negro, el valor de Dis toma valores tendientes a 1, siendo un sistema considerado caso excepcional que desagua en el mar, donde h toma valor de 0 y H valores de 500, por lo que $R = H$ y $Dis = 1$.

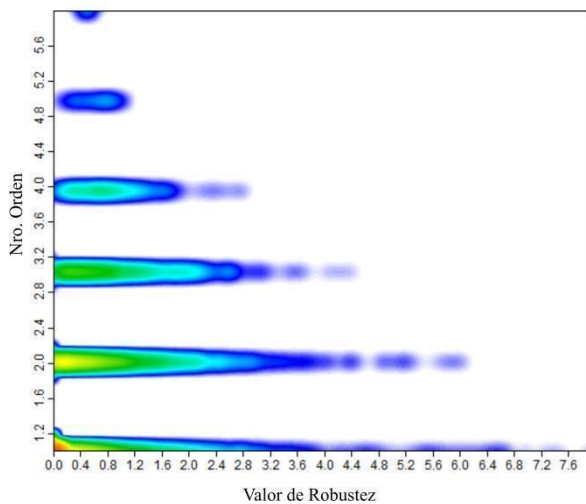


Figura IV-3: Relación del Rn del SFRN con el número de orden de los cursos.

$$Rn = Dd * (R/1000)$$

El valor de la robustez, $Rn = Dd * \left(\frac{R}{1000}\right)$ es el producto del relieve de la cuenca y de la densidad de drenaje y combina útilmente la inclinación de la pendiente con su longitud (Strahler, 1968). Este valor para el SFRN es de 0,14, y para la cuenca del Negro es de 0,05. En la figura IV-3 se puede observar la relación de Rn con el orden de las corrientes para el SFRN y la cuenca del Negro integradas en un mismo gráfico.

Luego se analizó el Número de Rugosidad de Melton (MNR) y el Índice de Rugosidad del terreno (Figura IV-4. A). Para la cuenca del río Negro los valores del MNR van de 0 a 2, siendo mucho mayor el área representada por valores de 0,7 a 0. Lo que indica menor aporte de detritos al flujo principal. Sin embargo, los valores observados de MNR en el SFRN, en las cuencas superiores del sistema fluvial, presentaron grandes extensiones representadas por valores superiores a 1, tendientes a 2. De esta manera se resalta la mayor susceptibilidad al aporte de detritos. Como se ve en la figura IV-4. B el río Negro presenta valores de TRI que indican una mayor superficie a nivel o casi a nivel. Además, se observa niveles mayores de rugosidad en la margen norte del río. En lo referido al SFRN vamos observando niveles mayores de rugosidad llegando a altas rugosidades. El coeficiente de correlación de Pearson muestra una alta

correlación entre el TRI (figura IV-4.C) con la pendiente (figura IV-5.B), demostrando así su relación directa con el relieve.

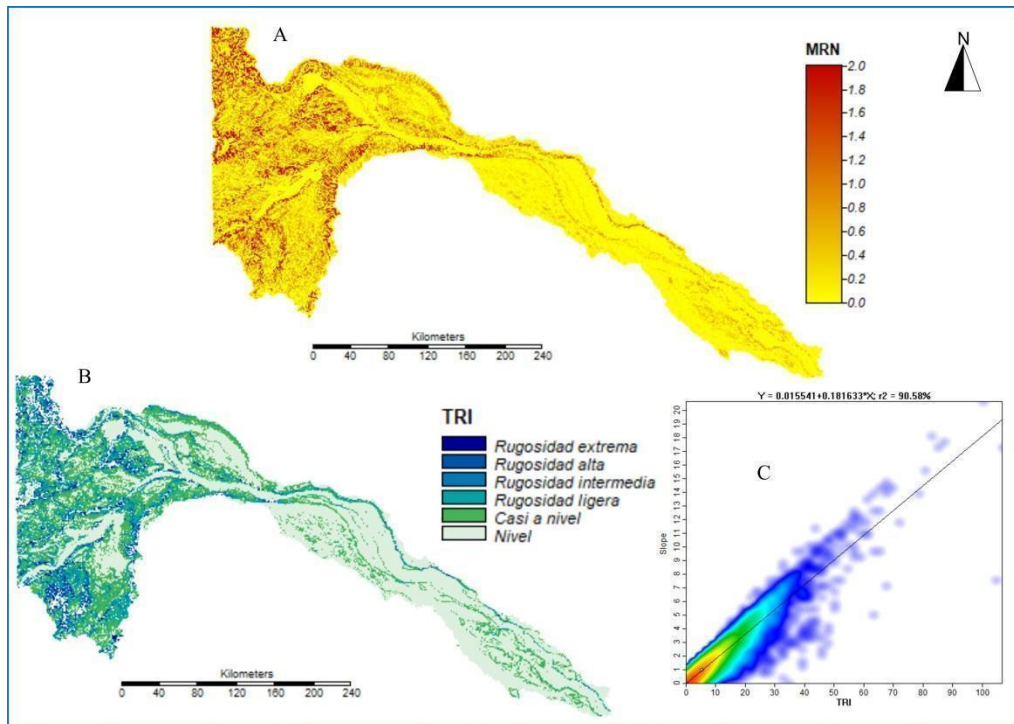


Figura IV-4 A. Número de rugosidad de Melton para el SFRN. B. Índice de rugosidad del terreno para el SFRN. C. Correlación entre el TRI y la pendiente del SFRN.

En la figura IV-5 se presenta el mapa del aspecto y las pendientes del SFRN. El 33% del SFRN está representado por una superficie plana o tendiente a plana. Luego el 25% de la superficie presenta una dirección de cara al norte con una pendiente moderada y el 39% con dirección de cara también al norte, pero con pendientes pronunciadas. En el mapa de aspecto (figura IV-5) se resaltan las caras predominantes con dirección norte, mientras en el mapa de pendientes en amarillo la gran planicie que se desarrolla a lo largo del río Negro con algunas porciones con mayores pendientes de moderadas a escarpadas en zonas de terrazas fluviales.

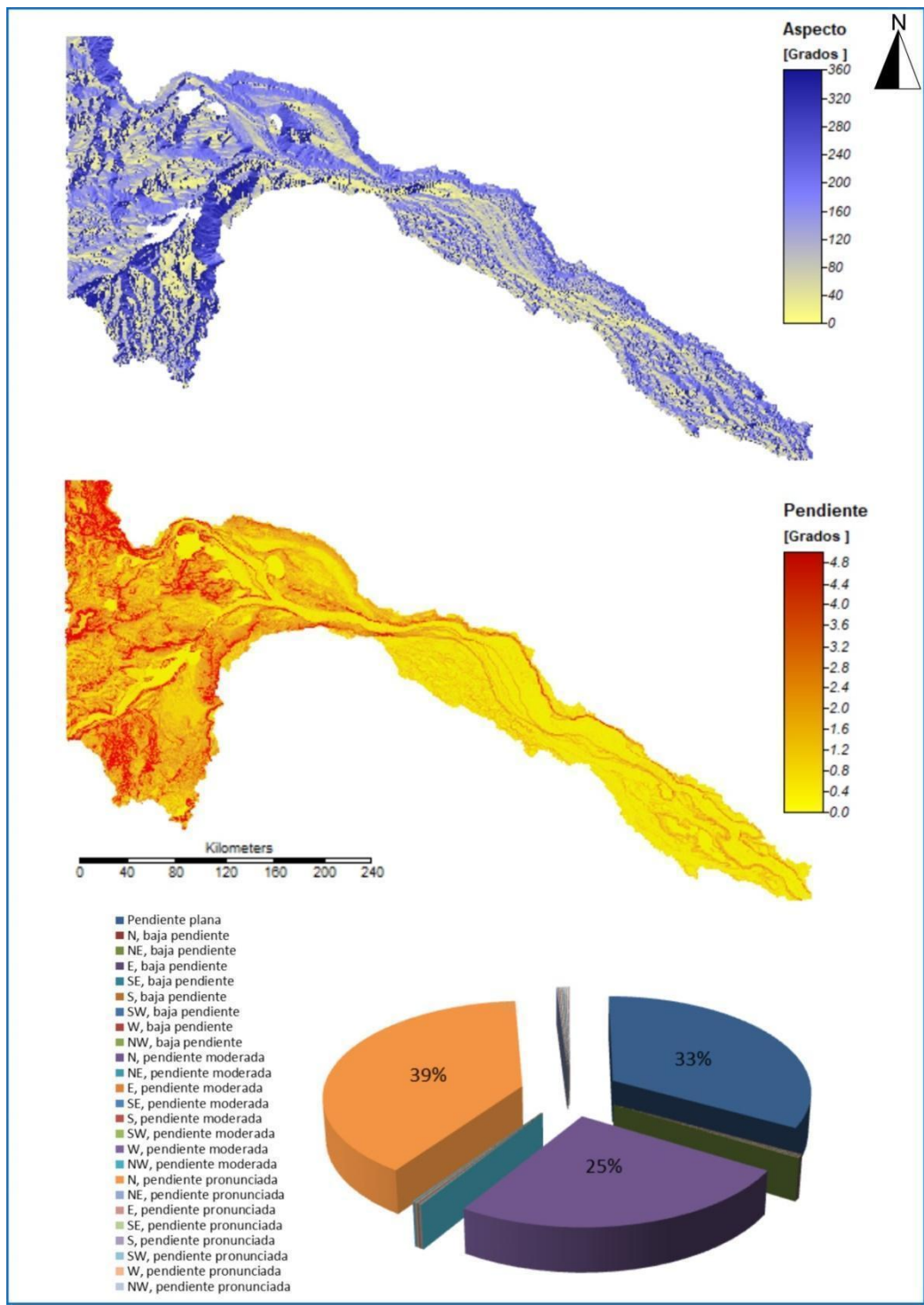


Figura IV-5. Mapas de Aspecto y Pendientes del SFRN. Proporciones de las relaciones del aspecto y las pendientes del SFRN.

El río Negro presenta una gran extensión con pendientes tendientes a cero: planas. Solo en los márgenes y asociado a bordes erosivos de un sistema de meandros y delimitando la planicie de inundación se encuentran pendientes moderadas en los márgenes sur y pendientes más pronunciadas en los márgenes norte del río. El aspecto a lo largo del río respeta el del sistema fluvial al que pertenece y son las pendientes moderadas con cara al norte y pendientes

pronunciadas en menor porcentaje también con cara al norte las que destacan. En ambos márgenes las terrazas fluviales delimitan o van formando pendientes cada vez más pronunciadas e inestables con cara al suroeste y noreste en porcentajes menores al 3% considerando todo el SFRN.

4.5 Análisis de factores externos

Al presentar el estudio a lo largo de los segmentos del Valle del río Negro, donde es amplio el desarrollo de actividades antrópicas relacionadas a la agronomía y las actividades de extracción

de minerales, surgió la necesidad de analizar los factores externos, seleccionando sólo el Índice de Humedad Topográfico (TWI), el Factor Topográfico (LS) y la Exposición a los Vientos (WE)

Los efectos combinados de la longitud de la pendiente (L) y el grado de inclinación de la pendiente (S) son también conocidos como el factor topográfico (LS) y caracterizan el tipo de relieve en que tendrán lugar los procesos de pérdida de suelo debido a la inclinación, longitud, además de proporcionar información sobre la forma de la pendiente. El factor L representa la longitud de la pendiente y está asociado al factor S (inclinación) tiene una gran influencia en la estimación de las pérdidas de suelo (Souza et al., 2003), ya que cuanto mayor es la extensión de la pendiente mayor será la velocidad de

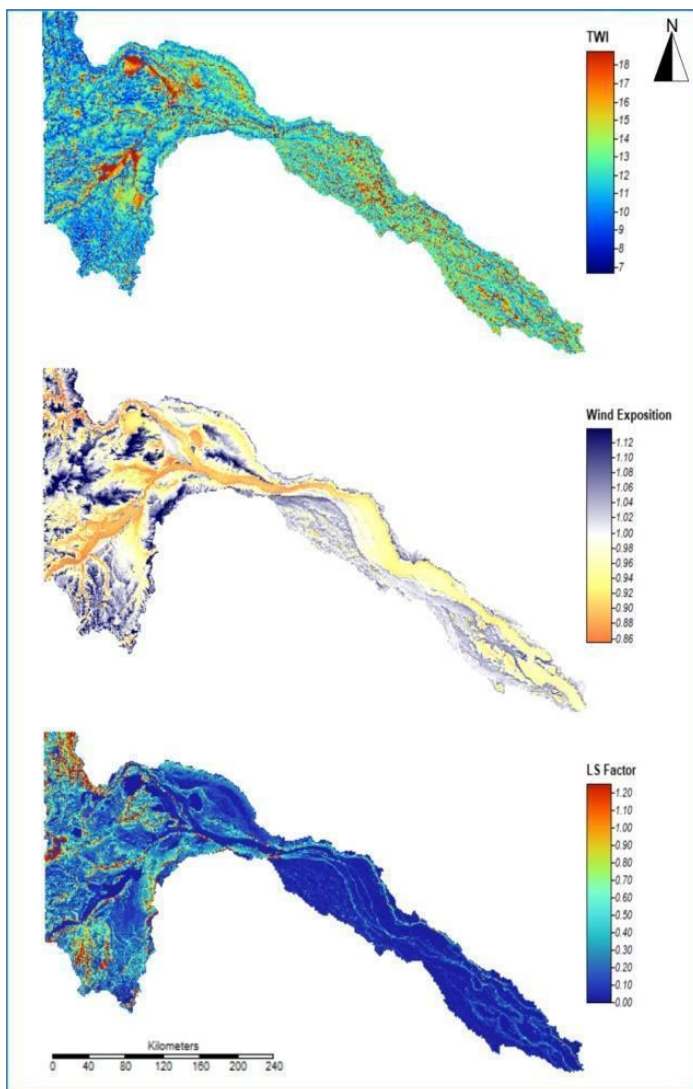


Figura IV-6. Mapas de factor topográfico del SFRN y los efectos de la exposición a los vientos predominantes.

escurrimiento. Los mismos autores sugieren que la comprensión de las formas del paisaje puede

ayudar en la identificación de las rutas preferidas de los flujos de agua y la variabilidad espacial de las propiedades del suelo.

Los factores Índice de Humedad Topográfico (TWI) y de Exposición a los Vientos predominantes (WE), determinan la consolidación del material sedimentario, y la predisposición de este a ser transportado y depositados por los vientos o flujos de agua activos o intermitentes. El índice topográfico de humedad (TWI) identifica los puntos de acumulación de humedad o las zonas de acumulación de agua (Moore et al., 1991). Como se muestra en la figura IV-6 los valores que toman ambos factores están inversamente relacionados.

CAPÍTULO V

Análisis físico y químico elemental en muestras de sedimentos del río Negro.



Con el objetivo de obtener una caracterización del río Negro desde el punto de vista granulométrico y elemental se propuso realizar un análisis de los parámetros de conductividad, pH y textura de sedimentos muestreados a lo largo de los valles Alto y Medio y de estuario, realizando un recorrido de muestreo de costa y fondo. Además, se realizó el análisis de la columna de agua en el estuario obteniendo datos de temperatura, pH y conductividad. Las muestras de sedimentos fueron analizadas caracterizando los elementos químicos que los componen, dando idea de la procedencia de los sedimentos y de la emersión de posibles contaminantes. Dados los objetivos del presente estudio, se consideró necesario caracterizar sólo el sedimento superficial del cauce.

Como se mencionó en el Capítulo II, Materiales y Métodos, se observa en la figura V-1, el recorrido realizado a lo largo de los segmentos del valle y el estuario buscando datos de sedimentos de fondo, perfiles de suelos de meandros, llanura de inundación y columna de agua del estuario. Teniendo en cuenta que los elementos se movilizan como partículas sólidas suspendidas, formando parte de los sedimentos de fondo y en forma disuelta en el cuerpo del río (Salomons y Förstner, 1984), se integraron estas posibilidades en el muestreo buscando la composición química de los sedimentos fluviales como resultado de la interacción de los detritos de origen natural y antrópico con los materiales transportados y depositados por el sistema fluvial (Chester, 2003).

Las muestras de sedimentos, tanto de fondo de cauce, meandros, y demás puntos de muestreos (figura V-1) se tomaron con draga y barreno, y se analizaron tanto para parámetros físicos, como químicos (ver Capítulo 2 - 2.3). Así se realiza una descripción de comportamiento de pH, conductividad y texturas, en el laboratorio de Laboratorio de Fitoquímica del IANIGLA CCT Mendoza y la caracterización química elemental de los sedimentos en el Laboratorio MEBYM, (ver Capítulo 2 – 2.3.3).

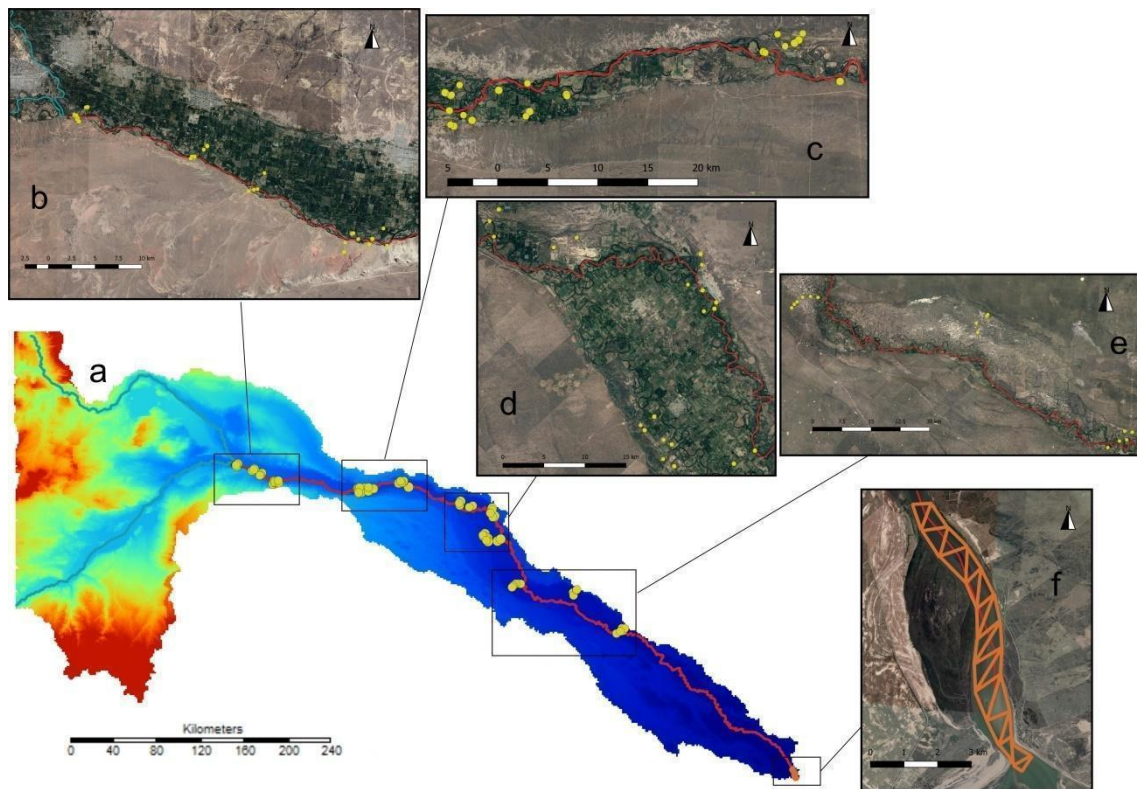
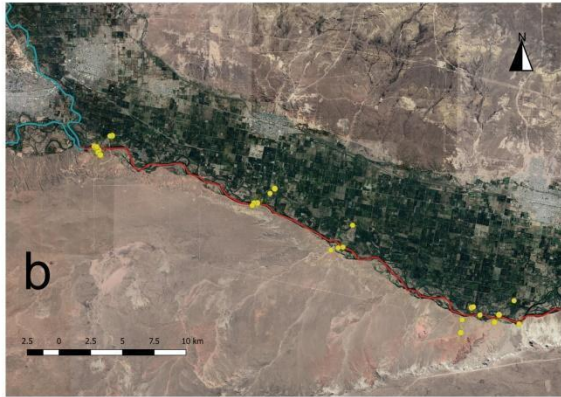


Figura V-1: Ubicación de los muestreos a lo largo de la cuenca del río Negro. **a-** Vista del Sistema Fluvial del río Negro. **b-** Primera zona de muestreo en el Alto Valle. **c-** Segunda y tercera zona de muestreo en Alto Valle y Valle medio. **d-** Cuarta zona de muestreo en el Valle medio. **e-** Quinta zona de muestreo en el Valle Inferior. **f-** Sexta zona de muestreo, transectas de muestreo en el estuario del río Negro, desde La Toma hasta la desembocadura.

ID	Nombre	Georef
1	C4M1P0	38°59'38,2"S/67°59'13,8"W
2	C4M1P1	38°59'13,4"S/67°58'09,7"W
3	C4M1P3	38°59'44,8"S/67°59'07,5"W
4	C4M1P4	38°59'44,5"S/67°59'04,0"W
5	C4M1P5	38°59'52,7"S/67°59'00,4"W
6	C4M1P6	38°59'52,2"S/67°59'01,1"W
7	C4M1P7	39°00'00,4"S/67°58'53,8"W
8	C4M1P8	39°01'57,4"S 67°50'19,8"W
9	C4M1P9	39°01'13,3"S/67°49'33,1"W
10	C4M1P10	39°06'17,9"S/67°38'32,4"W
11	C4M1P11	39°07'24,1"S/67°39'08,4"W
12	C4M1P12	39°07'23,2"S/67°39'07,5"W
13	C4M1P13	39°06'54,4"S/67°37'15,9"W
14	C4M1P14	39°06'35,0"S/67°37'02,1"W
15	C4M2P1	39° 8'39.97"S/66°53'19,3"W
16	C4M2P2	39°08'48,9"S/66°52'54,4"W
17	C4M2P3	39°09'35,7"S/66°53'00,7"W
18	C4M2P4	39°10'35,6"S/66°52'41,9"W
19	C4M2P5	39°10'08,8"S/66°51'24,9"W
20	C4M2P7	39°09'31,3"S/66°47'25,6"W
21	C4M2P8	39°08'30,1"S/66°49'41,4"W
22	C4M2P9	39°8'36,74"S/66°44'55,43"W
23	C4M2P10	39°07'34,5"S/66°25'53,5"W
24	C4M2P11	39°18'68,6"S/65°39'71,5"W
25	C4M2P12	39°18'34,3"S/65°39'29,1"W
26	C4M2P13	39°17'27,0"S/65°40'91,9"W
27	C4M3P1	39°28'98,0"S/65°37'0,29"W
28	C4M3P2	39°28'92,2"S/65°36'26,1"W
29	C4M3P3	39°25'49,4"S/65°43'16,2"W
30	C4M3P4	39°26'98,9"S/65°44'57,4"W
31	C4M3P5	39°27'53,5"S/65°42'22,7"W
32	C4M3P6	39°29'20,3"S/65°42'15,3"W
33	C4M3P7	39°15'89,6"S/65°40'06,2"W
34	C4M3P8	39°12'46,3"S/65°57'32,0"W
35	C4M3P9	39°05'20,5"S/66°28'55,1"W
36	C4M3P10	39°05'24,9"S/66°29'07,6"W
37	C4M3P11	39°05'53,0"S/66°31'75,5"W
38	C3M1P0	38°59'39,6"S/67°59'05,2"W
39	C3M1P1	38°59'45,3"S/67°59'04,3"W
40	C3M1P2	38°59'50,6"S/67°59'01,3"W
41	C3M1P3	38°59'45,6"S/67°59'05,6"W
42	C3M2P0	39°01'57,1"S/67°50'23,7"W
43	C3M2P2	39°01'32,7"S/67°49'33,8"W
44	C3M3P0	39°03'33,3"S/67°45'24,6"W
45	C3M4P0	39°06'47,3"S/67°37'36,2"W
46	C3M4P1	39°07'26,8"S/67°39'09,4"W
47	C3M4P2	39°06'33,3"S/67°38'29,4"W
48	C3M4P5	39°06'35,1"S/67°36'59,6"W
49	C3M8P1	39°08'52,3"S/66°52'55,6"W
50	C3M5P4	39°08'29,8"S/66°46'41,4"W
51	C3M5P5	39°08'25,3"S/66°46'32,4"W
52	C3M9P0	39°05'29,8"S/66°31'45,7"W
53	C3M9P1	39°05'12,9"S/66°28'30,1"W
54	C3M9P2	39°05'45,7"S/66°29'49,1"W
55	C3M10P0	39°14'32,8"S/65°58'02,6"W
56	C3M10P1	39°12'57,0"S/65°57'24,2"W
57	C3M6P0	39°08'29,8"S/66°46'41,4"W
58	C3M6P1	39°08'29,8"S/66°46'41,4"W
59	C3M6P2	39°08'29,8"S/66°46'41,4"W
60	C3M6P4	39°08'29,8"S/66°46'41,4"W
61	C3M6P5	39°08'29,8"S/66°46'41,4"W
62	C3M11P0	39°14'32,8"S/65°58'02,6"W
63	C3M11P2	39°14'32,8"S/65°58'02,6"W
64	C3M12P1	39°14'32,8"S/65°58'02,6"W
65	C3M7P0	39°08'29,8"S/66°46'41,4"W

Muestreros en Zona del Alto Valle



Muestreros en Zona del Valle Medio

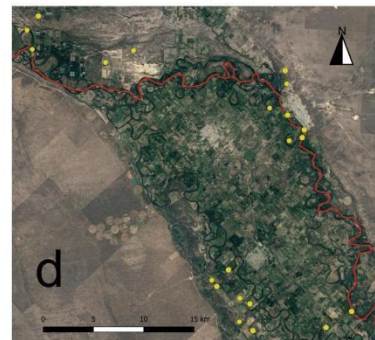
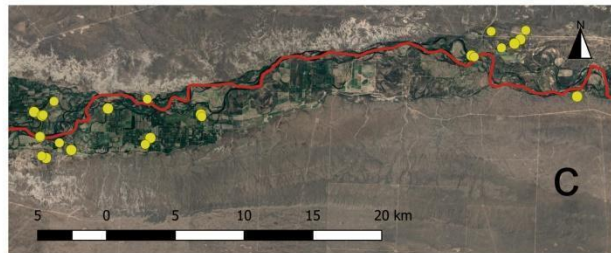


Figura V-1.a: Ubicación de los muestreros a lo largo de la cuenca del río Negro.

5.1 Análisis de parámetros físicos del río Negro

El comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos del río Negro han demostrado variaciones importantes en los diferentes puntos de muestreo (figura V-1). Se define dominancia de texturas francas, con conductividades medias de $4.857 \mu\text{S}/\text{cm}$. Para este parámetro se obtuvieron valores que varían desde un máximo de $44.600 \mu\text{S}/\text{cm}$, en muestra de un meandro abandonado antiguo sin influencia antrópica en la costa norte del Valle Medio, a un mínimo de $263 \mu\text{S}/\text{cm}$ también obtenido en muestra de un meandro abandonado antiguo, pero con presencia de actividad antrópica actual también en costa norte del Valle Medio (figura V-1d). En cuanto al pH se presentan valores medios de 7,9; máximos de 10 en un meandro abandonado en la costa sur del Valle Medio, sin actividad antrópica (figura V-1c) y un mínimo de 4,5 sobre la costa norte del estuario (figura V-1f; figura V-2).

En los diferentes muestreos (figura V-1) se clasificaron sedimentos de distintas procedencias e historias de depositación. La estratificación general del muestreo buscó llegar a una estimación básica del comportamiento de los parámetros analizados. En una primera aproximación pre-conceptual, de sedimentos con mayores valores de conductividad nos llevó a muestrear el estuario y el efecto de cuña salina, en la figura V-2 se observan valores mucho más altos para el resto del cauce aguas arriba. Con picos de hasta $44.600 \mu\text{S}/\text{cm}$ en el Valle Medio se destacan los meandros abandonados. Se buscaron diferentes historias en los meandros. Por un lado, los activos, luego los recientemente abandonados y no colmatados aún por sedimentos y, por último, los meandros abandonados colmatados por sedimentos, algunos de ellos con vegetación nativa y actividad agrícola-ganadera. Siendo el río Negro de vasta extensión de meandros abandonados, esto sirve para ahondar luego en cada ciclo de abandono. Además, a cada uno de los meandros localizados y seleccionados se le sumó el concepto de natural o bajo actividad antrópica.

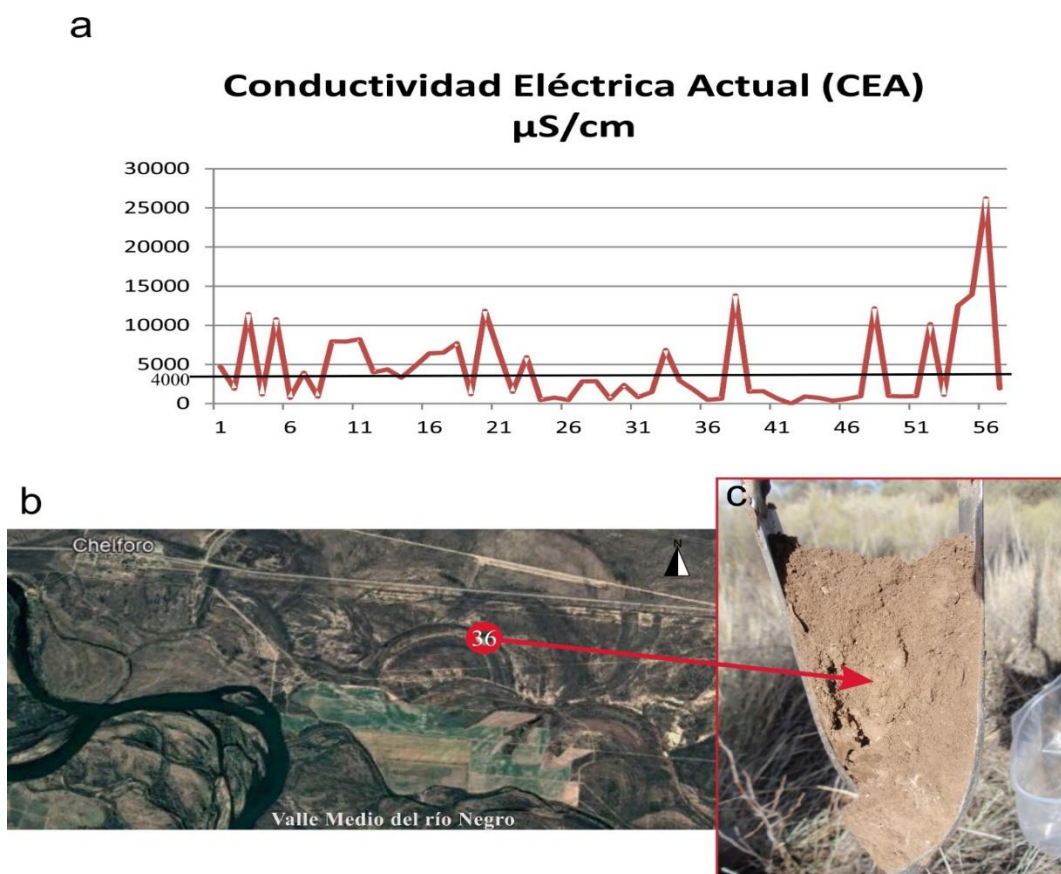


Figura V-2: a. Conductividad Eléctrica Actual (CEA) $\mu\text{S/cm}$ tomado de las muestras de sedimentos en los distintos segmentos del Valle del río Negro. b. Punto de muestreo en Valle Medio del río Negro sobre meandro abandonado y con rastros de ganado correspondiente al punto de muestreo 36. c. Barreno con muestra de sedimentos del punto b a 30-50 cm de profundidad.

Los sedimentos muestreados a lo largo del valle del río Negro demuestran cierta estabilidad en los valores de pH, con valores que van desde 6,5 a 10, incluyendo muestras levemente ácidas, neutras y básicas (figura V-3). El punto de menor pH (6,5), excluyendo a los datos del estuario, coincide con la muestra de mayor conductividad (figura V-2) en el meandro abandonado del Valle Medio con actividad ganadera leve y a profundidad de los 30-50 cm. El máximo valor encontrado de pH (10,09) se identificó en la costa sur del río dentro del Alto Valle (figura V-3). Sobre un cauce intermitente de orden 1, natural y sin presencia de impacto antrópico directo, la muestra se toma con barreno a un metro y medio de profundidad. Se consideran los aportes laterales al cauce, paredes de terrazas y deslizamiento de sedimentos fluviales cuaternarios.

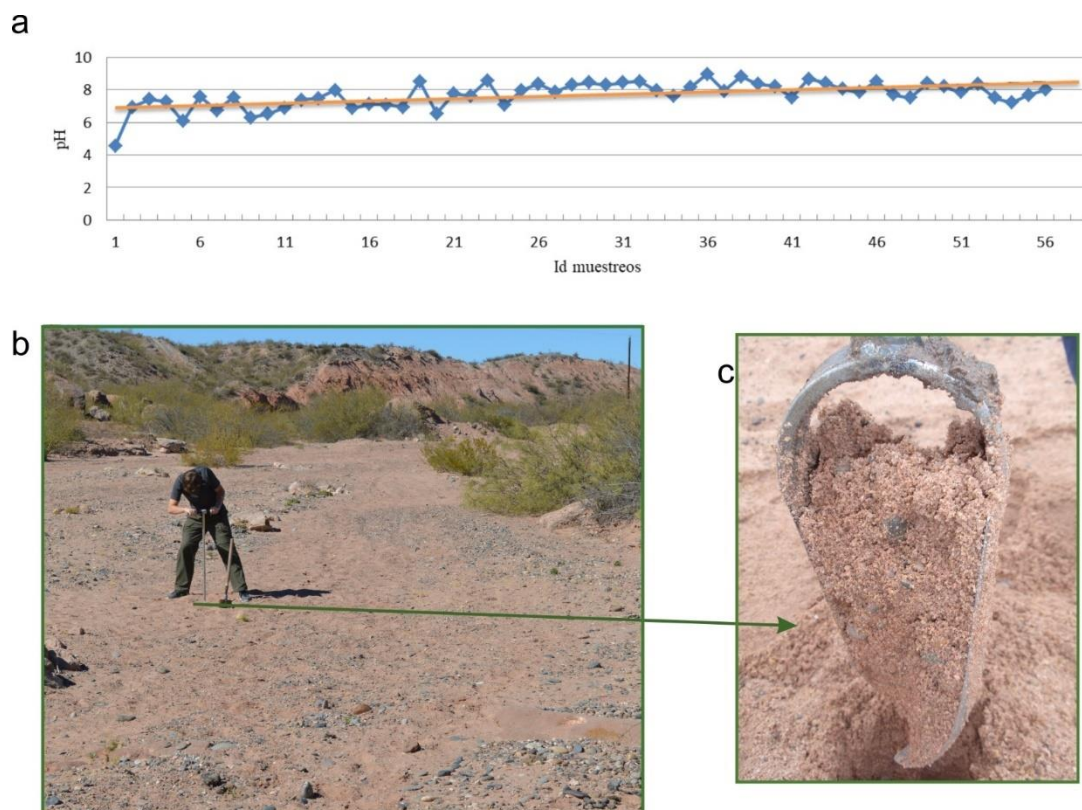
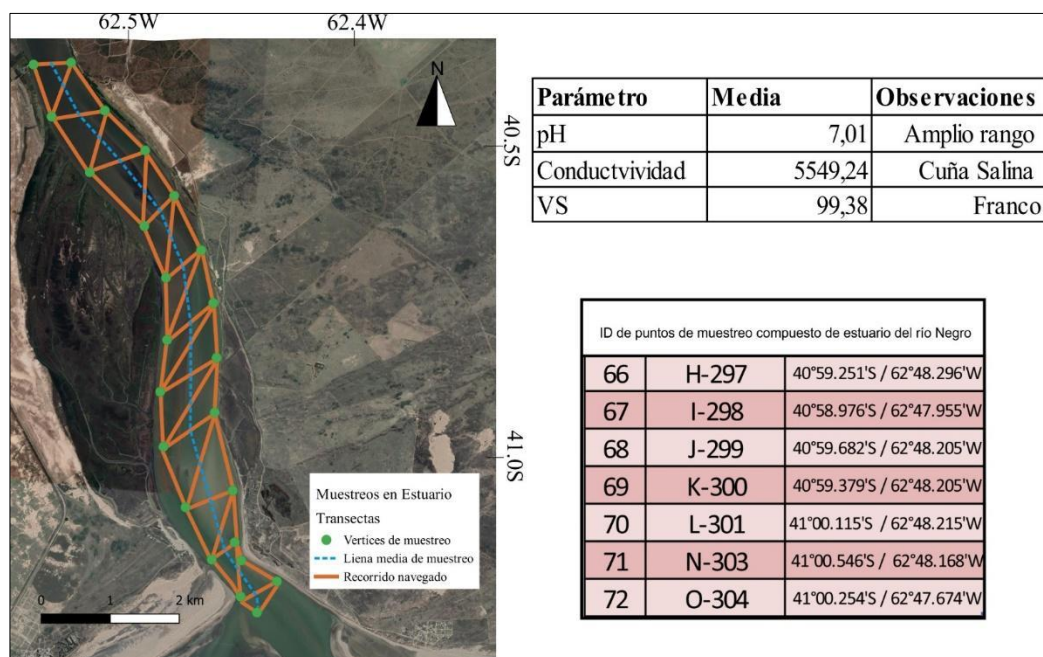


Figura V-3: pH de los sedimentos del Valle del río Negro. **a.** Comportamiento del pH a lo largo del río Negro. **b.** Muestreo de sedimento en cauce intermitente. **c.** Barreno con muestra de un metro de profundidad para enviar al laboratorio.

En el estuario se obtuvieron datos de los parámetros pH, conductividad y textura de los sedimentos de fondo. A través del análisis estadístico de base se observa que la conductividad eléctrica actual (CEA) media, toma valores del orden de $5.549,2 \mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiendo a sedimentos salinos. Además, en la figura V-4 se exponen los valores máximos y mínimos de la CEA, a fin de demostrar el rango en el que varía la conductividad del estuario. Siendo una zona de transición entre la cuña salina que ingresa desde el océano Atlántico y el egreso del caudal transportado por el río Negro, el rango $745 \mu\text{S}/\text{cm}$ a $11.860 \mu\text{S}/\text{cm}$, puede atribuirse a un proceso natural.

Figura V-4: Muestreos en el estuario del río Negro.



De igual manera los valores de volumen de sedimentación (VS) con los que se han definido las diferentes texturas de los sedimentos encontrados presentan mezcla desde la textura arenosa a la fracción limo-arcillosa. En la figura V-4 se puede observar la cercanía de los muestreos que exponen diferentes texturas. Según el análisis estadístico de base realizado con los datos obtenidos de laboratorio, la media del VS da textura intermedia de arenas y limos. Dentro del sistema estuario, el pH también se encuentra dentro de un amplio rango (figura V-4).

5.2 Análisis químico elemental de los sedimentos de fondo del río Negro

La importancia de conocer los elementos químicos que se presentan en los sedimentos de fondo y su distribución radica en que bajo diferentes condiciones dadas en el ambiente en el que se encuentran, pueden dar origen a especies químicas con propiedades tanto inertes como tóxicas, perjudiciales para el medio, como beneficiosas. Partiendo de esta base se puede conocer las especies químicas posibles, sus características de movilización, toxicidad, bioacumulación, aporte de nutrientes, etc. Con esta idea se destacan los elementos mayoritarios, minoritarios y traza de los sedimentos de fondo y llanura de inundación, integrando algunas muestras de terrazas y meandros de distintos ciclos de abandono y activos.

Como se puede ver a lo largo de este capítulo, cada uno de los elementos analizados pueden presentar tanto procedencia natural como antrópica. En el primer caso se presentan mediante procesos de meteorización - sedimentación provenientes de roca madre, formaciones o

afloramientos, como así también provenientes de generación o descomposición de materia orgánica. Además, se suma a estas fuentes la antrópica, que puede ser la que se desarrolla tanto en los valles del río Negro, como la agronomía y actividades de extracción minera y petrolera o el ordenamiento territorial.

Dentro de los elementos más comunes, llamados mayoritarios, se encuentra el Carbono (C), Oxígeno (O) y Silicio (Si). Estos tres elementos son los componentes base de los sedimentos fluviales, con gran aporte de materia orgánica, muestreados desde la confluencia de los ríos Limay y Neuquén en el límite oeste del río Negro hasta Gral. Conesa, en el Valle Inferior (figura V-5). El comportamiento del elemento O a lo largo del Valle del río Negro se mantiene constante en todas las muestras con valores que varían desde un mínimo de 38,05 Wt% y un máximo de 52,16 Wt% con un error típico de 0,24.

En cambio, los elementos C y Si presentan comportamientos diferentes y quizás se puede deducir opuestos a lo largo de la cuenca. El C presenta muestras con un mayor rango de dispersión. Se mantiene entre valores de 4,34 Wt% y un máximo de 39,15 Wt% con un error típico de 0,75. Claramente el rango de valores es mayor y se observa en la figura V-5 como es el comportamiento con pendientes negativas, aumentando la concentración de C hacia el noroeste de los valles. De manera opuesta al C, el Si presenta una pendiente positiva a lo largo de los valles, presentando su rango de valores más elevados hacia el Valle Inferior.

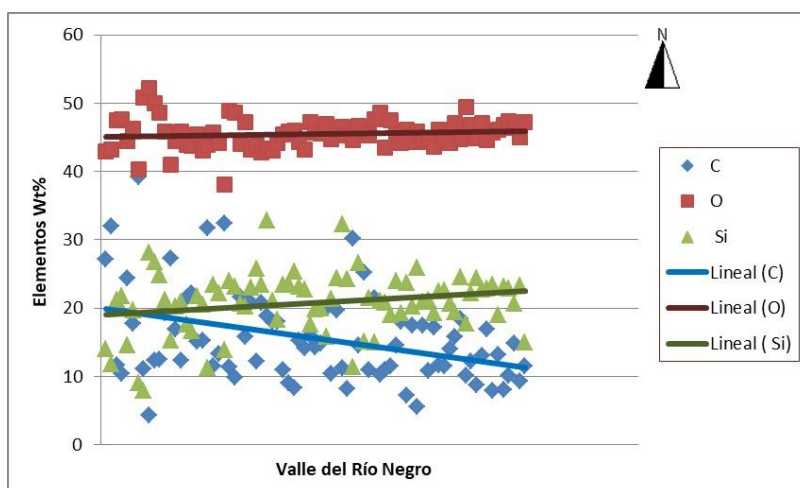


Figura V-5: Porcentaje de elementos mayoritarios en muestras de Valle del río Negro. Chi-squared toma valores: 0,5 - 5 Error: +/-2 Sigma. Método de corrección: Proza (Phi-Rho-Z), con Acc. Voltage: 15 - 25 kV y tomado con ángulo de 35 - 36 °.

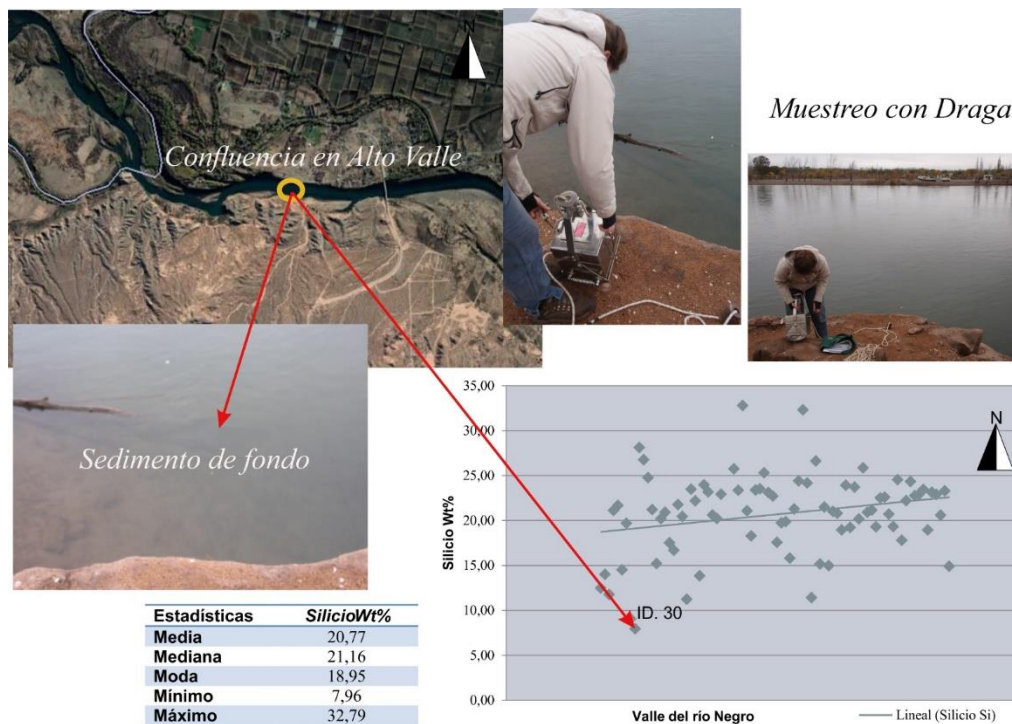


Figura V-6: Porcentaje del elemento metaloide silicio en muestras de Valle del río Negro – Chi-squared toma valores: 0,5 – 5. Error: +/-2 Sigma. Método de corrección: Proza (Phi-Rho-Z), con Acc. Voltage: 15 - 25 kV y tomado con ángulo de 35 – 36 °. Imagen de zona de muestreo donde se obtiene la menor concentración de silicio en sedimento de fondo obtenido mediante draga en el río Negro (Muestra ID. 30).

El C, Si y O se analizaron a modo de hacer mención de sus concentraciones y comportamientos bajo el conocimiento de su presencia en todos los sistemas referidos a ambientes fluviales. Para llevar adelante conclusiones tanto de Demanda de Oxígeno de Sedimentos (SOD), como a demanda biológica de oxígeno (DBO) o demanda química de oxígeno (DQO) del río Negro se puede partir de información sobre la concentración de oxígeno presente en los sedimentos, así como el comportamiento del oxígeno a lo largo de los sedimentos tanto de cauces activos como de sedimentos de meandros abandonados o de terrazas del sistema fluvial. Por lo tanto, como observación de este elemento se destaca su comportamiento estable a lo largo de la cuenca del Río Negro con una leve tendencia a aumentar hacia el Valle Inferior y el estuario. Sólo en pocos puntos referidos a sedimentos provenientes de terrazas y meandros abandonados, las concentraciones se mostraron más bajas con valores mínimos que rodaron los 36 Wt% O.

En cuanto al C y el Si, son dos de los tres elementos base de los sedimentos fluviales. Para estos elementos el comportamiento es opuesto. Partiendo ambos de una misma concentración media de 20 Wt% en la naciente del río Negro, el C disminuye en concentración llegando a un 10 Wt%, mientras que el Si sin grandes variaciones aumenta a un máximo de 22 Wt%. Además, ambos presentan picos en sus valores en gran variedad de muestras, siendo difícil establecer un

comportamiento exacto referido al sistema fluvial por fuera de lo que es la composición natural de los sedimentos.

En cuanto a los metales alcalinotérreos se detectaron en las muestras a lo largo del Valle del río Negro: calcio (Ca), magnesio (Mg) y bario (Ba) (figura V-7). El Ba surge con valores que varían desde 0.01 a 4.05 Wt% con un error típico de 0,05. La presencia de este metal parece deberse principalmente a procesos erosivos y depósitos minerales en el fondo de los ríos. Aunque debe considerarse el aporte antropogénico por aguas residuales domésticas y de talleres mecánicos, cargadas de aceites, combustibles o pinturas, con aditivos de bario. Los elementos Ca y Mg se detectaron en todas las muestras, sus estadísticas se exponen en la figura V-6. Ambos elementos muestran un comportamiento similar al Si, con pendientes positivas, con concentraciones crecientes hacia el Valle Inferior. El Ca presentó, en algunas muestras (figura V-7), valores que salen del rango normal. Estos puntos más elevados corresponden a un máximo de 17,2 Wt% Ca, y donde se dan valores elevados de concentración de elementos como el azufre (S), plata (Ag), níquel (Ni) y titanio (Ti), es en una muestra particular de sedimentos de fondo a no más de 2 km de la confluencia de los ríos Limay y Neuquén. El Mg también genera una pendiente positiva hacia el Valle Inferior. Este elemento se presentó con un valor destacado de 2,68 Wt%, error típico de 0,03, en una muestra tomada con barreno a una profundidad de 30 a 50 cm (figura V-7), en un meandro abandonado en el Valle Medio. Tanto el Ca como el Mg son elementos mayoritarios que quedan rápidamente a disposición para la formación de especies químicas como carbonatos, siendo estos responsables de, por ejemplo, las aguas duras. Estos elementos se encuentran a mayores concentraciones en los puntos donde se encuentran texturas más finas, por lo que tienden a ser retenidos por éstas junto a otros elementos como los metales pesados.

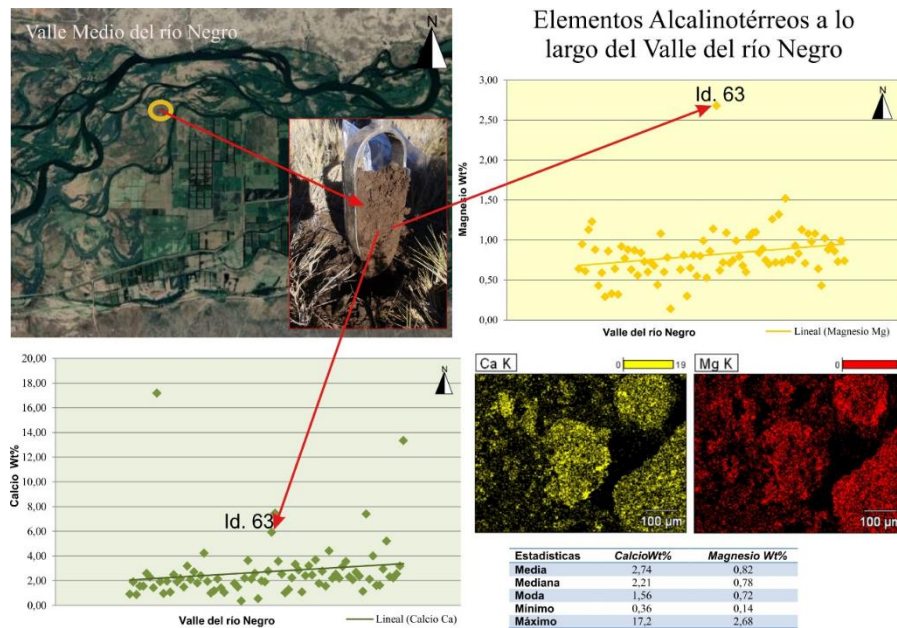


Figura V-7: Porcentaje de elementos alcalinotérreos en muestras de Valle del río Negro – Chi-squared toma valores: 0,5 – 5. Error: +/-2 Sigma. Método de corrección: Proza (Phi-Rho-Z), con Acc. Voltage: 15 - 25 kV y tomado con ángulo de 35 – 36 °. Imagen de zona de muestreo donde se obtiene el mayor valor de concentración de magnesio en meandro abandonado en el Valle Medio del río Negro, muestra obtenida con barreno a una profundidad de entre 30-50 cm. Imágenes extraídas del microscopio electrónico de vista de los elementos calcio y magnesio al momento de medición.

Los metales de transición detectados en las muestras a lo largo del Valle del río Negro fueron en el grupo de mayoritarios: hierro (Fe), níquel (Ni) y titanio (Ti), y en el grupo de minoritarios: cobre (Cu), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), plata (Ag) y zinc (Zn). El Ti y el Fe muestran un aumento en su concentración en dirección al Valle Inferior. En ambos elementos se pueden ver muestras puntuales con valores elevados o eventuales picos. Para el Ti el valor máximo encontrado fue de 1,04 Wt% con un error típico de 0,018, valor que se repitió en dos muestras, hacia el oeste, sobre el curso del río, en sedimentos de fondo y hacia el este, también de 1,04 Wt% con error típico de 0,018 sobre un meandro activo con gran presencia de vegetación. El resto de los valores se muestran alrededor de los 0,43 Wt% a lo largo del Valle. En el caso del Fe un solo valor se muestra muy por encima de la media para este elemento, siendo de 11,88 Wt% con un error típico de 0,17 en el mismo meandro activo donde se encuentra uno de los altos valores del titanio. Este punto es cercano a la ciudad de Choele Choel, donde se tomó esta muestra con barreno llegando a una profundidad de 82 cm alcanzando a la freática, o suelo completamente saturado. El Ni se encuentra en todas las muestras evaluadas, mostrando un comportamiento de disminución de la concentración del elemento a medida que se avanza el muestreo hacia el Valle Inferior. Sin embargo, los valores son muy variables a lo largo de los valles, no encontrándose máximos o mínimos que cambien significativamente.

De los metales de transición minoritarios, el Mn (figura V-8) es el que presentó mayores valores en la mayor cantidad de muestras, con un comportamiento de leve aumento de concentración en las muestras a medida que se avanza hacia el Valle Inferior. Dentro de sus bajas concentraciones el máximo presente es de 1,1 Wt% con un error típico de 0,018 en Valle Azul, en el Alto Valle del río Negro en una muestra de un meandro abandonado, pero con presencia de agua, y gran cantidad de vegetación, siendo representativa de una profundidad entre los 50 y 70 cm. La Ag muestra un comportamiento similar al Ni, una disminución hacia el Valle Inferior y una distribución no uniforme. Su presencia se debe primordialmente a procesos naturales como la erosión de rocas por acción del viento y el agua, escorrentía superficial y precipitación atmosférica, que aportan pequeñas concentraciones del elemento al cuerpo de agua superficial. El máximo valor encontrado para Ag es de 1,42 Wt% con un error típico de 0,03 en un meandro activo del Alto Valle, sobre la llanura de inundación, a una profundidad de 60 a 70 cm tomada con barreno. Superando esta profundidad, 1 m aproximadamente, la presencia de materia orgánica impide el paso del barreno y se calculó, por cercanía al cauce, que el suelo se encuentra totalmente saturado a unos 2 m de profundidad. Cu, Mo y Zn son los tres elementos metales de transición detectados. El Cu se presentó en 18 muestras, mostrando valores máximos de 0,12 Wt% con error típico de 0,0029 en un meandro abandonado en las cercanías del pueblo de Lamarque en el oasis agrícola del Valle Medio a una profundidad de 50 cm. La agricultura y una gran variedad de industrias aportan el Cu a los medios fluviales y luego este se deposita en los sedimentos. A lo largo de la rivera se desarrollan un gran número de emplazamientos agronómicos destinados a la producción de frutales, utilizando grandes volúmenes de fertilizantes y fungicidas formulados a partir de Cu. A esta fuente se le suman los aportes de Cu por basurales, quema de combustibles fósiles y naturales como vulcanismo y vegetación en descomposición. El Mo, con solo 4 muestras representativas, presentó valores de 0,04 Wt% en un meandro activo del Valle Medio, junto a la ciudad de Choele Choel, a 0,14 Wt% en muestra de sedimentos de fondo del estuario. El Mo se detectó en los sedimentos del río Negro en bajas concentraciones y, en presencia, por lo tanto, de una gran concentración de O.

Por último, el Zn se encontró sólo en un punto de muestreo, en un meandro activo de la ciudad de Choele Choel, en el Valle Medio, dando concentraciones muy bajas de 0,02 y 0,03 entre los 30 y 50 cm y 50 y 70 cm de profundidad, respectivamente. Al igual que el caso del Cu, el Zn presenta como fuente principal los plaguicidas y fertilizantes utilizados en las plantaciones del valle y que terminan en el sistema fluvial por mecanismos de transporte como infiltración,

escorrentías, precipitación, entre otros. Además, puede presentarse por aportes atmosféricos a través de la precipitación de partículas emitidas a la atmósfera por quema de desechos sólidos.

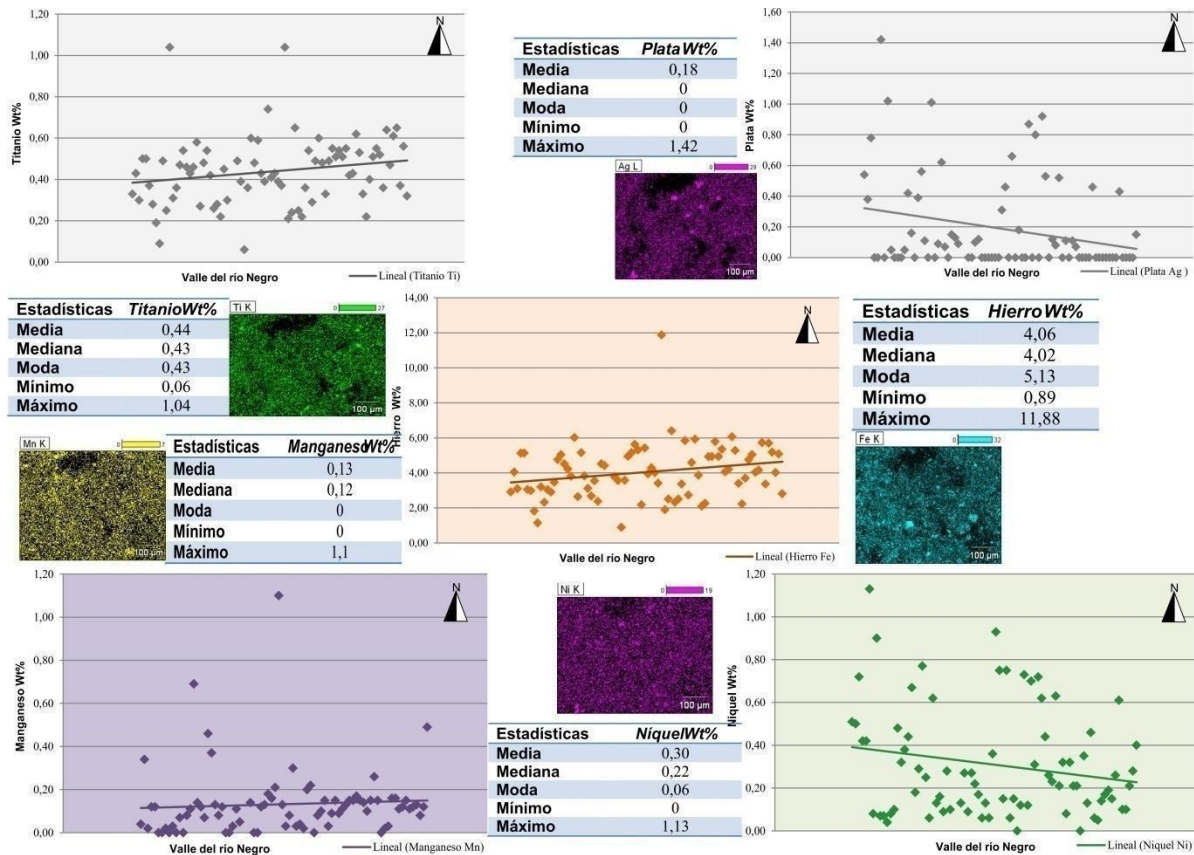


Figura V-8: Porcentaje de metales de transición mayoritarios en muestras de Valle del río Negro – Chi-squared toma valores: 0,5 - 5 Error: +/-2 Sigma. Método de corrección: Proza (Phi-Rho-Z), con Acc. Voltage: 15 - 25 kV y tomado con ángulo de 35 - 36 °. Imágenes extraídas del microscopio electrónico de vista de los elementos al momento de medición.

El K, fue el representante de los metales alcalinos encontrado en el 90% de las muestras con concentraciones medias de 1,35 Wt% y un máximo en 3,37 Wt% y un error típico de 0,05. Este valor máximo fue observado en la muestra que corresponde al perfil 5 relevado sobre un paleocauce en el Alto Valle. En este punto se buscó la extracción de muestra representativa de aporte de sedimentos eventuales de precipitaciones y escorrentía que permitan la actividad del paleocauce y el aporte al cauce principal del río Negro (figura V-9).

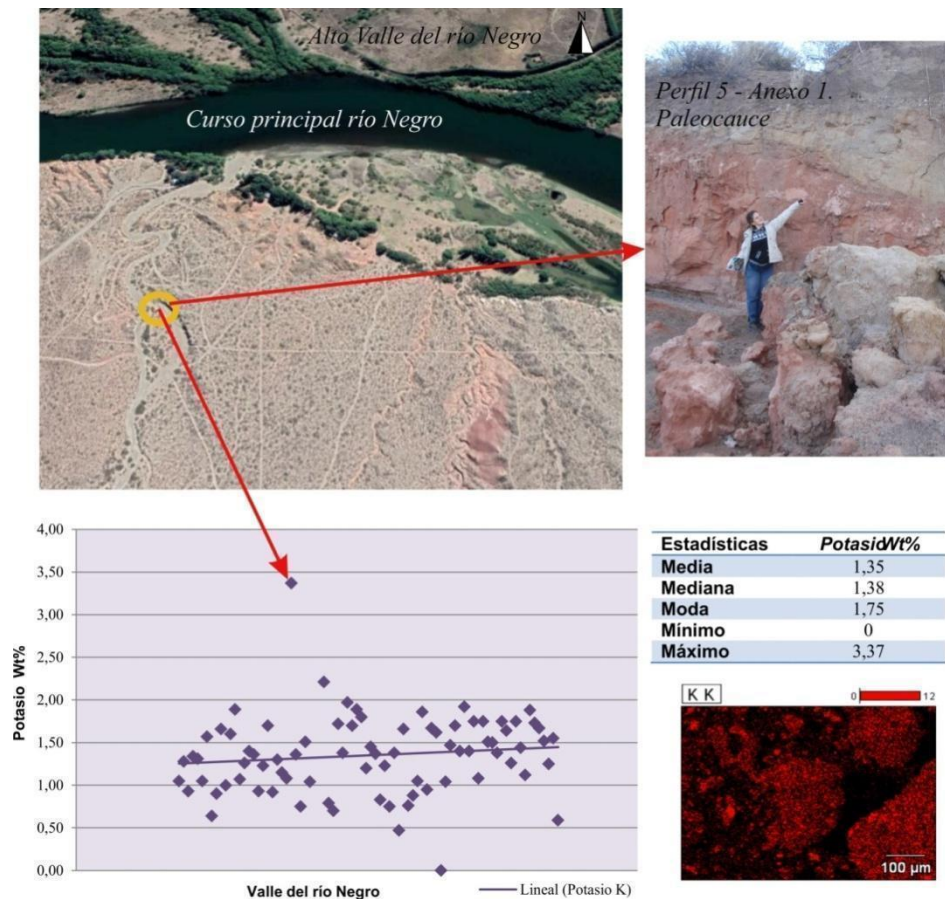


Figura V-9: Porcentaje de metales de transición mayoritarios en muestras de Valle del río Negro – Chi-squared toma valores: 0,5 - 5 Error: ± 2 Sigma. Método de corrección: Proza (Phi-Rho-Z), con Acc. Voltage: 15 - 25 kV y tomado con ángulo de 35 - 36 °. Imágenes extraídas del microscopio electrónico de vista de los elementos al momento de medición.

Dentro de los elementos no metálicos se encontraron el fósforo (P) y el azufre (S) y el halógeno cloro (Cl). Cada uno de estos elementos, evaluados de la misma manera, mostró un comportamiento diferente (Figura V-10). En el caso del P, con gran cantidad de muestras en cero, los valores se mantuvieron entre 0 y 0,15 Wt% con un error típico de 0,0033. En general se puede decir que los valores se ven incrementados a medida que se avanza el muestreo hacia el Valle Inferior y relacionados a puntos de muestreo en meandros antiguos, abandonados y con actividad antrópica relacionada a la ganadería. En zonas de alta productividad frutícola se presenta la fertilización de suelos donde se forman silicatos de Fe, Mn, Al y Ca y se libera P en forma de anión ortofosfato que queda a disposición vegetal. Sin la formación de silicatos, el silicio asimilable se reduce por la absorción y asimilación vegetal del nitrógeno N, P y K quedando disponible a la formación de sedimentos ricos en estos elementos.

Para el caso del elemento S, el valor medio es de 0,19 Wt%, con un error típico de 0,16, sin embargo, un valor completamente fuera del rango de 8,18 Wt% se observó en la muestra de

sedimentos de fondo de la confluencia, misma muestra donde se presentaron los picos de Ca, Ag, Ti y Ni y el valor más bajo para el Si. El azufre –sulfatos, tienden a lixiviar en suelos arenosos y son retenidos en horizontes ricos en texturas francas, francas arcillosas, como resultado de la descomposición de la materia orgánica. Por último, el Cl se presentó en concentraciones desde 0 a 0,23 Wt% con un error típico de 0,007 a lo largo del Valle. En corrientes fluviales de estas características las aguas provenientes del abastecimiento de diferentes actividades económicas y sociales de poblaciones aledañas al sistema fluvial presentan características naturales en cuanto a contenidos de materia orgánica que les confieren un elevado potencial de formación de trihalometanos.

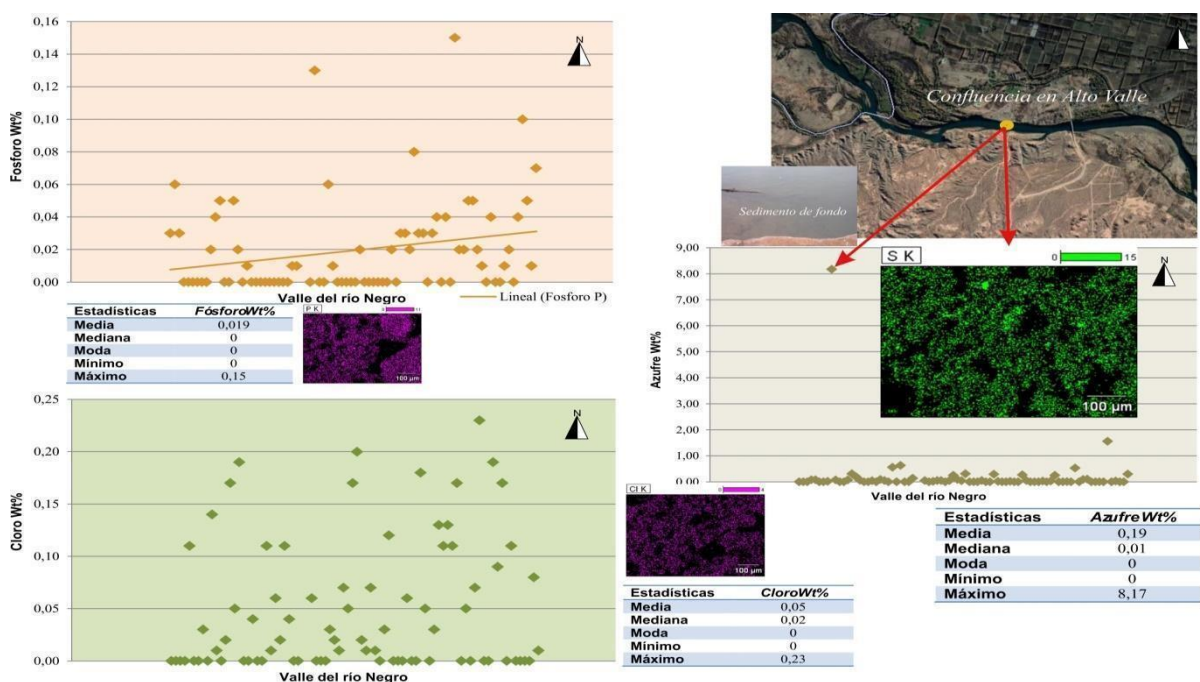


Figura V-10: Porcentaje de metales de transición mayoritarios en muestras de Valle del río Negro – Chi-squared toma valores: 0,5 - 5 Error: +/-2 Sigma. Método de corrección: Proza (Phi-Rho-Z), con Acc. Voltage: 15 - 25 kV y tomado con ángulo de 35 - 36 °. Imágenes extraídas del microscopio electrónico de vista de los elementos al momento de medición.

En el estuario del río Negro los valores de concentración de cada elemento detectado en las muestras de sedimentos se muestran en las figuras V-11 y 12. El C presenta una media de 20,2 Wt%, con un error típico de 1,3. Este valor medio se encuentra muy por encima del valor medio que arrojaron las muestras a lo largo del Valle. Para el O la concentración media en el estuario fue de 41.68 Wt% con un error típico de 0.79, lo que se mantiene dentro de los valores encontrados a lo largo del Valle. Al igual que el Si, que se encuentra con una media de 19,3 Wt% y un error de 0,67.

El sodio (Na) presentó una concentración media de 2,12 Wt% frente a un error típico de 0,17, y un valor máximo de 5,04 Wt% en muestra de sedimento de fondo en el punto medio del canal. El magnesio con una media de 0,7 Wt% y un error típico de 0,06, toma valor máximo de 1,43 Wt% en sedimento de fondo de punto de muestreo en fondo de isla al sur del canal de descarga del río Negro. El aluminio (Al), toma valores medios de 5,1 Wt% y un error típico de 0,19, con un máximo de 6,71 Wt%. El azufre con valores mucho más bajos arrojó una media de apenas 0,18 Wt% con un error típico de 0,03 y una concentración máxima de 0,44 Wt%, al igual que el titanio que presentó una media de 0,5 Wt% con error típico de 0,1 y una máxima de 2,3 Wt%. Luego el K y el calcio presentan valores mayores, con medias de 1,4 Wt% y error de 0,15 para el K y 2,02 Wt% y un error de 0,1 para el Ca. Ambas concentraciones máximas fueron de 4,2 Wt%. Finalmente, para los elementos considerados mayoritarios por presentarse en porcentajes considerables en las muestras el hierro arrojó una media de 4,9 Wt% y un error típico de 0,68 y un máximo elevado de 16,25 Wt% en sedimentos de fondo de la costa sur de la desembocadura, y el cloro se presenta una media de 0,7 Wt% con un error típico de 0,16 y un máximo de 3,36 Wt%.

Los elementos considerados minoritarios en este caso fueron níquel, plata, manganeso, fósforo, bario, molibdeno, cobre y arsénico. Como se ve en la figura V-12 ninguno de estos elementos sobrepasa valores de 10 Wt%, encontrándose en su mayoría por debajo de 2 Wt%. En el caso del níquel, el de mayor concentración entre los minoritarios, se observó una media de 0,12 Wt% y un error típico de 0,04. Luego la plata con 0,07 Wt% de media y un error de 0,05 y el manganeso con media de 0,03 Wt% y un error de 0,013 se presentaron en más del 50 % de las muestras de sedimentos de fondo del estuario. El manganeso surge naturalmente, al igual que el molibdeno, por procesos de meteorización de rocas y roca madre. Además, es proporcionado por escorrentías sobre suelos volcánicos y aquellos con depósitos provenientes del transporte fluvial o eólica con restos de actividad minera y/o plantas procesadoras de hierro y acero.

Luego para el P, con una media de 0,01 Wt% y error de 0,005 se presenta sólo en un 25% de las muestras, mientras que el bario (Ba) con media de 0,01 Wt% y error de 0,008 solo aparece en dos muestras del estuario. De igual manera el molibdeno con un valor medio de 0,08 Wt% surge en tres muestras, y el arsénico con un único valor de 0,14 Wt% en sedimentos de fondo también correspondientes a la costa sur del estuario.

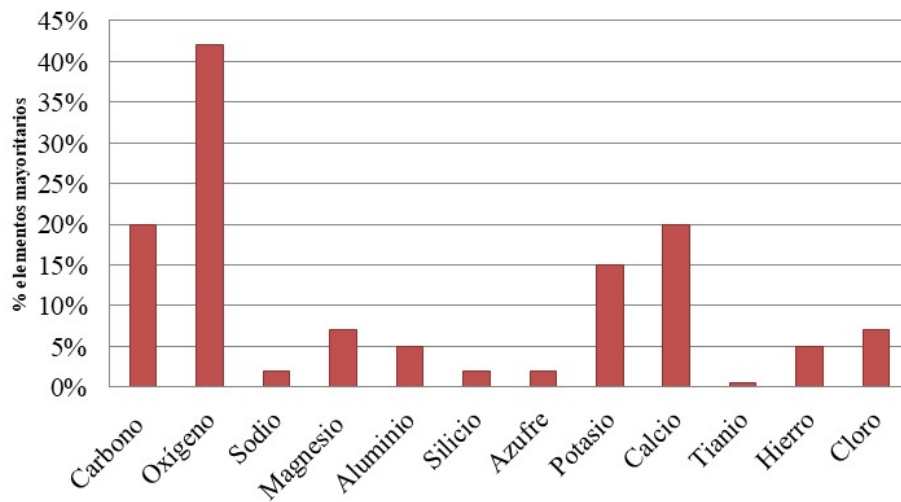


Figura V-11: Porcentaje de elementos mayoritarios en muestras de sedimentos del estuario - Chi-squared toma valores: 0.7 - 5 Error: +/-2 Sigma. Método de corrección: Proza (Phi-Rho-Z), con Acc. Voltage: 15 - 25.0 kV y tomado con ángulo de 35 - 36 °.

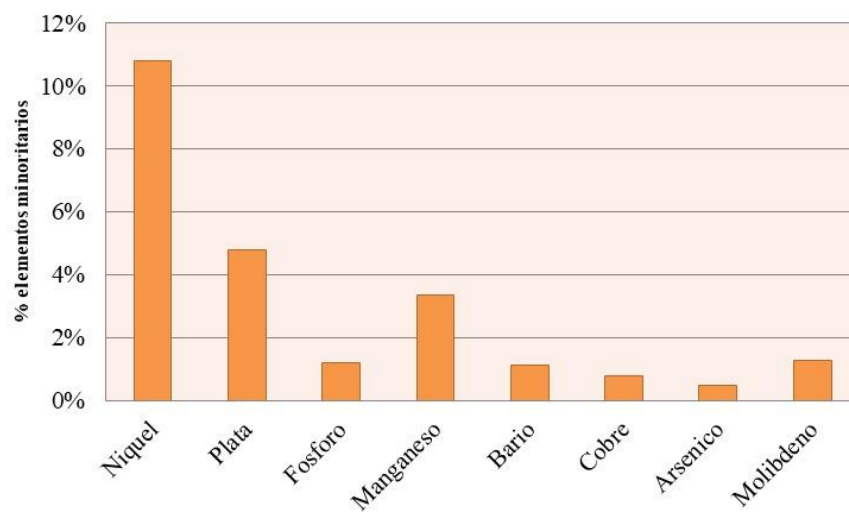


Figura V-12: Porcentaje de elementos minoritarios en muestras de estuario – Chi-squared toma valores: 0.7 - 5 Error: +/-2 Sigma. Método de corrección: Proza (Phi-Rho-Z), con Acc. Voltage: 15 - 25.0 kV y tomado con ángulo de 35° - 36 deg.

CAPÍTULO VI

Discusión y Conclusiones



A lo largo del presente trabajo de tesis se buscó incrementar una base de conocimiento sobre la cuenca del río Negro, idea que nació del análisis bibliográfico y observar el desarrollo de información al momento de iniciado el trabajo y la urgente necesidad de generar información complementaria. Para poder desarrollar cualquier proyecto de mapeo, de riesgos y amenazas naturales o antrópicas, de ordenamiento territorial y/o uso sustentable de los recursos naturales, entre otros, es necesario conocer lo más detalladamente posible el río Negro. Sólo así se puede dar inicio a trabajos y estudios más profundos sobre las repercusiones e interacciones entre las distintas zonas del valle del río Negro, su estuario y los ambientes de influencia directa e indirecta del río. Particularmente a través de la variación en patrones y tendencias de algunos parámetros climáticos como la precipitación y la temperatura, parámetros morfométricos, sumados a las presiones naturales y antrópicas, se generan sistemas dinámicos que repercuten en el desarrollo de una cuenca hidrográfica.

6.1 Factores climáticos e hidrológicos en la cuenca del río Negro

Como afirma Cazenave en 2011, todos los elementos que hacen a la dinámica fluvial se ven influenciados por distintas actividades antrópicas que se desarrollan a lo largo de una cuenca. La creciente presión antrópica sobre el recurso hídrico sumado al aumento de la polución y, a gran escala, el cambio climático suma complejidad a la utilización de este recurso, potenciando el impacto negativo en períodos de déficit hídrico. A su vez, a través de la historia del hombre, gran número de modificaciones antrópicas sobre el flujo natural del agua se han desarrollado prácticamente sin planificación previa, generando como consecuencia diferentes conflictos y problemáticas específicas (Narbondo et al., 2018). Ejemplo de esto es la gran masa de agua, como la que constituye el lago de Casa de Piedra, sobre las aguas del río Colorado, Argentina, de más de 60 km de largo y casi 3.800 hm³ de volumen, donde si bien se desarrolló con bases técnicas y evaluaciones de situaciones previas, se produce la depositación del material transportado, disuelto o en suspensión, sumado a depositación de particulados atmosféricos, dándole una nueva condición de parámetros a las aguas emergentes de la represa y, por consiguiente, a su comportamiento en la cuenca (Cazenave, 2011).

Luego de una amplia búsqueda bibliográfica se destaca que son pocos los estudios que caracterizan el clima puntual de la cuenca del río Negro, sin integrarlo a la Patagonia Norte de manera general. En los resultados del presente estudio se resalta que la zona del Valle Medio en el período estudiado, que abarca 85 años (desde 1908 a 1993), presenta las mayores precipitaciones. Luego el Valle Inferior es tomado en la bibliografía citada como el valle más

húmedo. Si bien éste presenta mayores precipitaciones en el segundo trimestre, para el mes de mayo se observaron, en el período analizado de 126 años (desde 1883 a 2009), precipitaciones que no superan los 275 mm anuales. De las evidencias anteriores podemos inferir que no es representativamente el más lluvioso de los valles, ya que no se puede tomar como tal siendo que acorde a los valores obtenidos para cada valle, precipitación media acumulada mensual de 11,43 mm para el alto valle, 20,67 mm para el valle medio y el valle inferior con 19,70 mm. Algunos autores han estudiado la variabilidad de baja frecuencia de las precipitaciones especialmente en Patagonia (Castañeda y González, 2008; Barros y Mattio, 1978 y Barros y Rodríguez Sero, 1979) obtuvieron una tendencia a un aumento progresivo de las precipitaciones en el norte patagónico y un decrecimiento en el oeste montañoso. Otros trabajos detallaron el estudio de la variabilidad de la precipitación en escalas interanuales (Aravena et al. 2008; Russian et al. 2010; González y Vera, 2010; González et al., 2010; Scarpati et al., 2014) generaron pronósticos estadísticos para la precipitación estacional (González y Cariaga, 2011; González y Herrera, 2014) y estudiaron forzantes presentes en los patrones asociados a la precipitación (González, 2013). Sumado a esto, Romero et al. (2016), reafirma la observación, sumando las afluentes del Negro y teniendo en cuenta dentro de su estudio al Colorado, que la precipitación presenta un ciclo anual muy marcado con máximo en invierno. Esto se da, especialmente en junio, en las cuencas de los ríos Limay (Angostura y Rahue), Neuquén (Los Carrizos) y Colorado (Buta Ranquil) mientras que en el río Negro (Neuquén) existen 2 máximos relativos: uno en mayo y otro en octubre. Si bien el mes de menor precipitación es julio, se puede inferir que la precipitación disminuye sustancialmente en los meses de verano en todas las cuencas lo que también es afirmado por Romero (2016).

Ciertos estudios establecieron que el ENSO no influye significativamente en la variabilidad del régimen de precipitaciones (Garread et al., 2009; Loikith et al., 2017). Otros relacionaron la fase cálida del fenómeno con un aumento de las precipitaciones invernales en el área de estudio (Bianchi, 2016). Existe un efecto mediano del ENSO sobre la precipitación para el mes de julio, mes que se consideró el de mayor sequía para los tres valles analizados del río Negro. La fuerza de la relación entre ENSO y clima regional ha mostrado una considerable variabilidad durante el siglo XX, posiblemente debido a cambios en el comportamiento de ENSO y/o a la influencia de otros factores. Los fenómenos de ENSO también se hicieron más frecuentes e intensos en los años 80 y 90 en comparación con las tres décadas anteriores (Garreaud et al., 2009). En los estudios realizados en la región se han encontrado diferentes efectos de los forzantes climáticos interanuales tales como el ya mencionado ENSO, el Índice 12, 3, 3.4 o el 4, el SOI u NOA,

Oscilación Antártica, el Anticiclón del Atlántico, anticiclón del Pacífico, el Dipolo del Indico, etc. (Villalba et al., 2003; Boninsegna et al., 2009; Romero et al., 2014, entre otros). Entonces, hay varios índices que se utilizan basándose en anomalías de SST promediadas en una región determinada. Si bien es cierto que el índice de Niño 3.4 es el índice más utilizado para definir los eventos ENSO en diferentes zonas de la Patagonia, es el NINO 3 el que muestra el efecto ENSO en la zona de estudio de la presente investigación. Dicho de otro modo, en los resultados vemos que el desarrollo de presiones más bajas sobre el Pacífico central y oriental, a lo largo de la costa occidental de América del Sur, partes de América del Sur cerca de Uruguay y partes del sur de los Estados Unidos en invierno, son las responsables de las condiciones particulares del clima que se da en el área de estudio. Los cambios asociados con ENSO entre otros de los forzantes climáticos, incluidas las sequías, las inundaciones, las olas de calor y otros cambios, pueden impactar de diferentes maneras y con diferentes intensidades las producciones agroindustriales e industriales, el medio ambiente, la salud, la demanda de energía, la calidad del aire, entre otros factores.

El ENSO presenta influencias significativas como forzante climática en la Patagonia Norte. Las precipitaciones invernales se ven incrementadas por la fase positiva del ENSO en el este de la patagonia. Este resultado coincide con el de otros autores que han investigado los impactos de "el niño" en Sudamérica (Ropelewski et al., 1987, Grimm et al., 2000; Vera et al., 2004; Gonzales, 2013). En los meses de invierno, mayormente junio, la correlación entre las precipitaciones líquidas es significativa, con relación directa entre los períodos de sequía y el desarrollo de menores precipitaciones. Luego se ve una correlación negativa para los meses de primavera, octubre, el de mayor significancia inversa entre ENSO y las precipitaciones. El riesgo de que se produzcan efectos adversos y extremos e incluso registros más frecuentes de los forzantes se ve agravado por el cambio climático global, generando una especie de ciclo de interacción, donde se ven ligadas las causas y efectos. Es por esto que es de gran importancia desarrollar más información sobre esta temática. Un análisis más profundo es necesario para poder describir con mayor detalle el efecto ENOS, en cuanto a sequias, temperaturas en superficie y diagrama de precipitaciones y sobre la geomorfología fluvial del río Negro. El efecto del forzante climático El Niño – Oscilación del Sur en los meses estivales, de primavera y en meses invernales repercute en las crecidas o disminución del aporte de caudales naturales en el río Negro. Si bien, es mínima la influencia en cuanto a caudales se refiere, el impacto de este aumento o disminución de aporte por medio de precipitaciones líquidas en los valles no se

debe desestimar, sino sumar esta información a la hora de generar un análisis integral de los parámetros y factores influyentes.

Todo lo referido a caudales en un sistema fluvial está directamente relacionado con los parámetros de precipitación y temperatura, entre otros de menor impacto, como la geomorfología de la cuenca hidrográfica y del sistema fluvial del que forma parte. En la región patagónica, donde la altura de la cordillera no supera los 3.000 m de altura, pueden distinguirse dos subregiones en relación con las características generales de las marchas anuales medias de caudal de los ríos patagónicos. En el sector norte su régimen de caudal mensual muestra dos máximos, uno en invierno —debido a las precipitaciones— y otro en primavera y comienzos de verano —como producto del derretimiento de nieve— (Quintela y Scarpati, 1993). En la región Norpatagónica, además de estas influencias, se le suma la ubicación dentro de la Diagonal Árida y la gran actividad antrópica creciente en las últimas décadas. Los arroyos y ríos de las regiones semiáridas son sensibles a un clima cambiante, porque pequeñas alteraciones climáticas pueden producir grandes variaciones hidrológicas (Solari et al., 2014) y, con ellos, cambios importantes en los parámetros morfométricos y la evolución del sistema fluvial. Las complejas interacciones entre la escorrentía, el tipo y las características de los suelos y el uso de la tierra (entre otros factores) crean variaciones temporales y espaciales en la procedencia de los sedimentos (Miller et al., 2013). Entonces se entiende que todas las pequeñas alteraciones climáticas, como aquellas actividades antrópicas, entre otras, construcciones de represas u otros sistemas de ordenamiento territorial, sobre territorio nativo, han sido importantes dentro del SFRN. A lo largo de la historia del SFRN los procesos naturales y antrópicos que han ocurrido son tales como grandes precipitaciones níveas en alta montaña, períodos importantes de sequías, desarrollo de poblaciones en la vera de los ríos y sus industrias relacionadas, el ordenamiento territorial o la falta de él, dinámica de meandros, dinámica de sedimentos, dinámica general de los ríos que lo conforman. La morfodinámica de los segmentos del valle del río Negro se ve condicionado por el funcionamiento de las represas que controlan los caudales que fluyen a lo largo de los segmentos del valle y que se erogan en el estuario hacia el océano Atlántico. Previa a la actividad de las represas el caudal del río Negro era mayor al que eroga en años posteriores a la puesta en marcha de las represas. Esto repercute en un menor aporte de sedimentos desde el Alto Valle a los dos sucesivos, desarrollo de islas inestables, cambios de cursos dentro del sistema de meandros, siendo más notorio en el Valle Medio. El año hidrológico de un río comienza cuando se registra el mínimo caudal medio mensual. Para el río Negro el año hidrológico comienza en el mes de marzo y termina en febrero con un pico

máximo medio en Julio de 1377 m³/s y otro en octubre de 1375 m³/s., afirmación que acompaña Romero (2016). Además, el caudal máximo observado en octubre presenta un desfase nulo con el máximo de precipitación. Este máximo está asociado no solo a la precipitación sino también al agua proveniente de deshielo si lo hubiera. Existe una clara interdependencia entre los parámetros de caudal, escurrimiento y derrame, estos a su vez impactan la dinámica de sedimentos del sistema fluvial. Se observa, aunado a esta etapa del trabajo de investigación, que puede existir un efecto de aguas claras, mayor acarreo y erosión del Alto Valle, resultando así en una mayor cantidad de sedimentos de márgenes y fondo acarreados hacia los valles inferiores. Se propone continuar el estudio analizando el aporte de sedimentos en el valle Medio, en los sistemas de meandros de llanura, así como acarreo hacia el Valle Inferior y aportes al estuario.

6.2 Morfometría del valle del río Negro.

Con el propósito de caracterizar al río Negro como parte del Sistema Fluvial del Río Negro (SFRN) es necesario obtener expresiones numéricas de las características del relieve y desarrollar entonces relaciones cuantitativas entre las variables morfométricas e hidrológicas (Schumm, 1977). Las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco aplicado para la planificación y gestión de los recursos (Senisterra et al., 2014). La cuenca hidrográfica del río Negro es nuestra unidad fundamental, aquí se genera la recolección y distribución de agua, solutos y sedimentos en su paisaje fluvial. El análisis morfométrico de esta cuenca hidrográfica dentro del SFRN implica la cuantificación de parámetros como la zona de drenaje, el gradiente y el relieve para comprender el comportamiento de las aguas superficiales de la cuenca de drenaje. Este tipo de análisis proporciona una descripción cuantitativa y caracterización de las cuencas hidrográficas (Aouragh y Essahlaoui, 2014).

El desarrollo de técnicas morfométricas fue un avance importante en la descripción cuantitativa de la geometría de las cuencas de drenaje y su red, que ayuda a caracterizar la red de drenaje, a comparar las características de varias redes de drenaje y a examinar el efecto de variables como la litología, la estructura de la roca, las precipitaciones, etc. (Esper Angillieri, 2008; Magesh et al., 2011; Bali et al., 2012). El querer conocer el comportamiento del SFRN es porque generalmente a través de éste podemos entender el marco prevaleciente de clima, geología, relieve y tectónica de una cuenca y la interrelación entre los parámetros básicos de drenaje (Thomas et al., 2012).

Un mapa de drenaje de una cuenca proporciona un índice confiable de permeabilidad de las rocas y da una indicación del rendimiento de la cuenca (Sing et al., 2013). Para todo esto se estudiaron las características de forma del SFRN y de la cuenca del río Negro resumiéndose en aquellos parámetros que contemplan la forma de estas (Docampo et al., 1990). Numerosos estudios clasificaron las formas de estos sistemas empleando variables morfométricas tales como aspecto, pendiente, curvatura, rugosidad, índice de posición topográfica, entre otros, ya sea individualmente o combinando dos o más variables (Sánchez Serrano et al., 1998; Weiss, 2001; Bolongaro-Crevenna et al., 2005; Ardiansyah et al., 2006; Bayona et al., 2006; Drăguț et al., 2006; Germaine et al., 2006; Tagil et al., 2008; Cuomo et al., 2010; Clennon et al., 2010; Castillo et al., 2017). Como se menciona en el trabajo de Piccolo y Perillo, 1999, algunos de los ríos patagónicos como el Colorado, el Negro y el Santa Cruz, son de los más grandes del país en cuanto al tamaño de los valles y la descarga de los ríos, y complementando esta afirmación podemos ver como a través del análisis morfométrico del río Negro podemos decir que se trata de un río de cuenca muy grande en su clasificación de Campos Aranda (1992), y dentro del SFRN el que mayor longitud desarrolla. Sumamos que esto va de la mano con los resultados obtenidos para el resto de los parámetros de formas, como lo son el KC, el cual nos respalda el desarrollo en el territorio del río Negro es el que define al sistema en su forma alargada e irregular, a lo que se suma en consistencia el Ca, el Kf y Re. Además, se desarrolla el SFRN como un sistema complejo, joven, con un orden mayor de 5 que corresponde justamente al río Negro y suma a sus altas dimensiones de descarga y drenaje. No es posible realizar una consecuencia a través del grado de correlación entre estos índices, ya que cada uno arroja de manera independiente sus valores para este tipo de forma de cuenca. Una cuenca con un factor de forma Kf bajo se encuentra menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma, por lo que muestra la relación inversa con el cuadrado de la longitud axial y como una relación directa con el pico de descarga (Gregory y Walling 1973). Un valor de Kf superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o de un río principal corto y, por consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. Entonces, a través del análisis de los resultados se presume que las posibilidades de una gran inundación en el marco de la planicie de inundación o más allá de los límites de esta planicie son bajas, ya que los valores de Kf así lo exponen.

Mediante la clasificación jerárquica de las redes de drenaje según el método de Strahler-Schumm se obtuvo que los ríos que conforman el SFRN alcancen un orden mínimo de 1 y

máximo de 5 con el río Negro. Cabe destacar que gran parte de los que aparecen como tributarios de orden 1 dentro de los valles del río Negro son en realidad bifurcaciones del propio sistema anastomosado que domina el valle prácticamente desde Primera Angostura hasta la confluencia. Las características morfométricas del río Negro se vinculan con su jerarquía.

Es de gran importancia destacar que se está frente a un clima árido-semidesértico y para el río Negro son pocos los cauces de orden 1 que realmente aportan al flujo principal, sus épocas de actividad son muy esporádicas y están más relacionadas a eventos climáticos torrenciales que al sistema de aporte continuo de flujo al cauce principal. El valor de R_b , normalmente, toma valores entre 3 y 4 (Hynes, 1970) o entre 3 y 5 (Strahler, 1977), tomando valores altos como indicadores de torrencialidad moderadamente alta, típicos de regiones de relieves fragmentados y los valores bajos como indicadores de regiones llanas o a nivel (Horton, 1945). El SFRN según las definiciones presentadas se encuentra en un valor de transición entre una zona de alta torrencialidad a una zona de llanura. El hecho de que la cuenca del río Negro sea la más alargada de las tres que conforman el SFRN, y que presenta un valor un R_b bajo, se corresponde con las bajas pendientes que presenta la cuenca en su tramo medio y bajo (Senciales, 1999). Además, a considerar el valor del parámetro D_b , que está controlado por las características litológicas (especialmente la permeabilidad), la estructura de los materiales, tipo y densidad de vegetación y clima (Decampo et al., 1990). Los valores inferiores a la relación de 1 km por cada km^2 , indica que la densidad de drenaje es baja, siendo una relación mayor a esos valores consideradas densidades moderadas tendientes a altas. Para los parámetros considerados, el SFRN se califica tanto por la clasificación de Fuentes Junco (2004), como Delgadillo y Páez (2008), como clase de red de drenaje baja, manteniendo el Negro, la misma clasificación. Al igual que la D_d , la F_u presenta la misma relación entre el SFRN y el río Negro. La morfología de la red, la densidad de drenaje y los órdenes jerárquicos alcanzados son parámetros fundamentales de estudio que dependen de los caracteres geomorfológicos y bióticos de un sistema (De Matauco, 2004).

Strahler (1952) definía el análisis hipsométrico como “*el estudio de la distribución de las áreas de terreno de una región según su altitud*”, introduciendo el concepto de curva hipsométrica porcentual, es decir, una cuyas unidades se hallan expresadas en términos relativos. Propuso calcular la integral hipsométrica, y luego, desarrollar una clasificación del estado evolutivo de las cuencas según su valor. Clasificó las cuencas en inmaduras con valores mayores a 0,6, en equilibrio con valores que van entre 0,6 y 0,35 y seniles con valores menores a 0,35 (Fleite et al., 2017). En el análisis hipsométrico se toma la Curva Hipsométrica que representa la proporción relativa del área bajo una altura dada y constituye una herramienta muy útil para

caracterizar el relieve dentro de la cuenca de drenaje (Strahler, 1952). Para analizar el estado de evolución de las cuencas se observa la forma que toma la curva. Los relieves jóvenes presentan una curva convexa, los relieves en estado de madurez desarrollan una curva en forma de “S”, y cuencas cóncavas se darán en zonas con relieves peniplanizados, con un desarrollo completo a las zonas de cabecera o ritrales y zonas bajas o potamales (Duarte et al., 1971, Campos 1985; Campos et al., 1993, Ruiz 1996, Habit et al., 2007, Ortiz-Sandoval et al., 2009), siendo cuencas maduras (Strahler, 1952). Luego el valor de IH para el SFRN toma el valor de 0,34. De esta manera el SFRN se puede clasificar como sistema fluvial senil inicial. Harlin (1978) y Luo (2000) propusieron la interpretación de los estadísticos base como curtosis y asimetría en términos de erosión y pendiente de la cuenca. La curtosis de la curva hipsométrica está relacionada con el efecto de la erosión en los sectores de cabecera y desembocadura de la cuenca, siendo para el SFRN de 0,24 y en cuanto al sesgo o asimetría el valor arrojado por la curva hipsométrica fue de 0,81, dato asociado a la erosión en la cabecera del sistema.

Para el análisis del relieve del SFRN y del río Negro se toma que según Strahler (1964), la descripción sistemática de la geometría de una cuenca de drenaje y su sistema de canales requiere la medición de los aspectos lineales de la red de drenaje, los aspectos de área de la cuenca de drenaje y los aspectos de relieve (gradiente) de la red de canales y pendientes del terreno, que fueron analizadas hasta el momento. Las características topográficas como la pendiente afectan la pérdida de suelo y el consiguiente aporte de sedimentos al sistema fluvial, lo que demuestra que las cuencas con mayores pendientes son más vulnerables a la erosión hídrica que las tierras con menores pendientes o planas (Hudson, 1981). Un alto valor de R indica la alta gravedad del flujo de agua, la baja permeabilidad y las condiciones de alta escorrentía. Por lo que un bajo valor de R indica terrenos más planos, con flujos más lentos, mayor permeabilidad con aporte subterráneo y menor escorrentía. El río Negro, por lo tanto, expone a través de su valor de R un relieve marcado por flujos moderados, permitiendo la formación de sistemas meandrosos, mayor infiltración hacia aguas subterráneas y menor escorrentía. Ambos valores de R demuestran y respaldan las características descriptas para el SFRN y para la cuenca del Negro por el factor R. Un valor elevado de R para el SFRN habla entonces de pendientes pronunciadas, escarpadas, flujos rápidos, baja infiltración y gran escorrentía, mitigados los impactos que esto genera por la influencia de niveles de base definidos por lagos naturales y diques desarrollados a lo largo del SFRN, en las cuencas del Limay y el Neuquén. Un valor moderado a bajo para el río Negro expone las características

nuevamente de meandroso, flujos moderados, gran infiltración y baja escorrentía, permitiendo el establecimiento de vegetación.

El índice de disección es un parámetro que expone el grado de disección o erosión vertical y las etapas de desarrollo del terreno o del paisaje para una cuenca hidrográfica determinada (Singh y Dubey, 1997). En promedio, los valores de Dis varían entre 0 (ausencia total de disección/erosión vertical y, por lo tanto, dominio de la superficie plana) y 1 (en casos excepcionales, acantilados verticales, puede ser en la escarpa vertical de la ladera de una colina o en la orilla del mar). A lo excepcional del río Negro se le suma ahora el concepto de máxima erosión vertical, donde a lo largo de su único cauce principal lleva un Dis tendiente a 1 llegando a desaguar al mar acompañado lateralmente por terrazas imponentes y acantilados formados por la erosión fluvial y eólica. El valor de la robustez es para el SFRN de 0,14, y para la cuenca del Negro es de 0,05. Se destacó cómo el valor de Rn es mayor para los cursos de menor orden, indicando mayores pendientes y flujos más rápidos. Este valor tiende a cero a medida que el orden aumenta, llegando al río Negro de orden 5 con un Rn de 0,05 con bajas pendientes y flujos moderados a lentos.

Para la cuenca del río Negro los valores del MNR van de 0 a 2, siendo mucho mayor el área representada por valores de 0,7 a 0. Lo que indica menor aporte de detritos al flujo principal. Sin embargo, los valores observados de MNR en el SFRN, en las cuencas superiores del sistema fluvial, presentaron grandes extensiones representadas por valores superiores a 1, tendientes a 2. De esta manera se resalta la mayor susceptibilidad al aporte de detritos. El índice de rugosidad del terreno (TRI) nos provee un rápido y objetivo análisis de la heterogeneidad del terreno (Riley et al., 1999). El río Negro presenta valores de TRI que indican una mayor superficie a nivel o casi a nivel. Además, se observa niveles mayores de rugosidad en la margen norte del río. En lo referido al SFRN observamos niveles mayores de rugosidad llegando a altas rugosidades. El coeficiente de correlación de Pearson muestra una alta correlación entre el TRI con la pendiente, demostrando así su relación directa con el relieve. El análisis de la pendiente y el aspecto suman información al sistema de relieves y, por lo tanto, importancia en cuanto a la planificación de asentamientos, agricultura, estructuras de ingeniería, hablando del ordenamiento territorial en general (Smith, 1950). El 33% del SFRN está representado por una superficie plana o tendiente a plana. Luego el 25% de la superficie presenta una dirección de cara al norte con una pendiente moderada y el 39% con dirección de cara también al norte, pero con pendientes pronunciadas. En el SFRN se resaltan las caras predominantes con dirección norte, mientras se representa la gran planicie que se desarrolla a lo largo del río Negro con

algunas porciones con mayores pendientes de moderadas a escarpadas en zonas de terrazas fluviales. Entonces para el río Negro se presenta una gran extensión con pendientes tendientes a cero: planas. Solo en los márgenes, dando forma a un sistema meandroso y delimitando la planicie de inundación, se encuentran pendientes moderadas en los márgenes sur y pendientes más pronunciadas en los márgenes norte del río. El aspecto a lo largo del río respeta el del sistema fluvial al que pertenece y son las pendientes moderadas con cara al norte y pendientes pronunciadas en menor porcentaje también con cara al norte las que se destacan. En ambos márgenes las terrazas fluviales delimitan o van formando pendientes cada vez más pronunciadas e inestables con cara al suroeste y noreste en porcentajes menores al 3% considerando todo el SFRN.

Los efectos combinados de la longitud de la pendiente (L) y el grado de inclinación de la pendiente (S) son también conocidos como el factor topográfico (LS) y caracterizan el tipo de relieve en que tendrán lugar los procesos de pérdida de suelo debido a la inclinación, longitud, además de proporcionar información sobre la forma de la pendiente. El factor L representa la longitud de la pendiente y está asociado al factor S (inclinación) tiene una gran influencia en la estimación de las pérdidas de suelo (Souza et al., 2003), ya que cuanto mayor es la extensión de la pendiente mayor será la velocidad de escurrimiento. Los mismos autores sugieren que la comprensión de las formas del paisaje puede ayudar en la identificación de las rutas preferidas de los flujos de agua y la variabilidad espacial de las propiedades del suelo. En relación a las variables topográficas se puede decir que los valores mayores de TWI se relacionan a una mayor captación de agua por parte del suelo. Esto permite mayor rendimiento de las actividades antrópicas o del asentamiento de vegetación y mayor capacidad de retención de sedimentos. Luego, se presenta el TWI inverso al factor LS, donde se observaron valores más bajos, lo que puede deberse a mayor deposición de partículas de suelo (Castro Franco et al., 2012).

Entonces, a modo de conclusiones particulares a los parámetros morfométricos del SFRN y del río Negro, denotamos que el procesamiento de la información digital a través de sistemas de información geográfica, el análisis de superficies fluviales a través de un modelo digital de elevación, son herramientas que nos permiten llevar adelante este tipo de estudios, y caracterizar ambientes geomorfológicos, (Viramonte et al., 2007; Moreno et al., 2008). Se pudo evaluar el funcionamiento hidrológico y la descripción de una cuenca del SFRN de forma coherente y sistematizada (Salas Aguilar et al., 2011). Los procesos de transporte de sedimentos en los ríos son altamente no lineales en el tiempo y espacio y se caracterizan por un

comportamiento umbral y mecanismos de retroalimentación (Bracken et al., 2015; Onderka et al., 2012). Así se evaluaron los parámetros de forma y jerarquía de cauces. De esta manera se buscó comprobar que el sistema fluvial estudiado se rige por las leyes de Horton, esto es, una disminución creciente del número de segmentos al aumentar el grado, y una unidireccionalidad creciente; esto representa un ejemplo de la estrategia que gobierna la organización física del espacio en las cuencas (Decampo et al., 1990). Con respecto a la jerarquización también da idea del comportamiento en relación a los flujos de cada uno de los cauces que, normalmente, entre los segmentos de 3° y 4° orden, un río pasa de ser un sistema heterotrófico a autotrófico (Vannote et al., 1980) y, por otro lado, sitúan en el paso del 4° al 5° orden la zona en donde la proporción de material orgánico disuelto o en forma coloidal substituye al material orgánico grosero predominante en segmentos de río de orden inferior (Anderson y Sedell, 1979). Dentro de la cuenca del río Negro el único activo es el propio río Negro, siendo cada uno de los que conforman la cuenca, los tributarios menores, inactivos, y solo un número mínimo de ellos intermitentes relacionados a los eventos climáticos estivales en caso de los naturales o canal continuo paralelo al curso del río de carácter antropogénico. Esta característica lo hace único en su tipo, considerando sus parámetros morfológicos generales y su orden. Es importante conocer cada una de las características morfométricas de un sistema fluvial para entender, como afirma Broothaert et al., (2014), la linealidad a escala de cuenca entre el forzamiento externo (antrópico) y la respuesta natural del sistema a éste.

6.3 Composición geoquímica elemental de los sedimentos del río Negro.

Como vimos hasta el momento el SFRN y el río Negro son sistemas particulares. Históricamente se asume que los sedimentos y los contaminantes asociados y erosionados en la cuenca alta de un determinado sistema fluvial son transportados a través del sistema hasta llegar a la desembocadura. Sin embargo, este transporte no es uniforme ni continuo a lo largo del sistema (Frissell et al., 1986; Kishi et al., 1987; Grant et al., 1990, 1995; Montgomery y Buffington, 1993; Brierley y Fryirs, 2001, 2005; Miller et al., 2012, 2013). Esta no uniformidad está ligada a las características del sistema fluvial tales como el poder erosivo, erosiones en cabecera, flujos moderados, tendiendo a formación de meandros con gran infiltración y con menor escorrentía, construcciones de represas, que pueden concluir por ejemplo en efectos de aguas claras. Tanto la caracterización morfométrica, como la ya mencionada caracterización climatológica e hidrológica, nos permite concluir en que es de gran importancia profundizar en el conocimiento de que es lo que se está transportando e infiltrando a sistemas subterráneos o movilizándose desde la confluencia a la desembocadura al océano Atlántico. De esta manera

surge la necesidad de conocer la geoquímica de los sedimentos transportados y sedimentados en el río Negro y, a través de esta, dar inicio al conocimiento de que elementos potencialmente contaminantes tenemos e iniciar la búsqueda de su origen natural o antrópico.

El movimiento de los contaminantes a través de un sistema fluvial no solo depende de las condiciones de prácticas de gestión de los recursos, sino también de la estructura jerárquica (morfométrica) de la cuenca y de la conectividad entre las zonas de proceso y otras unidades del sistema (Miller et al., 2013). Por ejemplo, es necesario resaltar en esta instancia, que como expresa Ruiz et al. (1996), las variaciones de pH y salinidad, conductividad eléctrica en el sistema fluvial pueden provocar movilización y re-suspensión de especies químicas acumuladas en los sedimentos, magnificando incluso su efecto tóxico, tal como es el caso de los metales pesados. Y en base a esto, se sumó entonces el análisis elemental del río Negro. Los sedimentos en sistemas fluviales están constituidos principalmente por la fracción sedimentable, orgánica y mineral de los sólidos suspendidos (Del Castillo, 2008). El aumento en el caudal y los cambios en la dinámica fluvial pueden afectar drásticamente la configuración de su lecho, así como la distribución del sedimento, las plantas y la fauna a lo largo del cauce (Ruiz et al., 1996). Estos cambios de dinámica, ya sea dados por la construcción y puesta en marcha de las represas o el aumento de instituciones privadas de producción agroindustrial entre otras, traen consigo efectos tanto positivos, en caso de mayores caudales que sustentan el riego de sistemas agroeconómicos, como negativos, por afluencia de contaminantes que ingresan al sistema fluvial, por vía natural o antrópica, escorrentía superficial o vuelcos accidentales o intencionales. Muchos de estos contaminantes quedan retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce, causando efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos (Esteves et al., 1996; Bohn et al., 2001), o quedando retenidos en sistemas abandonados por el sistema fluvial y quedando un riesgo potencial. El SOD es un proceso que se tiene en cuenta al momento de estudiar el balance de oxígeno en la corriente siendo de gran importancia al relacionar estos valores con el deterioro en la calidad de las aguas, así como en el ecosistema de influencia directa. Por lo cual se propone como método a seguir en un paso siguiente al presente estudio, para poder ir completando la información de caracterización y comportamiento de los elementos en la cuenca del río Negro.

Los elementos mayores y traza son aportados al medio por procesos naturales como resultado del intemperismo de la corteza continental (Rodríguez Figueroa, 2010) aunque también existen aportes debido a las acciones antrópicas. Se generan potenciales depósitos de elementos naturales o típicos de sedimentos como son el C, Si, O, Ca y Mg, que en el caso de la presente

tesis se presentan en todas las muestras, con una leve tendencia a aumentar su concentración hacia el valle inferior y de la mano en el caso del Ca y el Mg con la formación de las llamadas aguas duras por la rápida formación de carbonatos que a su vez aumentan con las texturas finas. Cada uno de los elementos detectados tiene un gran valor científico para el estudio de los sistemas fluviales, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar en las zonas próximas a su cauce. Al generarse inundaciones, crecidas, aumentos controlados de caudales, entre otros eventos fluviales, cada uno de los elementos entra en contacto con estas corrientes puntuales, eventuales o perennes poniéndose en circulación, alterando de manera positiva o negativa la dinámica general del ecosistema fluvial (Mariani y Pompêo, 2008).

Tanto los elementos llamados esenciales (hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), cobalto (Co), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y níquel (Ni)) como los no-esenciales (arsénico (As), plata (Ag), mercurio (Hg), plomo (Pb) y cadmio (Cd) entre otros), son grupos de elementos potencialmente tóxicos para diferentes ecosistemas (Förstner y Wittman, 1983), aún en bajas concentraciones ejercen efectos negativos sobre el sistema (Rainbow, 1997). Los efectos nocivos (tóxicos) dependen principalmente de la especie química y de su concentración en la fase más lábil (Kontas, 2008). Gibbs (1970) expone que los posibles mecanismos principales que controlan la química del agua de un determinado sistema fluvial se encuentran asociados también a diferentes matices de un sistema dominado por la roca basamento sobre la que se desarrolla el sistema fluvial. Por ejemplo, a partir de diferentes sectores industriales (ej. explotación minera y petrolera que se desarrollan en grandes extensiones de Río Negro y Neuquén) generan efluentes líquidos que poseen concentraciones de bario que sobrepasan la normatividad ambiental (Quintero et al., 2010). Además, sumado a la geología de la cuenca de drenaje del río Negro, el relieve y el clima determinan las aguas cuyas concentraciones de sales disueltas están estrechamente vinculadas al contenido relativo de sulfatos (Depetris, 1980) y los elementos químicos disponibles a partir de los aportes desde los sistemas biológicos, sedimentos, rocas, industrias, etc.

La llegada del Cu al medio acuático y, posteriormente a los depósitos sedimentarios del río, va ligada a usos diversos en la agricultura y la industria. Por tanto, como se resalta el Cu aumenta su concentración en el oasis agrícola del Valle Medio y por tanto su ingreso al sistema fluvial puede deberse al empleo de fertilizantes y fungicidas formulados a partir de Cu, en las áreas de cultivo, al ingreso de lixiviados provenientes de depósitos de basura cercanos a las riberas del río que, por lo general, se ubican en lotes baldíos utilizados como basureros a cielo abierto, a la

quema de desechos sólidos en las cercanías del río, al ingreso de aguas residuales domésticas, al uso de combustibles fósiles y a fuentes naturales como vulcanismo, vegetación en descomposición e incendios forestales (Navarro y Sabater, 2004).

El Mo es un elemento clave en el estudio de sedimentos de fondo, gracias a que una alta concentración representa una condición de bajos potenciales redox del ambiente sedimentario fluvial y oceánico. En la corteza se encuentra en rangos de 1-2 ppm, y se aporta al ambiente fluvial por la meteorización de rocas llegando al océano en diferentes complejos químicos en relación con el S y el Fe, además del aporte por parte de la materia orgánica en descomposición. En el muestreo podemos destacar su presencia en sedimentos anegados de meandros activos y sedimentos de fondo del estuario del río Negro. El Mo presenta una relación diagonal con el vanadio (V) y el renio (Re) en la tabla periódica, un ejemplo de ello es que, en sus estados de oxidación más altos, estos elementos forman oxoaniones tetraédricos VO_4^{3-} , MoO_4^{2-} , y ReO_4^- ; el renio puede encontrarse asociado a minerales de disulfuro de molibdeno (molibdenita, MoS_2). Por ende, es común encontrar en la literatura trabajos donde se relacionen estos elementos como indicadores de procesos redox (Crusius et al. 1996; Morford y Emerson 1999; Pearce et al., 2008). El Mo es fácilmente removido de la columna de agua en ambientes anóxicos - euxínicos, con altas concentraciones de H_2S , de modo que el enriquecimiento de Mo en sedimentos es considerado diagnóstico de condiciones de depositación reductoras (Calvert y Pedersen, 1993; Anbar, 2004; McManus et al., 2005; Tribovillard et al., 2006; Montero-Serrano et al., 2009).

La presencia de B y Zn, presente en meandros activos en zona de actividad agrícola, podría deberse principalmente al uso de plaguicidas y de fertilizantes en suelos de zonas cercanas al cauce receptor, que luego pasan al río por escorrentía superficial en época de lluvias o a través de las aguas de riego. El B también puede ser liberado como consecuencia de la erosión natural de suelos y rocas; mientras que el zinc puede ingresar por precipitación atmosférica o a través de la quema de desechos sólidos en lotes baldíos cercanos al río (ATSDR, 1992; ATSDR, 2005).

De particular importancia son los metales pesados (elementos químicos con una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 en su forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos) (Navarro et al., 2007) y pesticidas, a los cuales se les reconoce como sustancias que al entrar en contacto con el cuerpo de agua, se precipitan y concentran en el lecho del río, o bien, son absorbidos por la biota acuática a través de las

membranas biológicas dada su elevada afinidad química al grupo sulfidrido de las proteínas (Arce, 2007). Allí las moléculas sufren diversos mecanismos de transformación o degradación química y biológica que pueden alcanzar niveles tóxicos en la medida en que su diseminación y concentración en el fondo acuático generan productos nuevos y metabolitos aún más tóxicos difíciles de degradar. Por tanto, altamente persistentes en el ambiente, afectando la vida tanto vegetal como animal y, en consecuencia, toda la cadena trófica, llegando incluso a poner en riesgo la salud humana (Mancera y Alvarez, 2006). Una consideración de importancia que debe tenerse presente es que la distribución de metales pesados en los sedimentos es afectada por la mineralogía y por la composición del material suspendido, por la actividad antrópica y por los procesos *in situ*, tales como la depositación, la absorción y el enriquecimiento por acción de los microorganismos (Hamza AL-Robai, 2013). Además, la forma química como se combine el elemento es factor fundamental para encontrarlo en los sedimentos o en el cuerpo de agua. Así, en ambientes dulceacuícolas, el Cd está íntimamente asociado con la materia coloidal como CdCl_2 y CdSO_4 ; mientras que los sedimentos son el principal sumidero de Hg en los sistemas acuáticos, principalmente debido a su asociación con la materia orgánica y minerales de óxidos superficiales (Marrugo y Paternina, 2011). El metilmercurio (CH_3Hg) es la forma más tóxica del Hg y la más fácilmente bioacumulada y biomagnificada en las cadenas alimenticias (Gaona, 2004).

Si bien sobre el SFRN las actividades mineras se centran en extracción de bentonita, cuarzo, áridos, uranio, vanadio, yeso, basalto, arenas silíceas, halita, asfaltita, carnotita, entre otras, generando aportes de diferentes elementos de maneras directas e indirectas. Los valores obtenidos para el manganeso son típicos en sedimentos derivados de suelos volcánicos y su presencia se debe principalmente a procesos naturales como erosión de rocas y material parental (Wilcke et al., 2000). La actividad humana tiene poca incidencia sobre la concentración de manganeso presente en el cauce y en los fondos sedimentarios y responde principalmente a operaciones muy específicas de minería y plantas procesadoras de hierro y acero (Herrero-Núñez et al., 2013), actividades que no se desarrollan en la cuenca analizada.

Entonces, los elementos analizados al momento pueden presentar tanto procedencia natural como antrópica, y para reforzar Palacios-Baena (2007) expone que en el primer caso se dan mediante procesos de meteorización-sedimentación provenientes de roca madre, formaciones o afloramientos, como así también provenientes de generación o descomposición de materia orgánica. En el caso de la antrópica, surgen de las actividades como la agronomía, por la utilización de fertilizaciones no orgánicas, generación de material particulado, etc. y de

extracción de recursos no renovables como minerales o hidrocarburos, hecho que refleja el estado y calidad del recurso hídrico de una región.

Se considera a los sedimentos como sumideros o fuente de los elementos químicos que se encuentran en diferentes medios y, dentro de estos, los flujos e interacciones biogeoquímicas son reversibles, complejos y variables. Los sedimentos fluviales, en algunos sitios, forman un acorazamiento del fondo que determina tanto los sedimentos gruesos disponibles para ser transportados (Wilcock y Crowe, 2003) como el intercambio de sedimentos finos entre la columna de agua y el lecho (Grams y Wilcock, 2007). Es en la capa superficial donde también se produce el intercambio de masa disuelta entre el lecho y la columna de agua (Boudreau, 1997). Entonces sumado a los mapas geoquímicos de cualquier sistema fluvial se debe tener en cuenta factores como el tipo y ubicación de los sedimentos. La ubicación de estos potenciales depósitos de elementos naturales o típicos de sedimentos como son el carbono, silicio, oxígeno o magnesio, como así también metales pesados o contaminantes en general, suma un gran valor científico para el estudio de los sistemas fluviales, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar en las zonas próximas a su cauce. Al generarse inundaciones, crecidas, aumentos controlados de caudales, entre otros eventos fluviales, cada uno de los elementos entra en contacto con estas corrientes puntuales, eventuales o perennes poniéndose en circulación, alterando de manera positiva o negativa la dinámica general del ecosistema fluvial (Mariani y Pompeo, 2008).

Una consideración de importancia que debe tenerse presente es que la distribución de metales pesados en los sedimentos es afectada por la mineralogía y por la composición del material suspendido, por la actividad antrópica y por los procesos *in situ*, tales como la depositación, la absorción y el enriquecimiento por acción de los microorganismos (Hamza AL-Robai, 2013). Los metales pesados y pesticidas son reconocidos como sustancias que, al entrar en contacto con el cuerpo de agua, se precipitan y concentran en el lecho del río, o bien, son absorbidos por la biota acuática a través de las membranas biológicas (Arce, 2007). Es de esperar un volumen considerable en cuanto al aporte de estos elementos que una vez ingresados al sistema las moléculas sufren diversos mecanismos de transformación o degradación química y biológica que, como ya se mencionó, pueden alcanzar niveles tóxicos en la medida en que su diseminación y concentración en el fondo acuático, generan productos nuevos y metabolitos aún más tóxicos difíciles de degradar y, por lo tanto, altamente persistentes en el ambiente, afectando la vida tanto vegetal como animal y, en consecuencia, toda la cadena trófica, llegando incluso a poner en riesgo la salud humana (Mancera y Álvarez, 2006).

De manera esperable, si se tiene en cuenta lo planteado anteriormente, a partir de los resultados en esta investigación, evidenciando mayor abundancia de los elementos mayores (Mg, Al, K, Ca, Fe y Cl), e incluso de algunos menores (Ag, Mn, P, Ni, Mo, Ba, Ar) en los sedimentos a lo largo del sistema fluvial y el estuario. A tener en cuenta, el río Negro recorre diferentes territorios lixiviando distintas geologías, recibiendo aportes de ciudades disímiles y de nuevo diferentes actividades antrópicas, lo que justifica la diferenciación en los aportes de diferentes tipos de elementos y sus depósitos (Ortiz-Romero, 2015). En los estudios físicoquímicos de sedimento se definen las mayores proporciones o dominancia de fracciones intermedias entre arenas y arcillas, con conductividades que van de valores medios, 4857 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a máximos de 44600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en un meandro abandonado antiguo sin influencia antrópica en costa norte del Valle Medio, a mínimos de 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$ también en un meandro abandonado antiguo, pero con presencia de actividad antrópica actual también en costa norte del Valle Medio. En cuanto a valores de pH se presentan valores medios de 7,9 y máximos de 10 en meandro abandonado en costa sur del Valle Medio y mínimo de 4,5 sobre costa norte del estuario.

Los elementos químicos de base de los sedimentos a lo largo del río Negro muestra una composición principal de elementos tales como C, O y Si, sumados a porcentajes menores de Na, Mg, Cl, Fe, S, K y Ca. Luego se detectaron en sedimentos provenientes de varios puntos variaciones en concentraciones bajas, pero presencia de elementos tales como Ti, Ag, P, Mn, As, Ba, Mo, Ta, Ga, Zn, Cu y Ge. Algunos de estos elementos son de procedencia natural, es decir de sedimentos de detritos de formaciones o afloramientos. Otros son provenientes de la actividad antrópica que se desarrolla en los valles, como la agronomía y actividades de extracción minera y petrolera. Para concluir en la procedencia exacta de cada uno de estos elementos, determinados tanto en sedimentos a lo largo del valle de río Negro y como del estuario, se propone dar continuidad al estudio de formulación de mapas geoquímicos que permitan determinar la procedencia y concluir en el origen de los elementos como aporte de un compuesto determinado dándole así propias características inocuas o tóxicas en el sistema fluvial con mirada puntual en las zonas de mayor aporte de materia orgánica que pueda desprender la generación de por ejemplo trihalometanos. Se propone continuar este análisis desde el punto de vista del origen puntual de los elementos. Radicando su importancia en poder concluir en base a lo destacado del aporte de sedimentos desde el Alto Valle a los inferiores, la procedencia de estos elementos, sus características contaminantes, y el riesgo natural y antrópico a su exposición.

6.4 Conclusión general.

En un comienzo se planteó la hipótesis de que la evolución del río Negro a lo largo del territorio ha sido significativamente influenciado por factores antrópicos referidos a la construcción de represas y el aporte de elementos químicos por el desarrollo urbanístico y de diferentes industrias. Para poder llegar a confirmar la misma se han desarrollados bases de conocimiento sobre los tres grandes tópicos que influyen de manera natural y antrópica. Estos tópicos son en primer lugar las influencias climáticas, luego la caracterización morfométrica del sistema fluvial y por último el aporte natural y antrópico de elementos a los sedimentos. La misma se confirma y se respalda en cada uno de los resultados obtenidos a lo largo del presente estudio espacio-temporal de la morfometría del río Negro.

6.4.1 Conclusiones generales sobre los factores climáticos e hidrológicos en la cuenca del río Negro.

Dentro del período analizado (1908 - 2009) y teniendo en cuenta que año a año, desde 2009 a la actualidad se pueden ir extendiendo estos análisis en futuros estudios. Vemos que el Valle Medio del río Negro es el que presenta las mayores precipitaciones, y estas de una manera más representativa dentro de las típicas características de la Diagonal Árida.

El Valle Inferior no es representativamente el más lluvioso de los valles, ya que no se puede tomar como tal siendo que acorde a los valores obtenidos para cada valle. Es el Valle Medio el que presenta características que pueden definirlo como el más lluvioso para lo que refiere a precipitación media anual histórica en el período estudiado.

Existe un efecto mediano del ENSO sobre la precipitación para el mes de julio, mes que se considera el de mayor sequía para los tres valles analizados del río Negro. La fuerza de la relación entre ENSO y clima regional ha mostrado una considerable variabilidad durante el siglo XX, posiblemente debido a cambios en el comportamiento de ENSO y/o a la influencia de otros factores.

Si bien el índice de Niño 3.4 es el índice más utilizado para definir los eventos ENSO, es el NINO 3 el que demuestra el efecto ENSO representado en los resultados del presente trabajo. Debido a esto el desarrollo de presiones más bajas sobre el Pacífico central y oriental, a lo largo de la costa occidental de América del Sur, partes de América del Sur cerca de Uruguay y partes del sur de los Estados Unidos en invierno, son las responsables de las condiciones particulares del clima que se da en el área de estudio.

6.4.2 Conclusiones sobre la morfometría del río Negro

Tanto el SFRN como el río Negro son considerados como muy grandes, de forma alargada e irregular; con bajas probabilidades de desarrollo de procesos de inundaciones más allá de los límites de las planicies.

Se considera a la cuenca del río Negro como de orden 5 y se destaca que gran parte de los que aparecen como tributarios de orden 1 dentro de los valles del río Negro son en realidad bifurcaciones del propio sistema anastomosado que domina el valle prácticamente desde Primera Angostura hasta la confluencia.

El río Negro mantiene la misma relación de longitud de drenaje por unidad de superficie que el SFRN como sistema fluvial senil inicial, con marcada erosión en la cabecera del sistema. El relieve se desarrolla entonces marcado por flujos moderados, permitiendo la formación de sistemas meandrosos, mayor infiltración a aguas subterráneas y menor escorrentía permitiendo el establecimiento de vegetación.

A lo excepcional del río Negro se le suma ahora el concepto de máxima erosión vertical, donde a lo largo de su único cauce principal de orden 1 lleva un Dis tendiente a 1 llegando a desaguar al mar acompañado lateralmente por terrazas imponentes y acantilado formados por la erosión fluvial y eólica y resaltando una mayor susceptibilidad al aporte de detritos

Para el río Negro se demuestra una mayor superficie a nivel o casi a nivel. Además, se observa niveles de mayor rugosidad en la margen norte del río. En lo referido al SFRN vamos observando niveles mayores de rugosidad llegando a altas rugosidades.

6.4.2 Conclusiones sobre la composición geoquímica elemental de los sedimentos del río Negro.

Se evidencia mayor abundancia de los elementos mayores (Mg, Al, K, Ca, Fe y Cl), e incluso de algunos menores (Ag, Mn, P, Ni, Mo, Ba, Ar) en los sedimentos a lo largo del Río Negro y su estuario.

El río Negro presenta potenciales depósitos de elementos naturales o típicos de sedimentos como son el C, Si, O, Ca y Mg, presentes en todas las muestras, con una leve tendencia a aumentar su concentración hacia el valle inferior.

El Ca y el Mg forman las llamadas aguas duras por la rápida formación de carbonatos que a su vez aumentan con las texturas finas.

El Ba presenta dos potenciales orígenes, uno natural, por justamente la erosión del material de fondo y otro atópico, industrial

La llegada del Cu va ligada a usos diversos en la agricultura y la industria. Por tanto, como se resalta el Cu aumenta su concentración en el oasis agrícola del Valle Medio, por fuentes antrópicas.

El B y Zn, presente en meandros activos en zona de actividad agrícola, se debe principalmente al uso de plaguicidas y de fertilizantes en suelos de zonas cercanas al cauce receptor, que luego pasan al río por escorrentía superficial en época de lluvias o a través de las aguas de riego. El B también puede ser liberado como consecuencia de la erosión natural de suelos y rocas; mientras que el zinc puede ingresar por precipitación atmosférica o a través de la quema de desechos sólidos en lotes baldíos cercanos al río.

Entonces los elementos químicos de base de los sedimentos a lo largo del río Negro muestra una composición principal de elementos tales como C, O y Si, sumados a porcentajes menores de Na, Mg, Cl, Fe, S, K y Ca. Luego de detectaron en sedimentos provenientes de varios puntos variaciones en concentraciones bajas, pero presencia de elementos tales como Ti, Ag, P, Mn, As, Ba, Mo, Ta, Ga, Zn, Cu y Ge.

Los elementos analizados al momento pueden presentar tanto procedencia natural como antrópica. En el primer caso se dan mediante procesos de meteorización-sedimentación provenientes de roca madre, formaciones o afloramientos, como así también provenientes de generación o descomposición de materia orgánica. En el caso de la antrópica, surgen de las actividades como la agronomía y de extracción minera y petrolera, hecho que refleja el estado y calidad del recurso hídrico de una región. Para predecir con exactitud las concentraciones y cargas de sedimentos y sus elementos en cuencas fluviales es esencial vincular la dinámica del transporte con los factores subyacentes a lo largo del tiempo y desentrañar las interacciones entre ellos (Vercruysse et al., 2017).

La ubicación de estos potenciales depósitos de elementos naturales o típicos de sedimentos suma un gran valor científico para el estudio de los sistemas fluviales, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar en las zonas próximas a su cauce.

Al encontrarnos en una zona de estudio de gran actividad agronómica, es de esperar un volumen considerable en cuanto al aporte de estos elementos que una vez ingresados al sistema las moléculas sufren diversos mecanismos de transformación o degradación química y biológica, que, como ya se mencionó, pueden alcanzar niveles tóxicos en la medida en que su diseminación y concentración en el fondo acuático, generan productos nuevos y metabolitos aún más tóxicos difíciles de degradar.

En los estudios fisicoquímicos de sedimento, se definen las mayores proporciones o dominancia de fracciones intermedias entre arenas y arcillas, con conductividades que van de valores medios, 4857 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a máximos de 44600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en un meandro abandonado antiguo sin influencia antrópica en costa norte del Valle Medio, a mínimos de 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$ también en un meandro abandonado antiguo, pero con presencia de actividad antrópica actual también en costa norte del Valle Medio. En cuanto a valores de pH se presentan valores medios de 7,9 y máximos de 10 en meandro abandonado en costa sur del Valle Medio y mínimo de 4,5 sobre costa norte del estuario.

6.5 Conclusiones Generales

Las investigaciones integradas de esta escala donde se busca conocer diferentes factores de un mismo sistema fluvial de las dimensiones del SFRN, proporcionan una visión adicional, e información complementaria con la idea de poder aportar profundidad al conocimiento sobre, en este caso, el río Negro.

En la región patagónica los cursos fluviales de régimen nival en los Andes Argentinos brindan servicios ecosistémicos a la región, lo que hace necesaria su conservación y buen manejo. En función de esta investigación se puede afirmar que todos los procesos que se dan desde su nacimiento y en sus dos afluentes principales, pasando por confluencia y sus tres valles, afectan de manera integrada todo el SFRN: Por lo tanto, se puede concluir, luego de este estudio que es de vital importancia conocerse de manera integral e interdisciplinaria para poder profundizar en su conocimiento y desde allí implementar planes de manejo sustentable de los recursos naturales que brinda.

Para llegar a esta conclusión y aceptación de la hipótesis planteada se fueron cumpliendo los diferentes objetivos de trabajo, como el desarrollo del estudio morfométrico del río Negro, analizando los efectos de los procesos, tanto antrópicos como naturales, desarrollados en el Alto Valle y en el Valle Medio sobre la cuenca baja o Valle Inferior del río y su estuario. Analizando

la influencia del fenómeno ENOS, en los cambios de caudales del río Negro desde 1970 a 2009. Además de considerar los parámetros morfométricos del SFRN y aislando de este sistema la cuenca del río Negro, para conocer las influencias de uno sobre el otro, respectivamente, y las características geoquímicas de los sedimentos aportados y depositados por el río Negro desde su Confluencia al estuario. De esta manera se identificó la relación entre los parámetros precipitación y temperatura con ENOS generando entre ambos una relación de parámetros, interdependencia y consecuencia. Se realizó un análisis de estructura química elemental, textura y parámetros como pH y conductividad de los sedimentos.

La presente tesis presenta un enfoque que aporta conocimiento tanto de base como aplicado para estudios de la dinámica de sedimentos, que permitan abordar de forma integrada la gestión fluvial de ríos como el Negro independiente y formando parte de un Sistema Fluvial. Se buscó generar el aporte, enfoque, datos y conocimiento que permita un mejor aprovechamiento de los recursos suelo y agua de cuencas como el Negro y el aprovechamiento para la gestión de este, el ordenamiento territorial y conocimiento base para estudios de riesgo y para distintas disciplinas.

Se propone, para poder dar seguimiento y mayor aplicabilidad a lo obtenido como resultados en esta tesis, la realización de estudios de mayor complejidad, como mapas geoquímicos de amplio espectro, estudios de suelos, y aguas (estancas y móviles a lo largo del curso del río). Se debe sumar información sobre los aportes de contaminantes por parte de las industrias petrolera y minera que se establecen con mayor proporción en el margen sur del río.

Se propone continuar este análisis desde el punto de vista del origen puntual de los elementos. Radicando su importancia en poder concluir en base a lo destacado del aporte de sedimentos desde el Alto Valle a los inferiores, la procedencia de estos elementos, sus características contaminantes, y el riesgo natural y antrópico a su exposición.

No se debe perder de vista que hablamos de uno de los ríos más importantes de la Patagonia Argentina, donde son muchas industrias y un importantísimo número de familias e institucionales las que dependen de estas aguas. Es así como se desprende de esta primera aproximación una gran cantidad de estudios en pos del bienestar ambiental de triple impacto (ambiental, social y económico).

Bibliografía

- Abrameto, M. A., Gibelli, T., Aldalur, B., y Gil, M. I. (2014). Geoquímica de sedimentos de agua dulce: análisis multivariado e índices geoquímicos.
- Aguirre-Urreta, B., Lazo, D.G., Griffin, M., Vennari, V., Parras, A.M., Cataldo, C., y Luci, L. (2011). Mega-invertebrados del Cretácico y su importancia bioestratigráfica. *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, 465-488.
- Ahrens, C.D. (2000). *Meteorology today: An Introduction to weather, climate, and the environment*. Brooks Cole. 528 pp.
- AIC, (2006). Estadísticas climáticas e hidrológicas. Cuencas del río Limay, Neuquén y Negro. Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro.
- AIC, (2011). Estadísticas climáticas e hidrológicas, período 2001-2010, Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro. Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro.
- AIC, (2016). Actualización de los límites de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro". SPyD.SGA.SOyF, versión borrador a ser revisada en forma conjunta con las jurisdicciones. Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro.
- Alberto, J.A. (2005). Problemáticas ambientales resultantes de la ocupación urbana en ambientes fluviolacustres. Estudio de caso: Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR). *Revista Geográfica*, 109-127.
- Anderson N.H. y Sedell J.R. (1979). Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Annual Review Entomology*. 24: 351-377.
- Andrade, M.I., Pérez Ballari, A., Plot, B.N., y Anzoátegui, M. (2017). Crecimiento urbano sobre áreas de fragilidad ambiental. In XVI Encuentro de Geógrafos de América Latina (La Paz, Bolivia, 26 al 29 de abril de 2017).
- Angillieri, M.Y.E. (2008). Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. *Environmental geology*, 55(1), 107-111.
- Aouragh M.H. and Essahlaoui A. (2014). Morphometric analysis of a Guigou Sub-Watershed, Sebou Basin, Middle Atlas Morocco Using GIS Based ASTER (DEM) image. *International Journal of Innovative Reserch in Science, Engineering and Technology*. ISSN: 2319-8753.

- Araya Ojeda M. e Isla F. I. (2016). Variabilidad hidrológica en la región del Biobío: los eventos El Niño en zonas templadas de Chile. *Revista Universitaria de Geografía*, 25, 31-55.
- Aravena, J.C., y Luckman, B.H. (2009). Spatio-temporal rainfall patterns in southern South America. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29 (14), 2106-2120.
- Arce-García, O.O. (2007). Contaminantes peligrosos en el agua y enfermedades de origen hídrico. Cochabamba (Bolivia): Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología.
- Ardiansyah Prima, O.D.; Echigo, A.; Yokoyama, R. y Yoshida, T. (2006). Supervised land form classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps. *Geomorphology*, 78, 373-386
- Ashworth P.J., Best J.L., Roden J.E., Bristow C.S. and Klaassen G.J. (2000). Morphological evolution and dynamics of a large, sand, braid-bar, Jamuna River, Bangladesh. *Sedimentology* 47, 533-555.
- Astudillo, F., Lacassie, J.P., Baeza, L., Barrera, J., Carrasco, F., Castillo, P., y Ramírez, C. (2015). Principales Características Geoquímicas de sedimentos de la Hoja Pisagua, Regiones de Tarapacá y de Arica y Parinacota, Chile. In XVI. Congreso Geológico Chileno (pp. 4-8).
- ATSDR (Agency for Toxic Substances y Disease Registry). (1992). Reseña toxicológica del boro. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 11 p.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances y Disease Registry). (2005). Reseña toxicológica del zinc. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 9 p.
- Bali, R., Agarwal, KK, Ali, SN, Rastogi, SK y Krishna, K. (2012). Morfometría de drenaje de la Cuenca glacio-fluvial del Himalaya, India: implicaciones hidrológicas y neotectónicas. *Ciencias ambientales de la tierra*, 66 (4), 1163-1174.
- Barros, V.R. and Mattio, H.F. (1978). Tendencias y fluctuaciones en las precipitaciones de la región patagónica. *Meteorológica*, Vol. VIII-IX, 237-248. CAM, Buenos Aires.
- Barros, V.R. and Rodríguez Seró J.A. (1979). Estudio de las fluctuaciones y tendencias de la precipitación en el Chubut utilizando funciones ortogonales empíricas. *GEOACTA*, 1, 193-204. AAGG, Buenos Aires.
- Bayona Celis, A.; Rivera Sánchez, E.; Valtierra, J.G.; Martínez Reséndiz, W.E. y Montoya Martínez, A. (2006). Caracterización de los ecosistemas, cambios en el uso del suelo y

- unidades paisajísticas en la reserva de la biósfera “Sierra Gorda” de Querétaro. Reporte Técnico, Tomo XII, Llata Gómez, R. coord., Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, México.
- Benjumea Hoyos, C.A., y Álvarez Montes, G. (2017). Demanda de oxígeno por sedimentos en diferentes tramos del río Negro Rio Negro, Antioquia, Colombia. *Producción Más Limpia*, 12 (2).
- Berman, A.L. (2011). Análisis de la variabilidad climática en la Patagonia Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Bohn, H., McNeal, B. y O`Connor, G. (2001). *Soil Chemistry*. 2da ed. Canadá: John Wiley y Sons, Inc, 341 p.
- Bokuniewicz, H. (1995). Sedimentary systems of coastal-plain estuaries. En: Perillo, G.M.E. (ed.): *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries, Development in Sedimentology Vol. 53*, Elsevier Science BV, Amsterdam, 49-67.
- Bolongaro-Crevenna, A.; Torres-Rodríguez, V.; Sorani, V.; Frame, D. y Ortiz, M.A. (2005). Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico. *Geomorphology*, 67, 407-422.
- Bonetto A.A. (1993). Metodologías en la investigación de los grandes ríos Sudamericanos. Conferencias de Limnologías. Ed. Andrés Boltovskoy y Hugo L. López. Instituto de Limnología “Dr. R. A. Ringuelet” La Plata, Buenos Aires Argentina. ISBN 987-99318-1-5.
- Boninsegna, J.A., Argollo, J., Aravena, J.C., Barichivich, J., Christie, D., Ferrero, M.E., y Morales, M. (2009). Dendroclimatological reconstructions in South America: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281 (3-4), 210-228
- Boudreau, B.P. (1997). *Modelos diagenéticos y su implementación (Vol. 410)*. Springer, Berlín.
- Bracken, L.J., Turnbull, L., Wainwright, J., Bogaart, P., 2015. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surf. Process. Landforms* 40, 177-188. doi:10.1002/esp.3635.
- Brierley, G. J. y Fryirs, K. A. (2005). *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*, Blackwell Publishers, Oxford, UK.
- Brierley, G. J., y Fryirs, K. A. (2013). *Geomorphology and river management: applications of the river styles framework*. John Wiley y Sons.
- Broothaerts, N., Verstraeten, G., Kasse, C., Bohncke, S., Notebaert, B., & Vandenberghe, J. (2014). Reconstruction and semi-quantification of human impact in the Dijle catchment,

- central Belgium: a palynological and statistical approach. *Quaternary Science Reviews*, 102, 96-110.
- Burlando, P., Mancini, M., Rosso, R., (1997). Impact of climate change on Hydrological modelling and flood risk assessment, en: Ribamod, River basin modelling management and flood mitigation concerted action, edited by R. Casale, K. Habano y P. Samuels, Proc. of the 1st Experto Meeting, Copenaghen, October 10-11, 1996, pp.7-25.
- Cabrera, A.L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. En Kugler WF (Ed.) Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Tomo 2. 2a edición. Acme. Buenos Aires. Argentina. Fascículo 1. pp. 1-85.
- Cabrera, A.L. (1994). Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería, Tomo II, Fascículo 1: regiones fitogeográficas argentinas. ACME: Buenos Aires.
- Cai, W.J. (2011). Estuarine and coastal ocean carbon paradox: CO₂ sink or sites of terrestrial carbon incineration *Annual Review of Marine Science*. 3, 123-145.
- Caldwell J.M. and Doyle M.C. (1995). Sediment Oxygen Demand in the Lower Willamette River, Oregon. U.S. Geological survey Water-Resources Investigations Report 95-4196. Oregon, USA: University of Michigan Library.
- Campo, A. M., Aldalur, N. B., & Fernández, S. N. (2012). Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. *Investigaciones geográficas*, (77), 7-17.
- Campos, H. (1985). Distribution of the fishes in the Andean rivers in the South of Chile. *Archiv fuer Hydrobiologie*. 104: 169-191.
- Campos, H., F. Alay, V. Ruiz y J. Gavilán. (1993). Antecedentes biológicos de la fauna íctica presente en la hoya hidrográfica del río Biobío. En: Seminario Limnología y Evaluación de Impacto Ambiental (Eds. Faranda F, Parra O). Ediciones Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Chile. 70-72.
- Capelletti V. (2011). Ejido de Cipoletti. Usos del territorio y afectación por inundaciones. Provincia de Río Negro, Patagonia, Argentina. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Universidad Nacional de Lujan. (ISSN: 1852-8031). Luján, año 3, Número 3.2011, Sección Artículos: I PP. 33-53.
- Castañeda, M., y González, M. (2008). Statistical analysis of the precipitation trends in the Patagonia region in southern South America. *Atmósfera*, 21(3), 303-317.
- Castro Franco, M., Peralta, N., Domenech, M., y Costa, J. (2012). Relación cuantitativa entre atributos topográficos y rendimiento. *Inta. Gob.Ar*, 1-8.

- Cazenave H.W. (2011). Efectos de la represa casa de piedra en la variación témporo espacial de las características hidrológicas y del diseño de drenaje del río colorado. Tesis de doctorado en Geografía, Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Chester R., (2003). *Marine Geochemistry*. Blackwell Science, Oxford, 506 p.
- Ciminari, M., Jurio, E.M., y Torrens, C.V. (2005). Los Sistemas de Información Geográfica aplicados a evaluación de conflictos ambientales. *Boletín Geográfico*, (27), 113-122.
- Cogliati, M., y Mazzeo, N. A. (1999). Climatología del viento en el Alto Valle del Río Negro. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 3, 181-184.
- 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. *Meteorológica*, 30, 41-53.
- Compagnucci, R. H. y Araneo, D. C. (2007). Alcances de El Niño como predictor del caudal de los ríos andinos argentinos. *Ingeniería Hidráulica en México*, 22, 23-35.
- Compagnucci, R. H., y Agosta, E. A. (2008). La precipitación de verano en el centro-oeste de Argentina y los fenómenos interanual El Niño/Oscilación Sur (ENOS) e interdecádico "tipo" ENOS. *Geoacta*, 33, 97-103.
- Coronato, F. (1992). Influencia de las mesetas del este de la Patagonia central en las características oceánicas del clima del área. In *Anales del Instituto de la Patagonia*.
- Coronato, F., y Bisigato, A. (1998). A temperature pattern classification in Patagonia. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(7), 765-773.
- Coronato, A., Mazzoni, E., Vazquez, M., y Coronato, F. (2017). *Patagonia: Una Síntesis de su Geografía Física* (1st ed.). Universidad Nacional de la Patagonia Austral. ISBN 978-987-3714-38-2 Primera edición: Mayo 2017.
- Cosandey, C., y. Robinson M (2000). *Hydrologie Continentale*, Collection U, 360 pp., Armand Colin, Paris.
- Cox, R. y Lowe, D.R. 1995. A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover. *Journal of Sedimentary Research A65* (1): 1-12.
- Cuomo, A. y Guida, D. (2010). Orographic barriers GIS-based definition of the Campania-Lucanian Apennine Range (Southern Italy), poster session Complex System in Geomorphology, *Geophysical Research Abstracts*, 12, EGU General Assembly, Vienna.

- Darrigran, G., De Drago, I.E., e Invertebrados, D.C.Z. (2000). Plata. Región Neotropical. Medio Ambiente, 13(2), 75-79.
- Del Castillo, I. (2008). Teoría de la depuración biológica. Clase magistral impartida en el curso “Reutilización y tratamiento de aguas residuales”. Maestría en Gestión y Estudios Ambientales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 15 p.
- Delgadillo, A., y Páez, G. (2008). Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo por crecidas. Mérida, Venezuela.
- del Rio J.L., Colado U.R. y Gaído, E.S. (1991). Estabilidad y dinámica del delta de reflujo de la boca del río Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 46:325-332
- Depetris P.J. (1980). Hydrochemical aspect of the Negro river, Patagonia, Argentina. NTEC, Environmental Sciences, C.C. 91, 3000-Santa Fe, Argentina. Earth Surface Processes, vol. 5, 181-186.
- Depetris, P.J., Gaiero, D.N., Probst, J.L., Hartmann, J., Kempe, S., (2005). Biogeochemical output and typology of rivers draining Patagonia’s Atlantic seaboard. Journal of Coastal Research 21, 835–844.
- Depetris, P.J. (2019). Una interpretación de los factores que influyen sobre la variabilidad de la alcalinidad en el Río Paraná medio (Argentina). En V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU) (La Plata, 12 al 14 de junio de 2019), pp. 98-101.
- De Matauco, A. I. G. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles, (38), 311-330.
- De Marsily, G. (2005), Eaux continentales, C.R. Geosci., 337, 1-2, doi:10.1016/j.crte.2004.11.002.
- Díaz Boris G., Tiberi P., Marderwald G. (2015). Morfometría de la Cuenca alta del río Gallegos (Patagonia Austral, Argentina). Conagua XXV Congreso Nacional del Agua. At: Paraná, Entre Ríos (Argentina).
- Díaz Boris G., Monserrat M.C. (2017). Análisis de tendencias de caudales en cuencas hidrográficas de la Patagonia Austral. XXVI Congreso Nacional del Agua, Córdoba, Argentina.
- Díaz, M.X.Y., Marensi, S.A., Limarino, C.O., y Schencman, L.J. (2019). Geoquímica de areniscas de la formación Vinchina (Mioceno), La Rioja, Argentina. Implicancias sobre procedencia, clima y marco tectónico. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 76(2), 143-165.

- Docampo, L., Rico, E., Sevillano, M.A., de Bikuña, B.G., y Rallo, A. (1990). Análisis morfométrico de las redes fluviales del País Vasco. *Kobie (Serie Ciencias Naturales)*. Diputación Foral de Bizkaia. N° XIX.
- Doffo, N. C., Degiovanni, S., Echevarria, K., Jimena, A., & Santinelli, M. (2021). Alteraciones morfohidrológicas en el tramo inferior del río Cuarto, Córdoba (Argentina), producidas por obras de control de inundaciones. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 78(2), 231-245.
- Downs, P. W., & Booth, D. B. (2011). *Geomorphology in environmental management*. The SAGE Handbook of Geomorphology. London: SAGE, 78-104.
- Downs, PW, Dusterhoff, SR y Sears, WA (2013). Sensibilidad del canal a escala de alcance a multiples actividades humanas y eventos naturales: Bajo Río Santa Clara, California, EE. UU. *Geomorfología*, 189, 121 -134.
- Doyle, M.C. y Lynch, D.D. (2005). Sediment Oxygen Demand in Lake Ewauna and the Klamath River, Oregon, June 2003. US Geological Survey.
- D’Onofrio, E.; Fiore, M.; Di Biase, F.; Grismeyer, W., y Saladino, A., 2010. Influencia de la marea astronómica sobre las variaciones del nivel del río Negro en la zona de Carmen de Patagones. *Geoacta*, 35(2), 92–104.
- Drăguț, L. y Blaschke, T. (2006). Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology*, 81, 330-344.
- Duarte, W., Feito, R., Jara, C., Moreno, C. y Orellana, A., (1971). Ictofauna del sistema hidrográfico del río Maipo. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile*. 32:227-268.
- Duarte, C.M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., y Valladares, F. (2006). Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.
- Esteves, J., Gil, M. y Harvey, M. (1996). Evaluación de la contaminación por metales en sedimentos y materiales en suspensión de la cuenca Turbio-Gallegos. Informe Técnico N° 12 del Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica. Puerto Madryn, Argentina, 21 p.
- Fernández Long, M.E., Spescha, L., Hurtado, R., y Murphy, G.M. (2011). Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina. *Agriscientia*, 28(1), 31-38.
- Fidalgo, F. (1999). El Cuaternario de la provincia de Buenos Aires. [The Quaternary of the Buenos Aires province]. *Geología Argentina. Anales SEGEMAR*, 29, 700-703.

- Fleite, S. N., Fabrizio de Iorio, A. R., y García, A. R. (2017). Análisis hipsométrico de la pampa ondulada y su importancia como herramienta para la prevención de impactos ambientales.
- Folguera, A., Bottesi, G., Duddy, I., Martín-González, F., Orts, D., Sagripanti, L., y Ramos, V. A. (2015). Exhumation of the Neuquén Basin in the southern Central Andes (Malargüe fold and thrust belt) from field data and low-temperature thermo chronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 64, 381-398.
- Forstner, U. y Wittman, G.T.W.W., (1983). Contaminación por metales en el medio acuático.
- Frissell, C. A., Liss, W. J., Warren, C. E., & Hurley, M. D. (1986). A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental management*, 10, 199-214.
- Fuentes Junco, JA., 2004. “Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque nacional Pico Tancítaro” Instituto Nacional de Ecología, 9-19 pp
- Friedrichs, C.T., Aubrey, D.G., (1988). Non-linear tidal distortion in shallow well-mixed estuaries: a synthesis. *Estuar.Coast.Shelf Sci.* 27, 521e545.
- Fryirs, K., & Brierley, G. J. (2001). Variability in sediment delivery and storage along river courses in Bega catchment, NSW, Australia: implications for geomorphic river recovery. *Geomorphology*, 38(3-4), 237-265.
- Fryirs, K.A., Brierley, G.J., (2013). *Geomorphic analysis of river systems: An approach to reading the landscape.* Wiley-Blackwell, West Sussex.
- Fryklund, B., Marshall, A.Y. Stevens, J. (1996). La cuenca del Colorado. En: Ramos, V.A. y Turic, M.A. (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Plata forma Continental Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 8: 135-158.*
- Gaiero, D.M., Probst, J.L., Depetris, P.J., Bidart, S.M. y Leleyter, L. (2003). Hierro y otros metales de transición en materiales fluviales y eólicos patagónicos: control geoquímico y transporte al sur del Océano Atlántico Sur. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67 (19), 3603-3623.
- Gaona, X. (2004). El mercurio como contaminante global. Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Química, Unidad de Química Analítica.

- Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R., y Marengo, J. (2009). Present-day south American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3-4), 180-195.
- Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*, 22, 3-11.
- Garzon, M.G. (1978). *Metodología de la cartografía geomorfológica* 152 p. Madrid.
- Gebhard, I. (2005). Geología y aspectos exploratorios de la cuenca del Colorado. En: Barrio, R.E. y otros (eds.) *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio 16, Congreso Geológico Argentino*, pp. 447-458. La Plata.
- Germaine, M. A.; Puissant, A.; Lespez, L. y Ballouche, A. (2006) *Analyse spatiale et typologie des petites vallées bas-normandes*, SAGEO'2006, Strasbourg, France, pp. 1-12.
- Gerster R., Welsink H., Ansa A., Raggio F. (2011). Cuenca de Colorado. VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos Simposio Cuencas Argentinas, Visión Actual, pp. 65–80.
- Gibbs, R.J. (1970). 'Mechanisms controlling world water chemistry', *Science*, 170, 1088-1090.
- Gil, V., J. Gentili y A. Campo (2009), "Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, Sistema de Ventania, Argentina", *Papeles de Geografía*, Murcia, núm. 49–50, pp. 55–68.
- Gómez Cole, M. (2010). Variaciones de la cubierta de nieve en Chile centro – sur (30° - 41°s) y su relación con el fenómeno ENSO. Tesis de Grado. Universidad de Concepción, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía. Concepción.
- González Díaz, E., y Malagnino, E.C. (1984). Geomorfología de la provincia de Río Negro. In *Actas del IX Congreso Geológico Argentino* (p. 159). Buenos Aires: Secretaría de Minería.
- González, J. M. S. (1999). *Redes fluviales: Metodología de análisis*. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga.
- González, M.H., y Vera, C.S. (2010). On the interannual wintertime rainfall variability in the Southern Andes. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 30(5), 643-657.
- González, M. H. (2013). Some indicators of interannual rainfall variability in Patagonia (Argentina). *Climate variability–regional and thematic patterns*, 133-161.
- Grams, P.E. y Wilcock, P.R. (2007). Arrastre de equilibrio de sedimento fino sobre un lecho inmóvil grueso. *Investigación sobre recursos hídricos*, 43 (10).

- Grant, G. E., Swanson, F. J., & Wolman, M. G. (1990). Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascades, Oregon. *Geological Society of America Bulletin*, 102(3), 340-352.
- Grant, G. E., & Swanson, F. J. (1995). Morphology and processes of valley floors in mountain streams, western Cascades, Oregon. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 89, 83-83.
- Gregory, K.J. y Walling, D.E. (1973). *Drainage basin form and process*.
- Gregory, K. J. (2006). The human role in changing river channels. *Geomorphology*, 79(3-4), 172-191.
- Grimm, A. M., Barros, V. R., & Doyle, M. E. (2000). Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of climate*, 13(1), 35-58
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación, S.A. Madrid. ISBN: 978-84-8322-389-5.
- Habit, E., Belk M., Victoriano P. y Jaque E. (2007). Spatio-temporal distribution patterns and conservation of fish assemblages in a Chilean coastal river. *Biodiversity Conservation*. 16: 3179-3191.
- Hadley R.F. y Schumm S.A. (1961). Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River Basin. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1531-B, 198 pp
- Hamza-Al-Robain, H. (2013). Determination some Heavy metals in Sediments of Shatt Al-Hilla River by Using Modified Single Chemical Fractionation Technique. *Journal of Babylon University / Pure and Applied Sciences*. 21: 2811-2818.
- Hamilton, S.K. (2002). Controles hidrológicos de la estructura y función ecológica en el humedal del Pantanal (Brasil). En 'La eco hidrología de los ríos y humedales de América del Sur. Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas, Publicación especial 6'. Ed. M. Mc Clain.) Págs. 133-158. (Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas: Wallingford, Oxfordshire).
- Harlin, J.M. (1978): Statistical moments of the hypsometric curve and its density function. *Mathematical Geology*, 10: 59-72.
- Harrison S.R., Bryan K.R. y Mullarney J.C. (2017). Observations of morphological change at an ebb-tidal delta. *Marine Geology* 385 (2017) 131–145.
- Herrera-Núñez, J., Rodríguez-Corrales, J., Coto-Campos, J.M., Salgado-Silva, V., y Borbón-Alpizar, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Revista Tecnología en Marcha*, 26(1), ág-27.

- Herrero, M. (1988). Método de trabajo para la formación y el diseño de mapas geomorfológicos. *Anales Geografía U11iv. ComJl/ltense*, 8, 2ⁱ-:19. Madriu.
- Hoitink, A.J.F., Hoekstra, P. y van Maren, D.S. (2003). Flow asymmetry associated with astronomical tides: Implications for the residual transport of sediment. Institute for Marine and Atmospheric Research, Utrecht, Netherlands. *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, no. c10, 3315, doi: 10.1029/2002jc001539.
- Hooke, J. (2003). Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. *Geomorphology*, 56(1-2), 79-94.
- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol Soc Am Bull* 56(3):275–370.
- Hynes, H.B.N., 1(970). *The Ecology of running waters*. Univerty Press.Liverpool.555 pp.
- Ibrahim Bathis, K y Ahmed, S.A. (2013). “Morphometric Analysis and prioritisation of sub-watershed using cartodem: a case study of Dodda Halla watershed, Chitradurga, India”. *Journal of Engineeringand Technology*. Philadelphia: American Society for Engineering Education, vol. 2, pp. 12-17.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001. Nomenclador Nacional de Vías de Circulación.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Nomenclador Nacional de Vías de Circulación.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2019. Nomenclador Nacional de Vías de Circulación.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2020. Nomenclador Nacional de Vías de Circulación.
- Jacobi, J., Bujan, A., Ghelfi R. y Panigatti J.L. (1980). Determinación de la profundidad de raíces mediante una técnica radio isotópica. *Actas IX Reunión Argentina de la Ciencias del Suelo*, 1:39-44.
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de geografía*, 41-68.
- Kishi, T., Mori, A., Hasegawa, K., & Kuroki, M. (1987). Bed configurations and sediment transports in mountainous rivers. *Comparative Hydrology of Rivers of Japan*, Final Report, Japanese Research Group of Comparative Hydrology, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 165-176.

- Kontas A., (2008). Trace metals contamination (Cu, Mn, Zn, Ni, Fe) in marine sediment and zooplankton samples from Izmir Bay (Aegean Sea, Turkey). *Water Air Soil Pollut.*, 188, 323-333.
- Lacassie, J.P., Díaz, A., y Ruiz-Del-Solar, J. (2009). Geoquímica de sedimentos del sistema fluvial del río Huasco. *Santiago*, 22, S11_020.
- Lane, S.N., Richards, K.S. and Chandler, J.H., editors, (1998). *Landform monitoring, modelling and analysis*. Chichester: Wiley.
- Lange G.A. (1904). Río Negro y sus afluentes. Estudio hidrométrico y proyectos de obras de regularización. *Anales de la Oficina Meteorológica Argentina*. Buenos Aires Talleres de Publicaciones de la Oficina Meteorológica Argentina.
- Lanzoni, S., Seminara, G., (1998). On tide propagation in convergent estuaries. *J. Geophys. Res.* 103, 30793e30812.
- Lapido, O. (1999). Cuaternario de la Patagonia Extrandina. *Geología Argentina*, 29, 704-709.
- Latrubesse E.M. (2003). The Late Quaternary paleohydrology of large South-American fluvial systems. Federal University of Goiás, Goiania, Brazil. Chapter January. In book: *Palaeohydrology understanding global change*. Publisher: Wiley y Sons Editors: In: Gregory, K; Benito, G., pp. 193-212.
- Lauro, C., Vich, A. y Moreiras, S. M. (2016). Variabilidad del régimen fluvial en cuencas de la región de Cuyo. *GEOACTA*, 40, 28-51.
- León, R.J., Bran, D., Collantes, M., Paruelo, J.M., y Soriano, A. (1998). Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología austral*, 8(02), 125-144.
- Lesta, P.J.; Turic, M.A. y Mainardi, E. (1978). Actualización de la información estratigráfica en la Cuenca del Colorado. VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, I, 701-713.
- Linsley, R.K.Jr., Kohler, M.A. y Paulhus, J.L.H. (1993). *Hidrología para ingenieros*. Ed. McGraw-Hill/Interamericana, México. 386p
- Livingstone, D.A. (1963). 'Data of geochemistry. Chemical composition of rivers and lakes', U.S. Geological Survey Professional
- Lovecchio, J.P., Rohais, S., Joseph, P., Bolatti, N.D., Kress, P.R., Gers- ter, R. y Ramos, V.A. (2018). Multi-stage rifting evolution of the Colorado basin (offshore Argentina): Evidence for extensional settings prior to the South Atlantic opening. *Terra Nova*, 30: 359- 368.
- Luchsinger H.M. (2006). The late Quaternary landscape history of the Middle Río Negro Valley, Northern Patagonia, Argentina: Its impact on preservation of the archeological

- record and influence on the late Holocene human settlement patterns. Texas A&M University.
- Luna, L., Schillizzi, R., y Bonuccelli, R. (2008). Rasgos Geoquímicos de las Calizas de la Formación Arroyo Verde (Eoceno), en Punta Colorada. Provincia de Río Negro. Argentina: Reconstrucción Paleoambiental. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 15(2), 93-104.
- Luo, W. (2000): Quantifying groundwater-sapping processes with a hypsometric analysis technique. *Journal of Geophysical Research*, 105: 1685-1694.
- Magesh, N.S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J.P., (2011). Evaluación morfométrica de las cuencas hidrográficas de Papanasam y Manimuthar, partes de Ghats occidentales, distrito de Tirunelveli, Tamil Nadu, India: un enfoque GIS: *Ciencias ambientales de la tierra*, 64, 373-381.
- Magesh, N.S.; Jitheshlal, K.V.; Chandrasekar, N.; Jini, K.V. (2013). Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha river basin, Kerala, India. *Applied Water Science*, 3, 467-477.
- Malumián, N., y Nández, C. (1998). El género *Transversigerina* y la edad de la transgresión patagónica. In *Congreso Latinoamericano de Geología* (No. 10, pp. 285-290).
- Mamcera-Rodríguez, N. y Alvarez-Leon, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta biológica Colombiana* 11: 3-23.
- Marchi, L., Comiti, F., Crema, S. y Cavalli, M. (2019). Obras de control de canales y conectividad de sedimentos en los Alpes europeos. *Ciencia del medio ambiente total*, 668, 389-399.
- Mariani, C. y Pompêo, M. (2008). La calidad del sedimento: La contaminación por metales puede ser una amenaza para los seres vivos. *Revista Ciencia Hoy*, 18(107): 48-53.
- Martínez, O.A., Rabassa, J., y Coronato, A. (2009). Charles Darwin and the first scientific observations on the Patagonian Shingle. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 64(1), 90-100.
- Marrugo J.L. y Paternina, R. (2011). Evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciénaga La Soledad y Bahía de Cispatá, cuenca del bajo Sinú, Departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química. Universidad de Córdoba.
- 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*, 19, 6334-6352. doi: <https://10.1175/JCLI3969.1>.
- Masiokas, M.H; Villalba, R.; Luckman, B.H.; Lascano, M.E; Delgado, S., y Stepanek, P., (2008). 20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. *Global and Planetary Change*, 60(1–2), 85–100.
- McLennan, S.M. (1989). Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes. En Lipin, B.R. y McKay, G.A (eds.) *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Reviews in Mineralogy* 21: 169-200.
- Mejor, J.L., Ashworth, P.J., Bristow, C.S. y Roden, J. (2003). Arquitectura sedimentaria tridimensional de una gran barra trenzada de arena de canal medio, río Jamuna, Bangladesh. *Revista de investigación sedimentaria* , 73 (4), 516-530.
- Melton, M.A. (1965): “The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona”. *Journal of Geology*, 73, 1-38.
- Mesa, L.M. (2006). Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucuman, Argentina). *Environmental Geology*, 50(8), 1235-1242.
- Miller, A. (1976). The climate of Chile. In “World Survey of Climatology” (W. chwerdtfeger, Ed.), Vol. 12, Chap. 3. Elsevier, New York.
- Miller, J. R., & Miller, S. M. O. (2007). *Contaminated rivers: a geomorphological-geochemical approach to site assessment and remediation*. Springer Science & Business Media.
- Miller, J. R., Lord, M. L., Villarroel, L. F., Germanoski, D., & Chambers, J. C. (2012). Structural organization of process zones in upland watersheds of central Nevada and its influence on basin connectivity, dynamics, and wet meadow complexes. *Geomorphology*, 139, 384-402.
- Miller, H., Bull, JM, Cotterill, CJ, Dix, JK, Winfield, IJ, Kemp, AE y Pearce, RB (2013). Geomorfología del lecho del lago y procesos sedimentarios en el lago glacial Windermere, Reino Unido. *Revista de Mapas*, 9 (2), 299-312.
- Montero-Serrano, J.C., Martínez-Santana, M., Tribovillard, N., Riboulleau, A., y Garbán, G. (2009). Comportamiento geoquímico del molibdeno y sus isótopos en el ambiente sedimentario: Un resumen bibliográfico. *Revista de biología marina y oceanografía*, 44(2), 263-275.
- Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (1993). Channel classification, prediction of channel response, and assessment of channel condition (p. 84). Seattle: University of Washington.

- Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R. (1991): 'Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications' *Hydrological Processes*, Vol.5, No.1
- Mora, A., Alfonso, J.A., Baquero, J.C., Handt, H., y Vásquez, Y. (2013). Elementos mayoritarios, minoritarios y traza en muestras de sedimentos del medio y bajo río Orinoco, Venezuela. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 165-178.
- Morgan, R.P.C., 2005. *Soil Erosion & Conservation*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- Muñoz A.R. (2011) Registro de precipitaciones de Alto Valle y Valle Medio. Boletín Agrometeorológico N°5. Temporada 2011-2012. Área de Agrometeorología de la EEA Alto Valle. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Narbondo, S., Crisci, M., y Chretis, C. (2018). Modelación Hidrológica Diaria en Cuencas con Diferentes Características de Uruguay. *Hidrología Superficial y Subterránea*, 18-21.
- Naumann, M.; Madariaga, M. (2003). Atlas Argentino/Argentinien atlas, Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Deutsche Gesellschaft fur TechnischeZusammenarbeit, 94 pp. –Buenos Aires. ISBN: 987-20598-5-3.
- Navarro Aviñó, J.P., Aguilar Alonso, I. y López Moya, J.R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. 16: 10-25.
- Neto P.B.; Sánchez R.J.; Wilmsmeier G. (2006). Hacia un desarrollo sustentable e integrado de la Amazonía. Division de Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago de Chile.
- Nijensohn, L. (1970). Energy characterization of soil potassium in relation to soil fertility. *Revista agronómica del Noroeste Argentino*.
- Nijensohn, L. (1971). Informe final del experto en suelos. Proyecto Río Dulce, Provincia de Santiago del Estero, República Argentina, Informe interno C.R.D. Mimeografiado.
- Ocaña, R. E., Flores, D. G., Pittaluga, M. A., y Cortez Taillant, V. S. (2020). Aplicación de índices geomorfométricos, para el análisis del sistema erosivo fluvial de la cuenca Matagusanos. Precordillera de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 77(1).
- Onderka, M., Krein, A., Wrede, S., Martínez-Carreras, N., Hoffmann, L., 2012. Dynamics of strom-driven suspended sediments un a headwater catchment described by multivariable modeling. *J. Solis Sediments* 12, 620-635. doi:10.1007/s11368-012-0480-6.

- ORSEP (2016). Organismo Regulador de Seguridad de Presas Secretaria de Obras Públicas. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios <http://www.orsep.gob.ar/presas.php>
- Ortiz-Romero, L.T. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena–tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga*, 2(10)
- Ortiz-Sandoval, J. J., Ortiz, N., Cifuentes, R., González, J., y Habit, E. (2009). Respuesta de la comunidad de peces al dragado de ríos costeros de la región del BioBío (Chile). *Gayana (Concepción)*, 73(1), 64-75.
- Palacio-Baena, J. (2007). *Eco-toxicología acuática*. Universidad de Antioquia. Primera edición, Medellín: Imprenta Universidad de Antioquia. p. 85-86.
- Panizza, M. (1972). *La cartegcomorfologische: finalitá e metodi*. Assoc. Mineraira Suba/pina, IX(3-4), 99-101. Torino
- Peña-Monné, J.L. (1997). *Cartografía geomorfológica: básica y aplicada*. Logroño, España: Geofoma Ediciones ISBN: 848777931X
- Perillo, G.M.E., (1995). Definition and geomorphologic classifications of estuaries. En: Perillo, G.M.E. (ed.): *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries, Development in Sedimentology Vol. 53*, Elsevier Science BV, Amsterdam, 17-47.
- Perrier, A., and A. Tuzet (2005). *Le cycle de l'eau et les activités sausein de l'espace rural*, C. R. Geosci., 337, 39 – 56, doi:10.1016/j.crte.2004.10.019.
- Piccolo, M.C. y Perillo, G.M.E., (1999). Estuaries of Argentina: a review. En: Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C. y Pino Quivira, M., (eds.) *Estuaries of South America: their geomorphology and dynamics*. Environmental Science Series, Springer-Verlag, Berlín 101-132.
- Pittock, A.B. (1980). Patterns of climatic variation in Argentina and Chile I Precipitation, 1931–60. *Monthly Weather Review*, 108(9), 1347-1361.
- Polanski, J. (1965). *The Maximum Glaciation in the Argentina Cordillera*, The Geological Society of America, Inc. Special Paper: 84: 453-472.
- Prado, J.L., Menegaz A. N., Tonni E. P. y Salemme M. (1987). *Los Mamíferos de la Fauna Local Paso Otero (Pleistoceno Tardío), Provincia de Buenos Aires. Aspectos Paleoambientales y Bioestratigraficos*. *Ameghiniana* 24:217-233.
- Prates, L., Martínez, G., y Scabuzzo, C. (2006). Evidencias arqueológicas del Holoceno tardío final en el curso medio del río Colorado (provincia de Río Negro): sitio Don Aldo 1. *Cazadores-recolectores del Cono Sur*, 1, 163-177.

- Prohaska, F. (1976). The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. In "World Survey of Climatology." (W. Schwerdtfeger, Ed.), Vol. 12.Chap. 2. Elsevier, New York.
- Proyecto FAO UTF ARG 017. (2015) "Desarrollo Institucional para la Inversión" - Diagnóstico de los Principales Valles y Áreas con Potencial Agrícola de la Provincia de Río Negro - DT N° 1 "Características económicas, sociales e institucionales"
- Pasquini, A.I., y Depetris, P.J. (2007). Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. *Journal of hydrology*, 333(2), 385-399.
- Pethick, J.S., (1994). Estuaries and wetlands: function and form. In: Falconer, R.A., Goodwin, P. (Eds.), *Wetland Management*. Thomas Telford, London, pp. 75e87.
- Pereyra, F. (2003). Ecorregiones de la Argentina. SEGEMAR, Anales 37, Buenos Aires
- Piccolo, M.C. y Perillo, G.M.E., (1997). Geomorfología e hidrografía de los estuarios. En Boschi, E.E. (Ed.) *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros*. INIDEP Tomo I, Mar del Plata, 133-161.
- Piccolo, M.C. y Perillo, G.M.E. (1990). Physical characteristics of the Bahía Blanca estuary (Argentina). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31: 303-3017.
- Pike, RJ (1998). Recursos web compilados para el modelado del terreno. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79 (17), 208-208.
- Pike, R. J. (2000). Geomorphometry-diversity in quantitative surface analysis. *Progress in physical geography*, 24(1), 1-20.
- Pike, RJ, Evans, IS y Hengl, T. (2009). Geomorfometría: una breve guía. *Desarrollos en la ciencia del suelo*, 33, 3-30.
- Pike, RJ y Wilson, SE (1971). Análisis de relación elevación-relieve, integral hipsométrica y área geomórfica-altitud. *Boletín de la Sociedad Geológica de América*, 82 (4), 1079-1084.
- Prandle, D. (2009). *Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation, and Morphology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pye, K., y Blott, S.J., (2014). The geomorphology of UK estuaries: the role of geological controls, antecedent conditions and human activities. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 150, 196e214.
- Quintela, R.M., y Scarpati, O.E. (1993). Incidencia del Cambio Global sobre los Recursos Hídricos del Sur de la Patagonia (Argentina). *Geofísica*, 3961-84.

- Quintero, L., Rendón, E., Agudelo, Y., Quintana, S., y Osorio, A. (2010). Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(3), 51-64
- Rabassa, J. y Clapperton, C.M. (1990). Glaciaciones cuaternarias de los Andes australes. *Reseñas de ciencias cuaternarias*, 9(2-3), 153-174.
- Rainbow, P.S. (1997). Ecofisiología de la captación de trazas de metales en crustáceos. *Ciencia de estuarios, costas y plataformas*, 44(2), 169-176.
- Ramos, V.A. (1999). Las provincias geológicas del territorio argentino. *Geología Argentina*, 29(3), 41-96.
- Ramos, V.A., Chemale, F., Naipauer, M. y Pazos, P.J. (2014). A provenance study of the Paleozoic Ventania System (Argentina): transient complex sources from Western and Eastern Gondwana. *Gondwana Research* 26, 719-740.
- Riley, S.J., De Gloria, S.D. y Elliot, R. (1999). Índice que cuantifica la heterogeneidad topográfica. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1-4), 23-27.
- Robins, P.E. y Davies, A.G., (2010). Morphological controls in sandy estuaries: the influence of tidal flats and bathymetry on sediment transport. *Ocean Dyn.* 60 503e517.
- Robins P. E.; Skov M. W.; Lewis M. J.; Gimenez L.; Davies A. G.; Malham S. K.; Neill S. P.; McDonald J. E.; Whitton T. A.; Jackson S. E. y Jago C. F.; (2016). Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 169 (2016) 119e135.
- Rodolfi, G. (1983). Frane e franositánell 'area di Montespertoli. I. 11 paesaggio natural e la suacvoluzione. *AnnaliIst. SJ1e1: Studio de fesa Suolo*, XIV, 337-346. Firenze.
- Rodríguez Camino, E., Parodi, J. A., González Rouco, J. F., y Montoya Redondo, M. (2018). Proyecciones climáticas. Chap. 29, 470-508. In " Física del caos en la predicción meteorológica. Historia y fundamentos de la meteorología, sistemas de predicción por conjuntos, predicción probabilista y aplicaciones, cambio climático y aspectos sociales". Ed. C. Santos-Burgete. Pub. AEMET. 1089 pp, 2018
- Rodríguez Figueroa, G. M. (2010). Niveles de contaminación por metales pesados en la zona costera de Santa Rosalía: sedimentos y macroalga (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Rodrique-Itrube I., y Valdes, J.B. (1979) "The geomorphologic structure of hydrologic response", *Water Resources*, vol.15, pp. 1409-20.
- Rolleri, E.O. (1976). Sistema de San Bárbara 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 1:240-255.

- Romero, P. E., y González, E.M.G.M.H. (2014). Características hídricas y climáticas del norte Patagónico. Tagliavini et al., eds. II Encuentro de investigadores en formación en Recursos Hídricos, 9-10.
- Romero, P. E., & González, M. H. (2016). Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, (36), 7-13.
- Ropelewski, C.F. y Halpert, M.S. (1987). Patrones de precipitación a escala global y regional asociados con El Niño / Oscilación del Sur. *Revisión mensual del clima*, 115(8), 1606-1626.
- Rosenblüth, B., Fuenzalida, H.A., y Aceituno, P. (1997). Recent temperature variations in southern South America. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 17(1), 67-85.
- Rotger, D.V. (2018). Gestión de cuencas en la Región Metropolitana de Buenos Aires. Historia y actualidad de un territorio en conflicto ambiental. El caso del Gran La Plata. *Cuaderno Urbano. Espacio, cultura, sociedad*, 24(24), 7-26.
- Ruiz, E.; Echenandía, A. y Romero, F. (1994). Relaciones entre agua y sedimento en río de origen torrencial. *Limnética*, 10(1), 101-107.
- Ruiz, V (1996). Ictio fauna del río Laja (VIII Región, Chile): una evaluación preliminar. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*. 67: 15-21.
- Ruiz, J., Fandiño C., Romero G.E. y Guevara M. (1996). Contaminación de peces por metales pesados en el río Magdalena. *Licania arborea*. 1(1):18-22.
- Russián, G.F., Agosta, E.A., y Compagnucci, R.H. (2010). Variabilidad interanual a interdecádica de la precipitación en Patagonia Norte. *Geoacta*, 35(2), 27-43.
- Russian, G. F, Agosta, E. A, y Compagnucci, R. H. (2012). Circulación troposférica de gran escala asociada a la precipitación en Patagonia norte. In *Proceedings of CONGREMETXI*, 28 May-1 June. Mendoza, Argentina.
- Rusticucci, M. y Vargas, W., (2002). Cold and warm events over Argentina and their relationship with the ENSO phases: risk evaluation analysis. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(4), 467-483.
- Salas-Aguilar, V. M., Pinedo-Álvarez, C., Viramontes-Olivas, O. A., Báez-González, A. D., y Quintana-Martínez, R. M. (2011). Morfometría de la cuenca del río Nazas Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Tecnociencia Chichuahua*, 5(1), 34-42.
- Salomons, W. F. y Forstner, Y. U. (1984). *Metales en el hidrociclo*. Springer-Verlog. NY.

- Sánchez Serrano, F.; Tejero López, R. y Bergamín De La Vina, J.F. (1998). Análisis de la variabilidad del relieve a partir de modelos digitales del terreno. *Revista Sociedad Geológica de España*, 11, 139-149.
- Santucci, L. (2020). Dinámica de la relación agua superficial-agua subterránea como condicionante de los procesos geoquímicos que regulan la calidad del agua (Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata).
- Scarpati O. E., Spescha L., Fioriti M. J. y Capriolo A. D. (2001). El Niño Driven climate variability and drainage anomalies in Patagonian Region, Argentina. *Cuaderno de Investigación Geográfica*, N° 27, pp.179-191. ISSN 0211-6820. Universidad de La Rioja.
- Schopper, N., Mergili, M., Frigerio, S., Cavalli, M., Poepl, R., (2019). Analysis of lateral sediment connectivity and its connection to debris flow intensity patterns at different return periods in the Fella River system in northeastern Italy. *Sci. Total Environ.* 658, 1586-1600.
- Schumm, S.A. (1956). Evolución de los sistemas de drenaje y pendientes en badlands en Perth Amboy, Nueva Jersey. *Boletín de la sociedad geológica de América*, 67 (5), 597-646.
- Schumm, S.A. (1963). Sinuosidad de ríos aluviales en las Grandes Llanuras. *Boletín de la Sociedad Geológica de América*, 74 (9), 1089-1100.
- Schumm, S.A. (1977). *Applied fluvial geomorphology*. In Hails, J. R. (Ed): *Applied geomorphology*. Elsevier, Amsterdam, pags.: 119-156.
- Schumm, S. A. (2005). *River variability and complexity*. Cambridge University Press.
- Senciales, J. M. (1999): *Redefluviales. Metodología de Análisis. Estudio y Ensayos*, 31. Universidad de Málaga, 337pp.
- Senisterra, G. E., Rodríguez Vagaría, A. M., Gaspari, F. J. y Mazzucchelli, M. G. (2014). Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(2), 287-303
- Seoane, R y López, P., (2006). Capítulo 4: Recursos hídricos y sus tendencias. En: *Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa*. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap4, pp. 89-146.
- Sepúlveda, L., Lecomte, K. L., Pasquini, A. I., y Temporetti, P. (2019). Elementos traza disueltos en el sistema hídrico del glaciar Manso, Río Negro, Argentina. In *V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU)* (La Plata, 12 al 14 de junio de 2019).

- Singh, Y. y Dubey, D.P. (1997). "Deep zone karst aquifer as a boon in Central India. The Engineering Geology and Hydrogeology of Karst Terrain", In: Beck and Stephenson (eds), Balkema, Rotterdam, pp. 245-249, 1997.
- Smith, K.G. (1950). "Standards for grading textures of erosional topography". Am. Jour. Sci. 248, pp. 655-668.
- Spalletti, L. A., Merodio, J. C., y Matheos, S. D. (1993). Geoquímica y significado tectónico-deposicional de pelitas y margas cretácico-terciarias del noreste de la Patagonia argentina. *Andean Geology*, 20(1), 3-13.
- Strahler, A.N. (1952). Análisis hipsométrico (área-altitud) de topografía erosiva. *Boletín de la Sociedad Geológica de América*, 63 (11), 1117-1142.
- Strahler, A. N. (1957). Análisis cuantitativo de la geomorfología de cuencas hidrográficas. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38 (6), 913-920.
- Strahler, A.N. (1964). Parte II. Geomorfología cuantitativa de cuencas hidrográficas y redes de canales. *Manual de hidrología aplicada: McGraw-Hill, Nueva York*, 4-39.
- Strahler, A.N. (1968). "Quantitative geomorphology, In: Fairbridge, R.W. (eds)", *The Encyclopedia of geomorphology*, Reinhold Book Corp, New York.
- Strahler, A. N. y Strahler, A. H. (1977). *Geografía y entorno del hombre* Wiley.
- Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (1991). *Geografía física. Estudios Geográficos*, 52(202), 187.
- Solari, L. C., Gabellone, N. A., Claps, M. C., Casco, M. A., Quaini, K. P., y Neschuk, N. C. (2014). Phytoplankton chlorophyte structure as related to ENSO events in a saline lowland river (Salado River, Buenos Aires, Argentina). *Ecology and evolution*, 4(7), 918-932.
- Servicio de Hidrografía Naval (2016). *Tabla de mareas Río Negro, Punta Redonda*. Ministerio de Defensa, Presidencia de la Nación. Buenos Aires, Argentina.
- Slowik, M., Dezsó, J., Marciniak, A., Tóth G. y Kovács J. (2018). Evolution of river planforms downstream of dams: Effect of dam construction or earlier human-induced changes. *Earth Surf. Process. Landforms* 43, 2045–2063. DOI: 10.1002/esp. 4371.
- Soldano, F. A. (1947). *Regimen y Aprovechamiento de la Red Fluvial Argentina, Parte II: Ríos de la Región Árida y de La Meseta Patagónica*. Editorial Cimera, Buenos Aires, pp. 277.
- Suriano, J.M., Ferro, G. y Dalponte, M. (1999). *Convenio Dirección de Minería de Río Negro-Segemar: Geología y Recursos Minerales de la Hoja 3966-IV, Choele Choel y del Sector Rionegrino de las Hojas 3963-III, Colonia Juliá, 4163-I-III, General Conesa y 4163-II-IV, Viedma*.

- Tagil, S. y Jenness, J. (2008). GIS-based automated Landform classification and topographic, land cover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey *Journal of Applied Sciences*, 8, 910-921
- Taljaard. J.J. (1972). Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere. *Meteorological Monographs* 13, 139-213.
- Tarbuck E.J. y Lutgens F.K. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física* Pearson Educación S. A., Madrid. ISBN edición española: 84-205-4400-0. ISBN edición latinoamericana: 978-84-832-2690-2.
- Thomas, J.; Joseph, S.; Thrivikramji, K.P; Abe, G y Kannan, N. (2012). Morphometrical analysis of two tropical mountain river basin of contrasting environmental setting, the Southern Western Ghats, India. *Environmental Earth Science*, n° 66, pp. 2353-2366.
- Tonni, E.P. y Fidalgo F.F. (1978). Consideraciones Sobre los Cambios Climáticos Durante el Pleistoceno Tardío-Reciente en la Provincia de Buenos Aires. *Ameghiniana* 15(1-2):235-253. Taljaard. J. J. (1972). Synoptic meteorology of the Southern emisphere. *Meteorological Monographs* 13, 139-213.
- Troccoli, A., (2010). Seasonal climate forecasting. *Meteorological Applications*. 17: 251–268. DOI:10.1002/met.184.
- Thompson, R.C., Crowe, T.P., Hawkins, S.J., (2002). Rocky intertidal communities: past environmental changes, present status and predictions for the next 25 years. *Environ. Conserv.* 29, 168e191.
- Trenberth, K. E. y Stepaniak, D. P. (2001). Indices of El Niño Evolution. *Journal of Climate*. 14, 1697-1701. doi: [https://10.1175/1520-0442\(2001\)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2](https://10.1175/1520-0442(2001)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2).
- Unidad de Gestión de Calidad del Agua (2012). Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC). Secretaría de Gestión Ambiental (SGA). Provincia de Neuquén Subsecretaria de Medio Ambiente (SSMA) y Dirección Provincial de Recursos Hídricos (DPRH). Provincia de Río Negro Departamento Provincial de Aguas (DPA). Ciclo productivo 2006-2012.
- USEPA (2000). National water quality inventory: 2000 report, EPA-841-R-02-001, National Service Center for Environmental Publications, Washinton, DC.
- Vannoter, L., Minshallk G.W., Cummins W, Sedell J.R. y Cushing C.E., (1980). The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* 37: 130-137.
- Vera, C., Silvestri, G., Barros, V., & Carril, A. (2004). Differences in el nino response over the southern hemisphere. *Journal of climate*, 17(9), 1741-1753.

- Vercruyse, K., Grabowski, R. C., & Rickson, R. J. (2017). Suspended sediment transport dynamics in rivers: Multi-scale drivers of temporal variation. *Earth-Science Reviews*, 166, 38-52.
- Vergara Dal Pont, I.P., Caselli, A.T., Moreiras, S.M., y Lauro, C. (2017). Recent Coastal Geomorphological Evolution in the Negro River's Mouth (41° S), Argentinean Patagonia. *Journal of Coastal Research*, 33(6), 1367-1375.
- Vich, AIJ, Norte, FA y Lauro, C. (2014). Análisis regional de frecuencias de caudales de ríos pertenecientes a cuencas con nacientes en la Cordillera de los Andes. *Meteorológica*, 39 (1), 3-26.
- Vigna G.L. (1996). Caracterización puntual de los materiales por microsonda electrónica. Instituto de Tecnología Prof. Jorge A. Sábato. Universidad Nacional de General San Martín Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Villalba, R., Lara, A., Boninsegna, J.A., Masiokas, M., Delgado, S., Aravena, J.C., y Ripalta, A. (2003). Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years. In *Climate variability and change in high elevation regions: Past, present y future* (pp. 177-232). Springer, Dordrecht.
- Vincent, L.A., Peterson, T.C., Barros, V.R., Marino, M.B., Rusticucci, M., Carrasco, G., y Grimm, A.M. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. *Journal of climate*, 18(23), 5011-5023.
- Volonté, A. (2017). Geomorfología fluvial aplicada al peligro de crecidas: cuenca del arroyo San Bernardo, sistema de Ventania, Argentina.
- Weiss, A. (2001). Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation. ESRI User Conference San Diego, CA, USA
- Wicki, G. y Luchini L (2002). Evaluación del Potencial para Acuicultura en la Región del Comahue (Provincias de Neuquén y Río Negro). Ed. SAGPyA, 76 pp. “Aquaculture assessment in the Comahue Region (Neuquén and Río Negro provinces)”.
- Wiken, E.B. (1986). Terrestrial Ecozones of Canada: Lands Directorate, Environment Canada Ecological Land Classification Series.
- Wilcock, P.R. y Crowe, J.C., (2003). Modelo de transporte de superficie para sedimentos de tamaño mixto. *Revista de ingeniería hidráulica*, 129 (2), 120-128.
- Windhausen A. (1922). Estudios geológicos en el Valle Superior del Río Negro. Buenos Aires. Ministerio de Agricultura de la Nación, Dirección general de minas, geología e hidrología.

- Wood, T.M. (2001). Sediment Oxygen Demand in Upper Klamath and Agency Lakes. Oregon, US: Geological Survey Water-Resources Investigations. Report 01- 4080, 1-13.
- Yildiz, O. (2004). “An investigation on the effect of drainage density on hydrologic response”. Turkish J. Eng. Env. Sci. 28:85-94.
- Yrigoyen, M.R. (1999). Los depósitos cretácicos y terciarios de las cuencas del Salado y del Colorado. Geología Argentina, 29, 645-650.
- Zambrano, J.J. (1972). La cuenca del Colorado. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 419-437.
- Zárate, M., y Blasi, A. (1993). Late Pleistocene-Holocene eolian deposits of the southern Buenos Aires Province, Argentina: a preliminary model. Quaternary International, 17, 15-20.