



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

TESIS DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

ESTIMACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A LA  
OCURRENCIA DE INUNDACIONES EN LA  
CUENCA HIDROGRÁFICA INFERIOR DEL RÍO  
NEGRO (ARGENTINA)

**Grethel García Bu Bucogen**

Directora: Dra. María Cintia Piccolo

Co - Directora: Dra. Vanesa Yael Bohn

BAHIA BLANCA  
ARGENTINA

2023

## PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur (UNS) 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 del proyecto de Evaluación del riesgo ambiental y vulnerabilidad de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (PICT-2016-0373) del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), durante el período comprendido entre el 3 de octubre de 2018 y el 10 de abril de 2023, bajo la dirección de la Dra. María Cintia Piccolo (CONICET/UNS) y la co-dirección de la Dra. Vanesa Yael Bohn (CONICET/UNS).

Lic. Grethel García Bu Bucogen

Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca  
Departamento de Geografía y Turismo  
Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el 19/10/2023 , mereciendo la calificación de 10 (diez).

*A mis padres*

## AGRADECIMIENTOS

La realización de la presente tesis doctoral no hubiese sido posible sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación son mencionadas:

Se agradece el esfuerzo y dedicación de mis directoras de tesis. A la Dra. María Cintia Piccolo, por aceptarme como su becaria y ayudarme a superarme a mí misma día a día. A mi codirectora: Dra. Vanesa Yael Bohn, por sus consejos y paciencia. También se agradece al Dr. Gerardo M. E. Perillo, el cual junto a mi directora de tesis facilitó mi ingreso e instalación en la República de la Argentina.

Además, se dedica un especial agradecimiento a los revisores de la tesis: Dr. José María Senciales, Dras. María Mercedes Cardoso y Verónica Gil cuyos valiosos comentarios y sugerencias han sido fundamentales para el desarrollo y la mejora de este trabajo.

A mi familia en mi país natal: Cuba, sin los cuales mis estudios de tercer ciclo no hubiesen sido posible y, porque a pesar de la distancia, su apoyo y amor me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante. A mis padres Silvia, Rolando y Leonor, mis dos abuelitas Silvia y Norge.

A mi pareja Alejandro Álvarez, por ser mi apoyo incondicional durante todos estos años. Agradezco a la familia Álvarez – Damiani por brindarme su colaboración y cariño. A Miriam, Daniel, Mariana, Hernán, Diego, Daniela, Julieta, Martín, Laura, Emilia y Lautaro, además de mis sobrinitos: Tomás, Pilar, Galo y Agustín.

Al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por haber financiado la totalidad de mi doctorado. Además se agradece al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) brindarme un lugar de trabajo. También al Departamento de Geografía de Turismo de la Universidad Nacional del Sur en cuyas instalaciones realicé el doctorado.

A los Ingenieros Fernando Bodoira, Daniel Alberto Petri y a la Lic. Karina Rodríguez por haber facilitado el acceso a datos observacionales y apoyo documental necesarios para la realización de la presente investigación. Se agradece a la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), Servicio Meteorológico Nacional y al Servicio de Hidrografía Naval por el acceso a repositorio necesarios para la finalización de la tesis.

A mis amigos del IADO: Antonela Toniolo, Gian Marco Mavo, Ana Daisy Forero, Natalia Morales Pontet y a Gabriel Eduardo Huck, por acompañarme en el delicado proceso que significa obtener una titulación doctoral.

## RESUMEN

Las recurrentes crecidas del río Negro (RN) registradas desde 1899 en su cuenca hidrográfica inferior han causado serios daños a la población residente asentada en zonas susceptibles a inundarse cuya condición socio - económica es desfavorable. Por tal motivo, el objetivo de esta tesis fue estimar el riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones en esta zona a través de la integración del estudio de la amenaza, la susceptibilidad del área de estudio ante la misma y la vulnerabilidad de sus pobladores. El análisis de riesgo se obtuvo del álgebra de los mapas de amenaza (inundaciones) y vulnerabilidad realizado acorde a criterios publicados por Renda et al. (2017). El análisis de la amenaza involucró el estudio del origen de las inundaciones a través del análisis estadístico de variables climáticas e hidrológicas y la delimitación de la zona de afectación de las crecidas del RN acorde a las características del terreno y topografía propia del área de estudio. La vulnerabilidad de la población se obtuvo sobre la base de sus condiciones físicas y socioeconómicas registradas durante el Censo 2010 (INDEC, 2010).

Las crecidas del RN en su cuenca hidrográfica inferior son producidas por persistentes y fuertes vientos del S, precipitaciones intensas, erogaciones de agua procedentes de los ríos Neuquén y Limay, o por la combinación de las condiciones previamente mencionadas (D'Onofrio et al., 2010). Tras la validación de datos meteorológicos de reanálisis provistos por POWER NASA Project (2021) sobre la base de datos los observados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), se detectó que, entre 1981 y 2020, la ocurrencia de intensos vientos del S y precipitaciones severas tuvo una baja frecuencia estadística. Si bien la recurrencia de eventos de origen meteorológico capaces de provocar crecidas del RN fue baja, existe la probabilidad de que este tipo de situaciones se registren al menos cada 2 años. Adicionalmente, fue observado que cambios circulatorios oceánicos y atmosféricos asociados a la fase cálida (El Niño) de El Niño – Oscilación del Sur (ENSO) y negativa del Modo Anular del Sur (SAM) favorecieron un incremento del número de reportes de inundaciones.

El régimen hidrológico del RN en su cuenca hidrográfica inferior es influenciado hasta San Javier (SJ) por el ingreso de la onda de marea astronómica procedente del océano Atlántico, por ello el RN en este tramo adopta un comportamiento fluvio – marino. La influencia de la marea cesa aguas arriba de SJ y por ello el régimen es netamente fluvial. Las crecidas del RN dependen de los regímenes combinados de los ríos Limay y Neuquén (ríos cuya confluencia conforma al RN). El análisis de los datos de la estación de medición Primera Angostura (SNIH, 2021) reveló que, entre 2010 y 2021, el mayor número de reportes de caudales superiores a lo habitual sucedió entre

junio y agosto. Los aumentos del nivel del agua, además fueron favorecidos por la ocurrencia de procesos no lineales derivados de la interacción entre la descarga del río, marea astronómica, batimetría local y la fricción tangencial del viento sobre el agua. Particularmente, la ocurrencia de procesos no lineales favoreció el retraso en la fase de reflujos de marea, lo cual prolongó el tiempo de duración de las inundaciones.

El 41,7 % del área de la cuenca hidrográfica inferior del RN presentó una susceptibilidad media y alta ante inundaciones acorde a sus características del terreno y topografía. La máxima extensión de áreas susceptibles fue registrada entre junio y diciembre. Los datos del INDEC (2010) mostraron que el 51,0 % de la población del área de estudio fue vulnerable ante la ocurrencia de inundaciones debido a condiciones socioeconómicas desfavorables. Acorde a los resultados hallados de los análisis de susceptibilidad y vulnerabilidad, el 43,2% de los residentes de la cuenca hidrográfica inferior del RN vivían en zonas de riesgo en 2010, presentando un alto riesgo hogares localizados aledaños a la ribera del río y periferias de la comarca Viedma – Carmen de Patagones. Los resultados obtenidos en la presente tesis no solo permitieron determinar aquellos factores naturales y antropogénicos que favorecen la ocurrencia de desastres asociados a inundaciones en el área de estudio, sino constituyen un antecedente de estudio el cual permitirá a los tomadores de decisión el trazado de mejores planes de prevención y mitigación que contribuyan a mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

## ABSTRACT

The recurrent flooding of the Rio Negro (RN) recorded since 1899 in its lower hydrographic basin has caused serious damage to the resident population settled in flood-prone areas whose socio-economic condition is unfavorable. Therefore, the objective of this thesis was to assess the risk associated with the occurrence of floods in this area through the integration of the study of the hazard, the susceptibility of the study area to it, and the vulnerability of its inhabitants. The risk analysis was obtained from the algebra of the maps of threat (floods) and vulnerability made according to criteria published by Renda et al. (2017). The study of the threat involved the detection of the origin of floods through the statistical analysis of climatic and hydrological variables and the delimitation of the affected zone of the RN floods according to the characteristics of the terrain and topography of the study area. The vulnerability of the population was obtained based on their socio-economic conditions recorded during the 2010 Census (INDEC, 2010).

Floods in the lower hydrographic basin of the RN are caused by persistent and strong south winds, intense precipitation, water discharges from the Neuquén and Limay rivers, or the combination of the aforementioned conditions (D'Onofrio et al., 2010). After validating meteorological reanalysis data provided by the POWER NASA Project (2021) based on observations from the National Meteorological Service (SMN) and National Institute of Agricultural Technology (INTA), it was found that the occurrence of intense south winds and severe precipitation had a low statistical frequency between 1981 and 2020. While the recurrence of meteorological events capable of causing floods in the RN was low, there is a probability of such situations occurring at least every 2 years. Additionally, it was observed that oceanic and atmospheric circulatory changes associated with the warm phase (El Niño) of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and negative Southern Annular Mode (SAM) favored an increase in the number of flood reports.

The hydrological regime of the RN in its lower hydrographic basin is influenced by the incoming astronomical tidal wave from the Atlantic Ocean up to San Javier (SJ), which is why the RN in this stretch exhibits a fluvial-marine behavior. The influence of the tide stops upstream of SJ, and therefore the regime is purely fluvial. The floods of the RN depend on the combined regimes of the Limay and Neuquén rivers (rivers whose confluence forms the RN). Analysis of data from the Primera Angostura measurement station (SNIH, 2021) revealed that between 2010 and 2021, the highest number of reports of flows exceeding normal levels occurred between June and August. Water level increases were also favored by the occurrence of nonlinear processes derived from the interaction between river discharge, astronomical tide, local bathymetry, and tangential

wind friction on the water. Particularly, the occurrence of nonlinear processes favored a delay in the ebb tide phase, which prolonged the duration of floods.

According to its characteristics of the terrain and topography, 41.7% of the lower basin area of the RN showed medium to high susceptibility to flooding. The maximum extension of susceptible areas was recorded between June and December. INDEC data (2010) showed that 51.0% of the population in the study area was vulnerable to flooding due to unfavorable socioeconomic conditions. According to the results of the susceptibility and vulnerability analyses, 43.2% of the residents in the lower basin of the RN lived in high-risk areas in 2010, with homes located near the riverbank and outskirts of the Viedma-Carmen de Patagones region being the most vulnerable. The results obtained in this thesis not only allowed for the determination of natural and anthropogenic factors that favor the occurrence of flood-related disasters in the study area, but also serve as a precedent study that will enable decision-makers to create better prevention and mitigation plans that contribute to improving the quality of life for its inhabitants.



## ACRÓNIMOS

<b>AIC</b>	Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas
<b>Atlántico Sur</b>	AS
<b>chiRN</b>	Cuenca hidrográfica inferior del río Negro
<b>CWT</b> ( <i>del inglés</i> )	Cross-wavelet transform
<b>DPA Río Negro</b>	Departamento Provincial de Aguas de la Provincia de Río Negro
<b>E</b>	Este
<b>ENSO</b> ( <i>del inglés</i> )	El Niño–Southern Oscillation
<b>H</b>	H
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional
<b>INDEC</b>	Instituto Nacional de Estadística y Censos
<b>m</b>	Metros
<b>MPR10</b>	mapa áreas susceptibles a inundaciones con período de retorno de 10 años
<b>MR</b>	Mapa de Riesgo
<b>MS</b>	Mapa de susceptibilidad
<b>m s.n.m</b>	metros sobre el nivel del mar
<b>MV</b>	Mapa de vulnerabilidad
<b>INTA</b>	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
<b>km</b>	Kilómetro
<b>N</b>	Norte
<b>NDWI</b> ( <i>del inglés</i> )	Normalized difference water index
<b>NE</b>	Noreste
<b>NNO</b>	Nornoroeste
<b>NO</b>	Noroeste
<b>NOA</b>	Noroeste argentino
<b>O</b>	Oeste
<b>ONI</b> ( <i>del inglés</i> )	Oceanic Niño Index
<b>P</b>	Precipitación
<b>PA</b>	estación de medición aforo Primera Angostura
<b>PCP</b>	limnógrafo Prefectura Carmen de Patagones
<b>PDO</b>	Oscilación Decadal del Pacífico
<b>PMP</b>	Precipitación Máxima Probable
<b>Pr</b>	Período de retorno
<b>PR</b>	Punta Redonda
<b>Q</b>	Caudal

<b>RMSE</b> ( <i>del inglés</i> )	Root Mean Square Error
<b>RN</b>	río Negro
<b>s</b>	Segundo
<b>S</b>	Sur
<b>SAM</b>	Modo Anular del Sur
<b>SE</b>	Sureste
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>SHN</b>	Servicio de Hidrografía Naval
<b>SJ</b>	limnógrafo San Javier
<b>SMN</b>	Servicio Meteorológico Nacional
<b>SNIH</b>	Servicio Nacional de Información Hídrica
<b>SO</b>	Suroeste
<b>SOI</b> ( <i>del inglés</i> )	Southern Oscillation Index
<b>SPEI</b> ( <i>del inglés</i> )	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
<b>TAC</b>	limnógrafo Toma de Agua El Cóndor
<b>TNA</b> ( <i>del inglés</i> )	Tropical Northern Atlantic Index
<b>TSA</b> ( <i>del inglés</i> )	Tropical Southern Atlantic Index
<b>TSM</b>	Temperatura superficial del mar
<b>TRF</b>	Transformada Rápida de Fourier
<b>UNL</b>	Universidad Nacional del Litoral
<b>WT</b> ( <i>del inglés</i> )	Wavelet transform

## INDICE GENERAL

Prefacio .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Resumen .....	iv
Abstrac .....	vi
Acrónimos.....	viii
Índice General .....	x
Índice de Figuras .....	xiii
Índice de Tablas .....	xvii

### CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Marco teórico.....	1
1.2 Hipótesis y Objetivos del trabajo.....	12
1.3 Área de Estudio .....	15

### CAPÍTULO 2. VALIDACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS DE REANÁLISIS PARA EL ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DEL CLIMA DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Introducción.....	22
2.2 Método de trabajo.....	24
2.3 Resultados.....	27
2.3.1 Ajuste estadístico entre datos observados y de reanálisis (1981 – 2015).....	27
2.3.2 Validación de POWER NASA Project (enero/2016 – diciembre/2020) .....	29
2.3.3 Prueba de homogeneidad de los datos .....	31
2.3.4 Distribución espacial de la temperatura de aire y la precipitación anual para el área de estudio (1981 – 2020).....	32
2.4 Discusión de los resultados.....	33
2.5 Conclusiones.....	35

### CAPÍTULO 3. VARIABILIDAD CLIMÁTICA ESTACIONAL, CICLO ANUAL Y TENDENCIAS

3.1 Introducción.....	37
3.2 Método de trabajo.....	39
3.3 Resultados.....	43
3.3.1. Régimen de vientos.....	43
3.3.2 Estadística descriptiva, ciclos y tendencias de la temperatura del aire.....	45

3.3.3 Estadística descriptiva, ciclos, tendencias y PMP.....	47
3.4 Discusión de los resultados. ....	50
3.5 Conclusiones. ....	53

#### CAPÍTULO 4. VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTERANUAL

4.1 Introducción. ....	55
4.2 Método de trabajo. ....	59
4.3 Resultados.....	61
4.3.1.2 Espectro de la temperatura del aire .....	61
4.3.2.2 Espectro de la precipitación. ....	63
4.3.3 4.3.3.Relación entre índices de teleconexión y la ocurrencia de anomalías de temperatura del aire y precipitación .....	65
4.3.3.1. El Niño y la Oscilación del Sur. ....	65
4.3.3.2. Índices del Atlántico .....	67
4.3.3.3 Modo Anular del Sur .....	70
4.3.3.4 Oscilación Decadal del Pacífico .....	71
4.3.4 Relación entre variabilidad de baja frecuencia y ocurrencia de inundaciones ....	76
4.4 Discusión de los resultados. ....	74
4.5 Conclusiones. ....	77

#### CAPÍTULO 5. RÉGIMEN HIDROLÓGICO

5.1 Introducción. ....	78
5.2 Método de trabajo. ....	81
5.3 Resultados.....	84
5.3.1 Reportes de inundaciones .....	84
5.3.2.Descripción del régimen fluvio-marino (Desembocadura del río Negro - San Javier).....	86
5.3.3. Caracterización del régimen fluvial (San Javier – Segunda Angostura).....	92
5.3.4. Casos de estudio .....	96
5.4 Discusión de resultados .....	100
5.5 Conclusiones .....	102

#### CAPÍTULO 6. SUSCEPTIBILIDAD ANTE LA OCURRENCIA INUNDACIONES

6.1 Introducción. ....	105
6.2 Método de trabajo. ....	107
6.3 Resultados.....	112
6.3.1 Selección de imágenes satelitales según el SPEI.....	112

6.3.2 Estimación del Mapa de Susceptibilidad (MS) .....	114
6.3.3 Validación cuantitativa y cualitativa de los resultados del Mapa de Susceptibilidad (MS).....	120
6.3.4 Estimación de la susceptibilidad hídrica (2015).....	121
6.4 Discusión de los resultados. ....	123
6.5 Conclusiones. ....	125
<b>CAPÍTULO 7. VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIONES</b>	
7.1 Introducción. ....	126
7.2 Método de trabajo. ....	129
7.3 Resultados.....	134
7.3.1.Observaciones preliminares. Datos del INDEC (2010).....	134
7.3.2. Análisis de indicadores asociados al ámbito físico.....	135
7.3.3. Análisis de indicadores asociados al ámbito social.....	139
7.3.4 Mapa de Vulnerabilidad (MV).....	143
7.4 Discusión de los resultados. ....	145
7.5 Conclusiones. ....	147
<b>CAPÍTULO 8. RIESGO ASOCIADO A LA OCURRENCIA DE INUNDACIONES</b>	
8.1 Introducción. ....	148
8.2 Método de trabajo. ....	151
8.3 Resultados.....	152
8.4 Discusión de los resultados. ....	159
8.5 Conclusiones. ....	161
<b>CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES FINALES.....</b>	
Referencias bibliográficas.....	170
<b>ANEXOS</b>	
Anexo A. Mapas de localización de línea de ribera elaborados por el DPA de Río Negro (2004). ....	207
Anexo B. Resoluciones del Departamento de Provincial de Aguas de Río Negro (2012) .....	212
Anexo C. Síntesis del análisis del riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones fluviales en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro .....	223

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Área de estudio.....	9
Figura 2.1. Localización de estación de medición de Viedma Aero y malla de puntos de datos de reanálisis de POWER NASA Project..	25
Figura 2.2. Protocolo para el análisis y validación de los datos meteorológicos.....	26
Figura 2.3. Gráfico de dispersión e índice de correlación ( $R^2$ ) entre datos de reanálisis POWER NASA Project y observados del SMN en Viedma (período 1981 - 2015).....	29
Figura 2.4. Validación cualitativa de datos de reanálisis de POWER NASA Project sobre la base de datos observados por INTA en Viedma (período enero/2016 – diciembre/2020).....	30
Figura 2.5. Distribución espacial sobre la base de interpolación de datos POWER NASA Project (período 1981 – 2020):.....	32
Figura 3.1. Rosa y regímenes de vientos en Viedma Aero (período 1981 - 2020):.....	43
Figura 3.2. Temperatura del aire en Viedma (período 1981 - 2020).....	45
Figura 3.3. Espectro multifractal de temperatura del aire en Viedma (período 1981-2020).....	46
Figura 3.4. Precipitación en Viedma (período 1981-2020). .....	47
Figura 3.5. Espectro multifractal de precipitaciones en Viedma (período 1981-2020)..	48
Figura 3.6. Distribución espacial de las Precipitaciones Máximas Probables (mm/24 horas) acorde a sus diferentes períodos de retorno.....	49
Figura 4.1. Transformada Rápida de Fourier de temperatura del aire en Viedma (período 1981 -2020).. .....	62
Figura 4.2. Análisis de ondículas de la temperatura del aire en Viedma (período 1981 – 2020).. .....	62
Figura 4.3. Transformada Rápida de Fourier de la precipitación en Viedma (período 1981 – 2020).....	64
Figura 4.4. A Análisis de ondículas de la precipitación en Viedma (período 1981 – 2020).....	64
Figura 4.5. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático SOI (período 1981 – 2020).....	65
Figura 4.6. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático ONI (período 1981 - 2020).....	66

Figura 4.7. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático TSA (período 1981 – 2020).....	68
Figura 4.8. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático TNA entre 1981-2020.....	69
Figura 4.9. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático SAM entre 1981-2020.....	70
Figura 4.10. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático PDO entre 1981-2020.....	72
Figura 5.1. Localización de limnógrafos y estaciones de medición..	82
Figura 5.2. Descripción estadística de las series mensuales de los limnógrafos (período 2003 – 2021).....	88
Figura 5.3. . Comparación entre las amplitudes de los armónicos para TAC, PCP y SJ (período 2003-2021):.....	90
Figura 5.4. Transformada Rápida de Fourier de series de cotas de agua para TAC, PCP y SJ (período 2003 – 2021)..	91
Figura 5.5. Biespectro y bicoherencia en las series de cotas de los limnógrafos (período 2003 – 2021) ..	92
Figura 5.6. Caudales mensuales del río Negro de la Estación Primera Angostura (período 1930 – 2021)..	94
Figura 5.7. Transformada Rápida de Fourier del caudal del río Negro de la Estación Primera Angostura (período 1930 - 2021).....	94
Figura 5.8. Registro mensual de $Q > 2700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ con datos de la Estación Primera Angostura .....	96
Figura 5.9. Comparación entre series de datos del limnógrafo PCP y el pronóstico mareográfico de Punta Redonda.....	97
Figura 5.10. Nivel de agua en estación PCP y predicción astronómica de mareas para Punta Redonda del 22-24 de julio de 2009.....	98
Figura 5.11. Biespectro de la serie de cotas de TAC entre el 23 y 24 de julio de 2009.....	98
Figura 5.12. Nivel de agua en las estaciones TAC y PCP y predicción astronómica de mareas para Punta Redonda para los días 3 y 4 de septiembre de 2019.....	99

Figura 5.13. Biespectro de la serie de cotas de PCP para los días 3 y 4 de septiembre de 2019.....	100
Figura 6.1. Metodología utilizada para la obtención de la serie de cobertura de agua... ..	108
Figura 6.2. Esquema de trabajo empleado para la estimación de la susceptibilidad a inundaciones en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro... ..	111
Figura 6.3. Valores del SPEI en Viedma (período 1998 – 2021)... ..	113
Figura 6.4. Jerarquización de las características del terreno sobre la base de diferentes criterios de evaluación resumidos en la Tabla 6.2.....	114
Figura 6.5. Subzonas de susceptibilidad ante inundaciones, estimadas sobre la base del análisis de características físicas, en la cuenca inferior hidrográfica del río Negro.. .	118
Figura 6.6. Representatividad superficial (%) de cada uno de las clases de susceptibilidad estimada en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro... ..	119
Figura 6.7. Validación cuantitativa y cualitativa del mapa de susceptibilidad (MS)... ..	120
Figura 6.8. Comprobación cuantitativa de las subzonas de susceptibilidad estimadas para el área de estudio: porcentajes de intersección con respecto al mapa PR10....	120
Figura 6.9. Representatividad areal (%) trimestral de cada clase de susceptibilidad... ..	122
Figura 6.10. . Expansión de la máxima extensión de la cubierta de agua (MECA) registrada durante el segundo semestre del 2015.. ..	122
Figura 7.1. Radios censales, localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro .....	135
Figura 7.2. Variación de la población entre los Censos de 2001 y 2010..... ..	136
Figura 7.3. Indicadores físicos usados en la detección de sectores vulnerables .....	136
Figura 7.4. Porcentaje de la población según rango de edad.....	140
Figura 7.5. Indicadores sociales usados en la detección de sectores vulnerables. ...	140
Figura 7.6. Mapa de vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones fluviales en el área de estudio.....	144
Figura 7.7. Porcentaje personas y hogares localizados en cada una de las clases de vulnerabilidad en el área de estudio.....	145
Figura 8.1. Diagrama metodológico empleado para la catografía del riesgo ante inundaciones fluviales en el área de estudio.....	151
Figura 8.2. Mapa de riesgo ante la ocurrencia de inundaciones fluviales en el área de estudio.....	153
Figura 8.3. Porcentaje pobladores y hogares localizados en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro ubicados en zonas con riesgo nulo, bajo, medio y alto..... ..	154



Figura 8.4. Localización de sitios esenciales, de atención a la comunidad, de concentración pública, interés y áreas de uso agrícola .....	155
Figura A.1. Mapa de localización de localidades, limnógrafos, puntos IGN y cotas topobatimétricas del tramo Viedma – desembocadura del río Negro .....	208
Figura A.2. Mapa de localización de línea de ribera del tramo Viedma – desembocadura del río Negro. Tramo 1. ....	209
Figura A.3. Mapa de localización de línea de ribera del tramo Viedma – desembocadura del río Negro. Tramo 2.....	210
Figura A.4. Mapa de localización de línea de ribera del tramo Viedma – desembocadura del río Negro. Tramo 3.....	211
Figura B.1. Resolución con Expediente N° 41312-IGRH-12 correspondiente a la localización de la línea de ribera y de evacuación de crecidas correspondiente al tramo desde el Descargador Este del IDEVI hasta Puente Viejo.. ....	213
Figura B.2. Resolución con Expediente N° 41316-IGRH-12 correspondiente a la localización de la línea de ribera y de evacuación de crecidas correspondiente al tramo desde Puente Viejo hasta Toma de Agua El Cóndor (TAC).....	216
Figura B.3. Resolución con Expediente N° 41315-IGRH-12 correspondiente a la localización de la línea de ribera y de evacuación de crecidas correspondiente al tramo desde Toma de Agua El Cóndor (TAC) hasta la desembocadura del río Negro en el océano Atlántico.....	219

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Demografía de las localidades ubicadas en el área de estudio (período 1960 - 2022).....	18
Tabla 2.1. Listado y características de las bases de datos analizadas.....	23
Tabla 2.2. Escalas de interpretación de índices .....	25
Tabla 2.3. Cálculo de índices de Pearson y Spearman por variable para cada base de datos reanálisis vs datos observados del SMN entre 1981 - 2015.....	26
Tabla 2.4. Análisis de homogeneidad a través de la prueba de Levene para los datos de temperatura del aire en Viedma (período 1981 – 2020).....	28
Tabla 3.1. Categorización de la significancia de la prueba de Mann – Kendall .....	39
Tabla 3.2. Tendencias y dimensiones fractales a escala estacional para la temperatura del aire en Viedma (período 1981-2020).....	43
Tabla 3.3. Espectro multifractal de la precipitación en Viedma (período 1981-2020)..	45
Tabla 4.1. Comparación entre fases de índices de teleconexión climáticos estudiados y la ocurrencia de inundaciones fluviales (período 2003 – 2020).....	69
Tabla 5.1. Reportes de inundaciones y anegamientos del terreno acontecidos en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (período 1829 – 2021).....	82
Tabla 5.2. Análisis de homogeneidad a través de la prueba de Levene para las series de cotas mensuales de los limnógrafos TAC, PCP y SJ (período 2003 – 2021)....	82
Tabla 5.3. Tendencia detectada por la prueba de Mann-Kendall en las series de cotas en los limnógrafos TAC, PCP y SJ (período 2003 – 2021).....	84
Tabla 5.4. Amplitud y fase de los armónicos de las series de los limnógrafos TAC, PCP y SJ (período 2003 – 2021).....	85
Tabla 5.5. Prueba de homogeneidad a la serie de datos de la estación de Primera Angostura (período 1930 – 2021).....	88
Tabla 5.6. Descripción de los parámetros estadísticos básicos del caudal del río Negro para la Estación Primera Angostura (período 1930 – 2021).....	88
Tabla 5.7. Tendencia detectada por la prueba de Mann-Kendall de la Estación Primera Angostura entre (período 1930 - 2021).....	90
Tabla 5.8. Valores extremos de caudal y sus períodos de retorno a través del cálculo de la función de distribución de Gumbel con datos de la Estación Primera Angostura (período 1930 – 2021).....	90
Tabla 6.1. Categorías del índice SPEI.....	102
Tabla 6.2. Criterios y ponderaciones utilizados en el procesamiento en la Evaluación Multicriterio..	105

Tabla 6.3. Clases de susceptibilidad obtenidas de la Evaluación Multicriterio.....	107
Tabla 6.4. Listado de imágenes satelitales disponibles para el área de estudio durante los períodos muy y extremadamente húmedos indicados por el SPEI (período 1998 – 2021)....	108
Tabla 7.1. Indicadores empleados para calcular la vulnerabilidad sobre la base de criterios publicados por Renda et al. (2017).....	128
Tabla 7.2. Criterios empleados para calcular el grado de vulnerabilidad ....	129
Tabla 8.1. Criterios empleados para calcular el nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones.....	146
Tabla C.1. Síntesis del análisis del riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones fluviales en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro.....	217

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### 1.1. Marco Teórico

El ser humano, al igual que otras formas de vida, es profundamente influido por su entorno natural, el cual provee no solo los recursos esenciales para la vida en sociedad, sino también peligros, amenazas y desafíos con el potencial de impactar negativamente su bienestar y supervivencia (Calvo García-Tornel, 1984). La concreción de alguna de estas amenazas (peligrosidad) en una comunidad vulnerable origina un desastre<sup>1</sup> (Renda et al., 2017). Las pérdidas derivadas de la ocurrencia de un desastre pueden ser directas o indirectas, relacionándose las primeras al daño físico (expresado en el número de víctimas) y la alteración del hábitat (daños en infraestructura de servicios públicos, edificaciones, industria, comercio y deterioro del medio ambiente), mientras las segundas pueden ser de índole económica (alteraciones en el comercio e industria, desmotivación de realización de inversiones, baja productividad y generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción) y social (interrupción del transporte y de los servicios públicos (Cardona, 1993).

Según la OEA (1993) y Lavell (2001), la ocurrencia de un desastre no es más que la materialización del riesgo. En este sentido, el riesgo se define cómo la probabilidad de ocurrencia de un peligro, ya sea de origen natural o humano (Moreno y Múnera, 2000), que puedan generar potenciales daños y pérdidas a la sociedad (Vilches y Martínez Reyes, 2011). En otras palabras, el riesgo de desastre surge de la interacción, en un espacio y tiempo determinados, entre una amenaza y una población vulnerable (Lavell, 2001; Renda et al., 2017).

Los factores que promueven la ocurrencia de desastres no son estáticos, por lo que es posible emprender acciones que ayuden a reducir el riesgo asociado a la concreción de amenazas (Fenoglio, 2019). Una herramienta es la valuación o evaluación del riesgo (Vilches y Martínez Reyes, 2011). En este sentido, estos autores establecen que a través de este tipo de análisis es posible realizar la estimación del nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de posibles amenazas y de condiciones de vulnerabilidad preexistentes que, en conjunto podrían dañar potencialmente a la

---

<sup>1</sup> evento que tiene la capacidad de causar una grave interrupción en el funcionamiento de una sociedad, provocando muertes, enfermedades, pérdidas materiales u otras privaciones graves que exceden la capacidad de la comunidad afectada para enfrentarlo con sus propios recursos (UNISDR, 2009)

población, la propiedad, los servicios, los medios de sustento expuestos y el entorno del cual dependen. Los factores de riesgo son: amenaza (peligrosidad), exposición y vulnerabilidad (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002).

Una amenaza (peligro) es un factor externo representado por la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno adverso<sup>2</sup> (natural o derivado de la actividad humana) que encierra el potencial de causar daños a la sociedad y sus bienes materiales (Unesco, 2014; Renda et al., 2017). Los fenómenos de origen natural (terremotos, inundaciones, huracanes, erupciones volcánicas) u antrópico (mal manejo de una crecida<sup>3</sup>, rotura de una presa, accidentes tecnológicos o contaminación) no son peligros por si solos, más bien se convierten en estos cuando se manifiestan en áreas pobladas (Aneas de Castro, 2000). Los estudios relativos al análisis de la producción de amenazas se componen de varias etapas de análisis, las cuales son (Renda et al., 2017):

1. Definición del área de afectación de la amenaza (barrio, comuna, municipio o región).
2. Identificación de los factores desencadenantes de la amenaza.
3. Definición del parámetro de medición del peligro, manifestaciones de la amenaza y períodos de retorno<sup>4</sup>.
4. Caracterización de la zona de afectación, lo cual implica la descripción del medio físico-natural. La realización de este tipo de descripciones se realiza usualmente mediante un estudio de susceptibilidad referido a la valoración espacial de los factores condicionantes que determinan, según ciertos criterios, cuan proclive a la ocurrencia de la amenaza es el área de estudio (Liendro Moncada y Ojeda, 2018). En este caso, la susceptibilidad se expresa mediante un índice de escala relativa, generado por la suma ponderada de factores condicionantes, siendo clasificado finalmente en base a diferentes niveles de propensión (SIGMA, 2023).

El análisis de vulnerabilidad se refiere a las condiciones sociales, económicas, culturales, institucionales y de infraestructura previas a la ocurrencia de un desastre, que hacen que una población sea vulnerable frente a la amenaza (Fenoglio, 2019). Aunque la amenaza es la causa externa de un desastre, la presencia de mayores o menores condiciones de precariedad determinará la gravedad de los daños que pueda

---

<sup>2</sup> situación, suceso o hecho que produce una alteración de la vida de las personas, economía, sistemas sociales y el ambiente, causado por fenómenos de origen natural o provocados por el hombre (Renda et al., 2017)

<sup>3</sup> eventos en los que el caudal de un río aumenta por encima de lo normal durante un periodo de tiempo determinado (Marienhoff, 1971; Allende, 1971).

<sup>4</sup> tiempo promedio en que se produce un evento en un espacio determinado (Vilches y Martínez Reyes, 2011).

causar (Unesco, 2014). La realización de estudios de vulnerabilidad abarca diferentes dimensiones (Renda et al., 2017):

1. vulnerabilidad física (exposición): referida a la localización de los asentamientos humanos y existencia de deficiencias de las estructuras física (hogares e infraestructura crítica) para absorber los efectos de las amenazas,
2. vulnerabilidad social: se vincula a las condiciones de vida generales e incluye aspectos relacionados al acceso a la educación, salud, equidad social y seguridad.

En muchas ocasiones, el factor exposición se encuentra fusionado con la vulnerabilidad social en los modelos de análisis de riesgo (Vilches y Martínez Reyes, 2011). Así, la realización de estudios de vulnerabilidad implica la caracterización de la población vulnerable, incluyendo la cantidad de población, la pirámide demográfica, las características socioeconómicas, el tipo y la calidad de los materiales usados en la construcción de las viviendas, así como la infraestructura productiva y de servicios públicos, como las redes de electricidad, gas, agua potable y cloacas, y los sistemas de comunicaciones y transporte público (Renda et al., 2017).

Actualmente, las inundaciones son reconocidas como una de las principales causas de daños económicos y pérdida de vidas humanas en todo el mundo (Dottori et al., 2016). En Argentina, se estima que uno de cada tres habitantes vive en áreas inundables, lo cual suma 14,2 millones de personas (Foro Ambiental, 2017). Los datos proporcionados por el Banco Mundial (2014) establecen que estos eventos extremos representan el 60 % de los desastres naturales y causan el 95 % de los daños económicos a nivel nacional.

Acorde al Glosario Hidrológico Internacional (WHO-UNESCO, 2012), las inundaciones se definen como:

- 1) el aumento del nivel de agua de un río o arroyo hasta un máximo desde el cual la altura de la columna de agua desciende a menor velocidad. Este concepto se refiere a una crecida o inundación en un cuerpo o cuerpo de agua cuando hay una cantidad significativa de agua que fluye debido a lluvias intensas, deshielo u otras causas.
- 2) la producción de grandes caudales de un río o arroyo medido por medio de la altura de nivel o su descarga. En este caso, se refiere a la cantidad de agua que fluye a través de un cuerpo o cuerpo de agua en un período de tiempo dado. La variable más usada es el caudal, el cual se puede medir de varias maneras: una es a través de la altura del nivel del agua o mediante la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo (descarga).
- 3) aumento por encima de lo habitual del nivel de la marea.

Las inundaciones son originadas por el paso de eventos meteorológicos extremos y fallas tecnológicas, además son condicionadas por las modificaciones humanas realizadas a la morfología del terreno (Carignano, 2017). Entre las causas que originan eventos de inundación se encuentran intensas y/o prolongadas precipitaciones, mareas de tormenta, fuerte oleaje o la falla de alguna estructura hidráulica, lo cual provoca un incremento en el nivel del nivel de la columna de agua de ríos o el mar (Ollero Ojeda, 1997; Adhikari et al., 2010). Las inundaciones se clasifican acorde a su tipo (Tucci, 2005; IPCC, 2013; Fenoglio, 2019):

- Inundación por desborde de cursos de agua: cuando las zonas ribereñas son cubiertas por las aguas producto de un aumento de caudal de un río.
- Inundación por anegamiento debido a lluvias locales: situación en que los terrenos son temporalmente cubiertos por las aguas en situación de lluvias abundantes y/o intensas, debido a una baja capacidad de infiltración, a la presencia de zonas bajas o deprimidas y deficiencia de la red de avenamiento.
- Inundación por anegamiento debido al afloramiento de agua subterránea: se refiere a los terrenos que son anegados debido al ascenso de la capa freática con motivo de lluvias prolongadas y tratarse de zonas topográficamente bajas.

Los factores que incrementan la susceptibilidad de una región ante eventos de inundación abarcan diversos aspectos. Uno de ellos se relaciona con la baja capacidad de los suelos para absorber el agua y su manejo inapropiado. Además, la insuficiente capacidad de desagüe de los cursos de agua y la escasa pendiente del terreno contribuyen a esta susceptibilidad (Olivera Acosta et al., 2011). La alteración en la cobertura del suelo, producto de las actividades humanas, así como la acumulación de desechos y escombros, la pérdida de áreas forestales, la urbanización y la canalización de los cauces fluviales, generan una disminución en la capacidad de absorción del terreno y en la eficacia del drenaje fluvial (Zepeda González, 2011; Nahiduzzaman et al., 2015; Camilloni et al., 2020). Específicamente en áreas altamente antropizadas por la actividad humana, cuando lluvias intensas acontecen en un corto lapso de tiempo, los suelos se saturan, interrumpiendo el proceso de infiltración y originando un exceso de agua en la superficie (Taboada y Damiano, 2017). Las condiciones y factores previamente mencionados tienen como resultado el aumento de la vulnerabilidad de una región ante eventos de inundación debido a la ocupación de las planicies adyacentes a las riberas por parte de la sociedad, la concentración de flujos en zonas deprimidas, bloqueos en infraestructuras tales como carreteras, vías férreas y comunidades locales (Robles Iriarte, 2019). Estas circunstancias, a su vez, resultan en pérdidas significativas tanto en términos humanos como socioeconómicos (Sedano Cruz, 2017).

La variabilidad natural del clima<sup>5</sup> y el cambio climático influyen en los procesos hidrológicos (Nunes y Lopes, 2016). Las inundaciones son eventos cíclicos propios de la dinámica de los cursos y cuerpos de agua, por lo que es probable que ocurran cada cierto período de tiempo (recurrencia) (Fenoglio, 2019). Sin embargo, cambios en el clima originan desde largos períodos de escasos caudales hasta violentas crecidas (IPCC, 2014). Dado que la variabilidad climática y el cambio climático alteran la frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos (IPCC, 2021), comprender la influencia de ambos factores es crucial para llevar a cabo tareas preventivas ante la ocurrencia de desastres asociados a inundaciones.

La variabilidad climática y el cambio climático son conceptos diferentes. La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones naturales de las variables climáticas, como la temperatura y la precipitación, por encima o por debajo de los valores promedio durante períodos superiores a 30 años (IDEAM, 2019). Estas fluctuaciones se deben a diversos factores, como la órbita de la Tierra, la radiación solar, la composición química de la atmósfera, la circulación de los océanos y cambios en la biosfera (IPCC, 2013). El estudio de la variabilidad climática se realiza en diferentes escalas de tiempo y espacio, desde estacional<sup>6</sup> e intraestacional<sup>7</sup> hasta interanual<sup>8</sup> e interdecadal<sup>9</sup> (Pabón, 1997).

Por otro lado, el cambio climático se refiere a las variaciones significativas del clima que ocurren cuando se comparan períodos prolongados (IDEAM, 2019). Estas variaciones pueden ser causadas por procesos naturales internos, como variaciones en el ciclo solar y erupciones volcánicas, o por forzamientos externos, como cambios persistentes en la composición de la atmósfera y el uso del suelo causados por el ser humano. El estudio del cambio climático se realiza en escalas de tiempo más largas, como décadas o más (Fenoglio, 2019).

Debido a que lluvias localmente intensas producen inundaciones, el estudio de la precipitación, su variabilidad y tendencia es vital para determinar la probabilidad de producción de desastres asociados a eventos de inundación (Fenoglio, 2019; IPCC, 2021). Particularmente, en Argentina se han observado cambios muy significativos en

---

<sup>5</sup> condiciones atmosféricas predominantes durante un período determinado sobre un lugar o una región (Pabón, 1997; IPCC, 2014; IDEAM – UNAL, 2018).

<sup>6</sup> clima a nivel trimestral, donde también están incluidas las variaciones mensuales (Pabón, 1997; Fenoglio, 2019).

<sup>7</sup> períodos menores a 90 días y mayores que 4 y 9 días (escala sinóptica) (Bluestein, 1993; Fenoglio, 2019).

<sup>8</sup> variaciones que se presentan en las variables climatológicas de año en año y está relacionada a la variabilidad natural a corto plazo relacionada con modelos recurrentes de presión atmosférica y circulación oceánica, como es el caso los episodios de El Niño y La Niña (Montealegre y Pabon, 2002).

<sup>9</sup> fluctuaciones decádicas del clima (Fenoglio, 2019).



la ocurrencia de eventos extremos de precipitación, tales como lluvias muy intensas ocurridas en poco tiempo y sequías prolongadas (Rusticucci y Penalba, 2000; Nuñez et al., 2005; Haylock et al., 2006; Castaño et al., 2007; IPCC, 2013; Cavalcanti et al., 2015). También se han observado cambios en los caudales de los principales ríos del territorio argentino asociados a la variabilidad del régimen de lluvias (Pasquini y Depetris, 2007; Romero et al., 2014; Vich et al., 2014). Mientras los ríos de la Plata, Paraná, Paraguay, Uruguay incrementaron su volumen debido a mayores precipitaciones, los caudales del Colorado, Negro, Limay y Neuquén (principales cursos de agua de la Patagonia argentina) presentaron una tendencia negativa (Fenoglio, 2019).

A nivel global las inundaciones son una problemática recurrente, no solo por la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, sino debido a las diferentes formas en las cuales históricamente se han apropiado y ocupado zonas inundables (Fekete, 2010; Tate et al., 2021). La decisión de urbanizar terrenos aledaños al río y zonas susceptibles a inundarse suele generar condiciones de vulnerabilidad y exposición de la población que las ocupa (Viand y González, 2012). La sensación de confianza que generan obras de infraestructura como canales, entubamientos, represas y terraplenes produce que la población minimice, relegue u olvide el hecho que esa zona se inunda (AIC, 2020).

La ocupación de zonas propensas a inundaciones aumenta la probabilidad de ocurrencia de un desastre (de Mattos, 2010; Koks et al., 2015; Rojas et al., 2017; Zapperi y Olcina, 2021). A menudo, el riesgo de inundaciones se ha analizado en la literatura sin integrar estudios relacionados a la ocurrencia de la amenaza y vulnerabilidad asociada a condiciones económicas desfavorables de los residentes (Blaikie et al., 1996; Montecelos Zamora et al., 2010; Oliveira Acosta et al., 2011; Ferrari, 2012; Etulain y López, 2017; Olín Fabela, 2017; Carrascal et al., 2018; Igarza Sánchez, 2019; Jorquera Santis et al., 2019). Si bien las investigaciones con enfoques exclusivamente técnicos o sociales son importantes, el análisis del riesgo de desastres depende tanto de la ocurrencia de la amenaza como de la vulnerabilidad de la sociedad afectada, por lo tanto, ambas áreas del conocimiento deben abordarse de manera integrada e interdisciplinaria (Renda et al., 2017).

En la actualidad, los estudios de riesgo ante eventos extremos se enfocan en la integración de indicadores sociales, económicos y físicos (Birkmann et al., 2013; Godfrey et al., 2015; Madruga de Brito et al., 2018). Por ejemplo, en Alemania se ha demostrado que, la población de recursos económicos limitados asentada en zonas cercanas a los ríos Rin, Elba y Danubio ha sido especialmente vulnerable ante crecidas de estos cuerpos de agua (Fekete, 2010). En EE.UU, los residentes de casas móviles y

las minorías raciales han sido identificados como los sectores más socialmente vulnerables ante la ocurrencia de inundaciones (Tate et al., 2021).

Una evaluación del riesgo ante inundaciones urbanas a lo largo del río Dianbao fue realizada sobre la base del peligro de ocurrencia del fenómeno y vulnerabilidad de la población en la ciudad de Kaohsiung (S de Taiwan) (Liu et al., 2021). Los resultados de la investigación incluyeron la delimitación del área de afectación de inundaciones con períodos de retorno de 50, 100 y 200 años, además de la confección de mapas de vulnerabilidad social. Tras detectar cuáles áreas presentaron mayores riesgos, los autores propusieron diferentes estrategias de mitigación a los responsables de la toma de decisiones.

Un nuevo índice de vulnerabilidad ante inundaciones que combina modelos hidrológicos e hidráulicos de alta resolución con indicadores socioeconómicos fue propuesto para la localidad de Marrickville (Australia) (El Zein et al., 2021). Los autores presentaron y discutieron el trabajo con el gobierno local con el fin de implementar políticas de adaptación eficientes ante la ocurrencia de inundaciones. En esta instancia, los tomadores de decisión resaltaron la utilidad potencial del conocimiento generado por la evaluación, especialmente para los servicios de emergencia.

En Argentina, la delimitación de las zonas de alto riesgo ante inundaciones se lleva a cabo considerando la susceptibilidad a inundaciones de las áreas y la vulnerabilidad de los residentes (Angheben, 2012; Herrero et al., 2018). En un estudio reciente, se demostró que las crecidas del río de La Plata y sus tributarios agravaron la vulnerabilidad preexistente en los asentamientos marginales y pobres de la región metropolitana de Buenos Aires (Rotger et al., 2018). El aumento de la frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos y la ineficacia de las medidas de prevención y mitigación provocaron que el 22 % de la población de la ciudad de Santa Fe fuera vulnerable a las inundaciones en 2019 (Cardoso, 2019). Además, la falta de conocimiento sobre las zonas susceptibles a inundaciones en Coronel Suárez, Buenos Aires, lleva a los residentes a no percibir el riesgo real de inundación en su área (Moretto y Gentili, 2021).

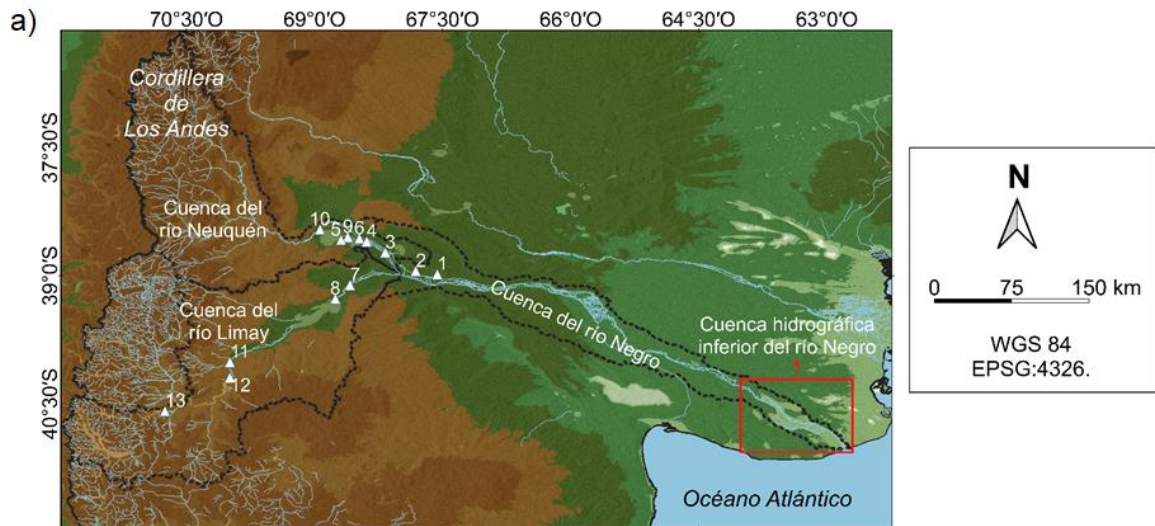
La Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC) (AIC, 2022) (<http://www.aic.gov.ar>) define las cuencas hidrográficas como áreas que se caracterizan por una rica diversidad de ecosistemas y gran cantidad de actividades socioeconómicas que se desarrollan en ellas. Un ejemplo de ello es el sistema hidrográfico de los ríos Limay, Neuquén y Negro (Figura 1.1a), el cual es uno de los más importantes en el territorio argentino (AIC, 2020). Actualmente, este sistema ha sido antropizado y múltiples sectores han sido rellenados y/o nivelados para su incorporación a la planta

urbana (Ambrosio y Suárez, 2016; Torrens y Jurio, 2016), lo que ha provocado obstrucciones en el drenaje natural y la modificación de la divisoria de aguas.

Las bruscas variaciones de caudal del río Negro (RN) (Figura 1.1a) han originado graves daños socioeconómicos en sectores aledaños a su ribera desde 1899 (Perazzo y Ferrari Bono, 1960; Misa, 1978; Pérez Morando, 2005; Marizza et al., 2010; Brailovsky, 2012; Brieva, 2018; Zabala et al., 2021). El sector inferior de la cuenca hidrográfica del RN, (comprendido entre la desembocadura del curso de agua en el océano Atlántico y Segunda Angostura) (Soldano, 1947) (Figura 1.1b), históricamente ha demostrado ser particularmente susceptible a las crecidas fluviales (ver Tabla 5.1 en Capítulo 5) (Petri, 1992; La Nueva, 2006; D'Onofrio et al., 2010; Brailovsky, 2012; AIC, 2020; DesInventar, 2021). Un ejemplo de lo anterior es el registro de las inundaciones acontecidas en los años 1976, 1977, 2010 (DesInventar, 2021) y recientemente, en febrero y septiembre - 2019, y mayo - 2021, de las cuales provocaron evacuaciones y daños materiales a sectores populares de limitados recursos económicos (ADN Río Negro, 2019; Noticias Río Negro, 2019; Diario Río Negro, 2021).

De las localidades y centros urbanos emplazados en el área de estudio, históricamente Viedma ha sido la ciudad más expuesta a la ocurrencia de desbordes fluviales (Brailovsky, 2012). Esta situación ocurre debido a localización en la parte baja de la barranca del valle de inundación de RN entre 3,5 y 4,5 m s.n.m (Merg y Petri, 1998) (Figura 1.1b). Una situación diferente es la de Carmen de Patagones localizada en una zona libre de crecidas a ~ 20 m s.n.m (Brailovsky, 2012).

Las secuelas de la ocurrencia de desastres asociados a inundaciones han perjudicado el desarrollo económico del valle inferior del RN, la cual es una de las principales zonas de producción fruti - hortícola de Argentina (Mazzulla, 1974). Las principales consecuencias de la ocurrencia de inundaciones en la cuenca hidrográfica inferior del RN (chiRN) incluyen daños a la infraestructura (rutas, ferrocarriles, red de riego, centros urbanos), disminución de la capacidad agrícola (erosión del suelo, destrucción de plantaciones, falta de aprovechamiento de zonas aptas y con potencial agrícola adyacentes al río, etc) y destrucción de cultivos (AIC, 2020).



#### Referencias

△ Represas y embalses de agua (ORSEP; 2017; Portal Riesgo IGN, 2018)

Topografía (m s.n.m) (Farr et al., 2007)

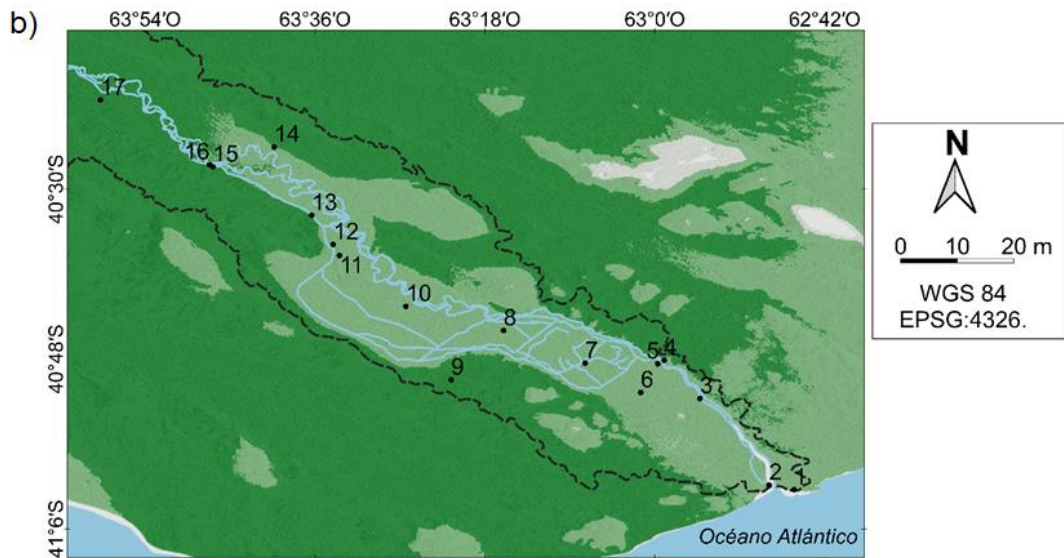
- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 1. Roca               | 7. Arroyito           |
| 2. Allen              | 8. El Chocón          |
| 3. El Chañar          | 9. Portezuelo Grande  |
| 4. Planicie Banderita | 10. Pichi Picún Leufú |
| 5. Mari Menuco        | 11. Piedra del Águila |
| 6. Loma de la Lata    | 12. Alicurá           |

0 30 200 500 1000 2500 4000

▭ Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)

▭ Límite del sistema hidrográfico conformado por los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC, 2022)

▬ Cursos y cuerpos de agua permanentes (Portal de Hidrografía y Oceanografía IGN, 2018)



#### Referencias

Localidades y parajes (INDEC, 2010)

Topografía (m s.n.m) (Farr et al., 2007)

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| 1. Villa 7 de marzo (paraje)            | 10. Zanjón de Oyuela (paraje)  |
| 2. La Boca (paraje)                     | 11. Cubanea (paraje)           |
| 3. Loteo Costa de Río (localidad)       | 12. La Matilde (paraje)        |
| 4. Carmen de Patagones (localidad)      | 13. Monte Bagual (paraje)      |
| 5. Viedma (localidad)                   | 14. Guardia Mitre (localidad)  |
| 6. El Paso (paraje)                     | 15. Primera Angostura (paraje) |
| 7. El Juncal (localidad)                | 16. Sauce Chico (paraje)       |
| 8. San Javier (localidad)               | 17. Segunda Angostura (paraje) |
| 9. General Nicolás H. Palacios (paraje) |                                |

0 10 50 100 150

▬ Cursos y cuerpos de agua permanentes (Portal de Hidrografía y Oceanografía IGN, 2018)

▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)



Figura 1.1. Área de estudio: a) sistema hidrográfico de los ríos Limay, Neuquén y Negro, b) cuenca hidrográfica inferior del río Negro, c) localización relativa del área de estudio en la República de la Argentina. Elaborado sobre la base de datos de Soldano (1947), Farr et al. (2007), SSRH (2010), INDEC (2010) e IGN (2018 y 2022).

Debido a los diversos daños que generan las inundaciones en la chiRN se han realizado algunos estudios donde se subzonifica el área en base a su susceptibilidad ante estos fenómenos. El litoral de la cuenca hidrográfica del RN fue clasificado como vulnerable<sup>10</sup> ante el ascenso del nivel del mar (Kokot et al., 2004). El régimen hidrológico del RN en su curso inferior y la recurrencia de sus crecidas fueron estudiados por la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y el Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA Río Negro) (UNL-DPA Río Negro, 2004). El ingreso de la marea astronómica, procedente del océano Atlántico, en el curso del RN induce que su régimen sea fluviomarino desde la desembocadura del río hasta San Javier (Figura 1.1b) (UNL-DPA Río Negro, 2004). Conforme la onda de marea avanza aguas arriba, su influencia sobre el régimen hidrológico del RN es atenuada por la geometría del lecho del río, la profundidad y por el caudal aportado hasta anularse en San Javier, y consecuentemente el régimen del río pasa a ser fluvial (UNL-DPA Río Negro, 2004; D'Onofrio et al., 2010). Además, los resultados hallados por UNL-DPA Río Negro (2004) demostraron que, cada 10 años existe una alta probabilidad de ocurrencia de inundaciones asociadas a

<sup>10</sup> Kokot et al. (2004) no usan el término vulnerabilidad considerándola como una dimensión donde se incluyen los aspectos poblacionales, organización social, economía, programación, valores culturales, etc, sino calculan la vulnerabilidad a través de un algoritmo que relaciona datos geológicos, oceanográficos y climatológicos, calculados como índices de vulnerabilidad costera, también denominados índices de susceptibilidad (Shaw et al. 1998).

caudales superiores a  $2700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . En base a los períodos de retorno de las crecidas del RN fueron obtenidas las cotas máximas<sup>11</sup> de inundación desde la desembocadura del RN hasta la comarca Viedma - Carmen de Patagones (ver Figuras A.1, A.2, A.3 y A.4 en el Anexo A), por debajo de las cuales queda prohibida la realización de cualquier tipo de construcción. Esta información fue resumida en las resoluciones con número de expedientes: 41316-IGRH-12 638 (ver Figura B.1 del Anexo B), 41315-IGRH-12 (ver Figura B.3 del Anexo B) y 41316-IGRH-12 (ver Figura B.2 del Anexo B), aprobadas por el DPA Río Negro en 2012.

La ocurrencia de inundaciones en la chiRN se deben al paso de eventos meteorológicos extremos<sup>12</sup> y al aumento del caudal de los ríos Neuquén y Limay (ríos tributarios al RN) (UNL-DPA Río Negro, 2004; Romero et al., 2014). En algunos casos, la intensidad de las crecidas es agravada por la coincidencia de marea alta con altos caudales o la presencia de vientos fuertes y persistentes del sur (sudestadas) asociados con tormentas, o la conjunción de todos los factores mencionados (D'Onofrio et al., 2010). Aunque las crecidas de los ríos tributarios pueden causar inundaciones significativas en el Valle inferior del RN<sup>13</sup> (AIC, 2020), la causa principal de la elevación del nivel del agua suele ser de origen meteorológico (D'Onofrio et al., 2010). De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la Municipalidad de Carmen de Patagones (2019) señala que las inundaciones son el resultado principalmente de intensos vientos originados por la presencia de sudestadas, más que por un exceso de precipitaciones. No obstante, se han registrado lluvias extremas que en algunos casos han llegado a bloquear el acceso a diversos barrios.

La Municipalidad de Carmen de Patagones (2019) llevó a cabo un estudio sobre la vulnerabilidad en la región, empleando el Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres (IVSD), desarrollado para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Este índice evaluó tres dimensiones de vulnerabilidad social: condiciones

---

<sup>11</sup> altura de un punto referida al nivel medio del mar proporcionado por el mareógrafo de Riachuelo situado en el puerto de Mar del Plata, plano de comparación llamado Cero del I.G.M. (Instituto Geográfico Militar) (UNL-DPA Río Negro, 2004).

<sup>12</sup> ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) a los percentiles 10° o 90°. El comportamiento extremo del tiempo se clasifica como un fenómeno climático extremo cuando persiste durante cierto tiempo (p. ej., una estación), especialmente si sus valores promediados o totales son extremos (p. ej., sequía o precipitación intensa a lo largo de una temporada) (IPCC, 2013).

<sup>13</sup> también conocido como Valle de Viedma o Valle del IDEVI, está ubicado en la provincia de Río Negro y se extiende desde Primera Angostura (Figura 1.1b) hasta su desembocadura en el Océano Atlántico (ECYT-AR, 2014).

sociales, habitacionales y económicas, considerando variables como educación, salud, demografía, vivienda, servicios básicos, trabajo y constitución familiar. El cálculo del IVSD categorizó la vulnerabilidad en cinco niveles, revelando una alta y muy alta vulnerabilidad en las áreas periféricas del casco urbano debido a factores económicos, sociales y habitacionales desfavorables. En contraste, se identificaron niveles bajos y muy bajos en el centro y la margen norte del Río Negro, mientras que la zona rural contigua al casco urbano mostró una vulnerabilidad media.

A pesar de lo anteriormente expuesto, los trabajos realizados en chiRN solo aportan conocimientos previos sobre el medio natural y un estudio de vulnerabilidad ante inundaciones en la ciudad de Carmen de Patagones (Kokot et al., 2004; UNL – DPA Río Negro, 2004; D’Onofrio et al., 2010). Actualmente, el número de trabajos publicados e investigaciones donde se analiza detalladamente qué factores desencadenan inundaciones (amenaza), cuál es su área de afectación, su recurrencia o la vulnerabilidad de la sociedad ante la concreción de la amenaza, es limitado para el área de estudio. Por ello, la presente investigación procura realizar una contribución a la determinación del riesgo ante inundaciones en la chiRN, lo cual permitirá a los tomadores de decisión mantener una supervisión adecuada sobre la cuenca, así como trazar planes de prevención y mitigación.

## **1.2. Hipótesis y Objetivos del trabajo**

La hipótesis de trabajo de la presente investigación es la siguiente:

*“La cuenca hidrográfica inferior del río Negro presenta un riesgo medio y alto ante inundaciones, dado el asentamiento de población socialmente vulnerable en áreas propensas a inundarse. Este fenómeno se observa principalmente en la comarca Viedma – Carmen de Patagones”.*

El objetivo general de la presente tesis es estimar el riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Argentina).

Los objetivos específicos propuestos son:

1. Validar estadísticamente una base de datos meteorológicos de reanálisis de alta resolución espacio - temporal para posteriormente estudiar la variabilidad del clima del área de estudio.
2. Estudiar la variabilidad climática del área de estudio y la probabilidad de recurrencia de intensos vientos y precipitaciones en la cuenca hidrográfica inferior del RN.
3. Describir el régimen hidrológico del RN en su cuenca hidrográfica inferior y analizar la recurrencia de crecidas del RN.

4. Subzonificar el área de estudio acorde a su susceptibilidad considerando las características del suelo, cobertura del terreno y topografía, durante condiciones climáticas excepcionalmente húmedas.
5. Analizar la vulnerabilidad de los residentes del área de estudio acorde a condiciones socioeconómicas publicadas por el Censo 2010.
6. Integrar el nivel de susceptibilidad y vulnerabilidad para así detectar zonas de riesgo medio y alto ante inundaciones.

La tesis doctoral está organizada en 9 capítulos. Debido a la diversidad de temas a tratar en la investigación, en cada capítulo se detalla la metodología aplicada y se describen sus antecedentes.

En el *Capítulo 1* se provee el marco teórico, la hipótesis de trabajo y los objetivos planteados en el estudio, además de la descripción del área de estudio realizada sobre la base de bibliografía publicada. Si bien las inundaciones registradas en el área de estudio fueron frecuentemente originadas por fenómenos meteorológicos extremos, actualmente la existencia de pocas estaciones meteorológicas con registros extensos (superiores a 30 años) y continuos dificulta la realización de estudios de variabilidad climática, tendencias de variables meteorológicas y período de recurrencia de precipitaciones y vientos intensos capaces de generar inundaciones. Por ello, en el *Capítulo 2* se compara y se detecta cuál de tres bases de datos meteorológicos de reanálisis (POWER NASA Project, 2021; NCEP-NCAR, 2021; 3CN, 2021) posee un mejor ajuste estadístico con datos observados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021) e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2021).

En el *Capítulo 3* se estudia la variabilidad estacional de la temperatura del aire, precipitación, dirección y velocidad del viento con el empleo de la base de datos de reanálisis validados POWER NASA Project (2021) y observados por el SMN (2021). Además, se describen los ciclos estacionales, anuales y sus tendencias para temperatura y precipitación. Finalmente, se detectan cuáles son los periodos de retorno de precipitaciones y vientos intensos capaces de generar inundaciones. El estudio de variabilidad climática es complementado en el *Capítulo 4* con el análisis de la relación existente entre la ocurrencia de anomalías en las series de temperatura y precipitación a escalas interanual, con cambios de patrones de circulación oceánicos y atmosféricos explicados a través del uso de índices de teleconexión. También, se relaciona la ocurrencia de inundaciones con cambios producidos en diferentes escalas de variabilidad (baja frecuencia). El período de estudio de los análisis realizados es 1981 - 2020.

En el área de estudio, la manifestación de la amenaza (inundaciones) implica el aumento del caudal del RN. La descripción de estas crecidas y su recurrencia son



analizadas en el *Capítulo 5*. Debido a que el RN presenta dos regímenes hidrológicos en su curso inferior, el contenido del capítulo fue dividido en dos partes. En primera instancia se analiza el régimen fluvio – marino (desembocadura del RN - San Javier) (Figura 1.1b) a través del análisis de tres series de cotas procedentes de limnógrafos pertenecientes al DPA Río Negro (2022) para el período de estudio 2003 – 2021. Luego, las crecidas producidas aguas arriba de San Javier (régimen fluvial) son estudiadas sobre la base de datos de caudal obtenidos de la estación Primera Angostura (SNIH, 2021) desde 1930 hasta 2021.

La caracterización de la zona de afectación de las inundaciones (amenaza) es presentada en el *Capítulo 6*. Esta área fue delimitada a través de la detección de aquellas características del terreno que convierten a la zona en susceptible a inundarse en presencia de condiciones climáticas excepcionalmente húmedas. Este trabajo se realiza sobre la base de información brindada por el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, del inglés Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) (Vicente-Serrano et al., 2010) (<https://spei.csic.es>), productos satelitales y datos publicados por organismos oficiales de Argentina (SAGyP-INTA, 1990; Volante et al., 2009; SSRH, 2010; IGN, 2022; AIC, 2022). Tras la delimitación de zonas con niveles de susceptibilidad medio y alto, se determinó el período del año donde ocurrieron el mayor número inundaciones.

El análisis de vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones se realiza en el *Capítulo 7*. La información cartográfica se obtuvo a partir de los datos del Censo de 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC, 2010) (<https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>). Sin embargo, debido a que los datos provisionales del Censo 2022 (INDEC, 2022) (<https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-165>) no incluyen indicadores socioeconómicos como el porcentaje de población con necesidades básicas insatisfechas (NBI), el estado constructivo de las viviendas, el hacinamiento, el desempleo, entre otros, que son necesarios para llevar a cabo estudios de vulnerabilidad, se optó por utilizar los datos del Censo de 2010. Además, los resultados del Censo 2022 a nivel de radio censal aún no están disponibles, lo que impide el análisis en áreas pequeñas donde la población reside en sitios específicos. La población de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro se concentra en cinco localidades principales: Loteo Costa del Río, El Juncal, San Javier, Guardia Mitre y el conglomerado urbano de Viedma-Carmen de Patagones. Dado que la disposición de los asentamientos poblacionales es particular, los estudios se realizaron a nivel de radio censal. A falta de datos actualizados, se consideraron las condiciones socioeconómicas de 2010 como actuales para la realización de la cartografía de vulnerabilidad. Los radios censales se

analizaron como unidad de análisis y se estudiaron los indicadores asociados a la vulnerabilidad de la población ante posibles inundaciones.

En el Capítulo 8, se delimitaron aquellos sectores del área de estudio que mostraron niveles de riesgo alto y medio ante la ocurrencia de inundaciones. Finalmente, en el *Capítulo 9* se presentaron las conclusiones generales de la investigación.

### 1.3. Área de Estudio

El área de estudio es la cuenca hidrográfica inferior del río Negro perteneciente al sistema hidrográfico conformado por los ríos Neuquén, Limay y Negro (AIC, 2022) (<http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuena>) (Figura 1.1a). Según la delimitación realizada por Soldano (1947) y el Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH, 2010), el sector se extiende desde la desembocadura del río en el océano Atlántico hasta Segunda Angostura (Figura 1.1b), entre los 40°- 41° S y los 63°- 64° O, en el NE de la Patagonia argentina (Figura 1.1c). Su extensión superficial abarca aproximadamente 3000 km<sup>2</sup> y su orientación es NO-SE.

El río se localiza en el sector norte de la cuenca hidrográfica (Figura 1.1b), (AIC, 2020). El cauce del río es alóctono, ya que no recibe afluentes en sus 720 km de recorrido desde su nacimiento en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén (Figura 1.1a) hasta su desembocadura en el océano Atlántico (AIC, 2020). Su curso se extiende a lo largo de la meseta patagónica hasta su desembocadura en el océano Atlántico (Gianola Otamendi, 2019). El río presenta en sus sectores medio e inferior numerosas islas y lagunas temporarias (Frangi y Malacalza, 1978; Luchsinger, 2006; Prates, 2008), así como numerosos brazos secundarios, paleocauces que se activan en épocas de crecidas (Prates et al, 2019).

El caudal medio aforado del RN es 1020 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> y no presenta variaciones estacionales sustanciales (Coronato et al., 2017; Gianola Otamendi, 2019). Las crecidas del río Negro (RN) son influenciadas por los regímenes combinados de los ríos Neuquén y Limay, ambos originados en la cordillera de Los Andes (Brieva, 2018) (Figura 1.1a). El año hidrológico<sup>14</sup> de los ríos Limay, Neuquén y Negro comienza en el mes de marzo (Romero y González, 2016). El régimen de estos ríos es pluvio-nival caracterizado por dos crecidas máximas al año, una en otoño-invierno (época de mayores lluvias) y otra

---

<sup>14</sup> el año hidrológico en cada río comienza cuando se registra el mínimo caudal medio mensual (Romero y González, 2016).

en primavera (fusión de las nieves) (Gianola Otamendi, 2019). Las crecidas del Neuquén ocurren primero, con aumentos de caudal torrenciales<sup>15</sup>, seguidas de las del Limay, debido a la presencia de lagos naturales y diferentes represas que regulan el caudal del río (Brailovsky, 2012) (Figura 1.1a). Sin embargo, en épocas de lluvias intensas en la cordillera y cuando la capacidad de retención de agua se ve superada, se producen grandes caudales que desembocan en el RN (AIC, 2020).

Producto de la superposición de las ondas anuales de crecida del Neuquén y Limay, el RN posee una doble onda de crecida anual (Gianola Otamendi, 2019). Un máximo sucede en julio (invierno) y el otro en noviembre (primavera), siendo la crecida invernal más intensa que la primaveral (Brieva, 2018). Durante los meses de marzo y abril sucede la máxima bajante o también llamado período de estiaje<sup>16</sup> (Soldano, 1947).

El diseño del RN en su cuenca hidrográfica inferior es meandriforme de tipo anastomosado, con presencia de cauces abandonados o secos e islas (AIC, 2020). Su perfil longitudinal desciende desde Segunda Angostura ( $50 \text{ mkm}^{-1}$ ) hasta su desembocadura en el océano Atlántico (Soldano, 1947). En San Javier, la pendiente longitudinal presenta un brusco cambio y toma un valor de  $0,14 \text{ mkm}^{-1}$  descendiendo hasta Carmen de Patagones, localidad a partir de la cual reduce su valor a  $0,018 \text{ mkm}^{-1}$  hasta la desembocadura (UNL-DPA RíoNegro, 2004). El nivel medio del mar, en la boca del RN es  $0,967 \text{ m}$  por encima del cero del mareógrafo de Riachuelo (Perazzo y Ferrari Bono, 1960). El ancho del cauce varía de  $194 \text{ m}$  en Primera Angostura a  $300 \text{ m}$  en la desembocadura durante los períodos de estiaje (Prates et al., 2019).

Según la clasificación taxonómica de Soil Taxonomy (2006), los suelos de la zona de estudio pertenecen al orden Entisol y Aridisol, los cuales se caracterizan por presentar un drenaje moderado y deficiente (Pereyra, 2012). Debido a las características topográficas, permeabilidad, escorrentía superficial, cubierta vegetal y precipitaciones, los suelos de la chiRN son propensos a la erosión hídrica y eólica, así como a la degradación por sobrepastoreo (Panigatti, 2010). El relieve del norte de la cuenca está compuesto por bardas y terrazas (Fabregat, 2010), mientras que en el sur predominan geoformas llanas con pendientes inferiores al 3%, intercaladas con mesetas y cordones salinos que a veces superan los  $2 \text{ m s.n.m.}$  (ECYT-AR, 2014). En la desembocadura del río en el océano Atlántico se forman bancos que dan lugar a un delta de reflujos abiertos (Piccolo y Perillo, 1999; Longo et al., 2018). La chiRN se encuentra entre las

---

<sup>15</sup> crecidas repentinas y muy intensas, que pueden ser causadas por lluvias torrenciales en las montañas. Estas crecidas pueden ser peligrosas y causar inundaciones en áreas cercanas a los ríos (Shaban et al., 2018).

<sup>16</sup> nivel de caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año (Soldano, 1947).

ecorregiones Espinal y de Monte de llanuras y mesetas, con el desarrollo de vegetación principalmente arbustiva y pastizales de escaso desarrollo (Morello et al., 2012).

El clima en la chiRN está condicionado por la dinámica temporal de la circulación atmosférica en interacción con la topografía y la influencia del mar (Prohaska, 1976; Garreaud, 2009; Bianchi, 2016). Los patrones de circulación atmosféricos son simples y persistentes, con cambios estacionales debidos al movimiento latitudinal de centros de altas y bajas presiones (Coronato et al., 2017). Los anticiclones<sup>17</sup> semipermanentes del Atlántico y Pacífico Sur (centrados alrededor de los 30°S) y el cinturón de bajas presiones subpolares de los 60°S, son los sistemas sinópticos más influyentes en la meteorología de la región (Prohaska, 1976; Paruelo et al. 1998; Coronato et al., 2017).

La precipitación anual en el área de estudio no supera los 400 mm y su régimen es controlado por la migración estacional de las trayectorias de tormentas (Bianchi, 2016). Durante el verano, el movimiento latitudinal de los centros de altas presiones confiere a la zona condiciones áridas con lluvias esporádicas de origen convectivo<sup>18</sup> (Bianchi, 2016; Gentile et al., 2020). En la época estival, entre los 20° S y 30° S, se forma un sistema de baja presión térmica comúnmente conocido como baja del NO (baja del NOA) (Seluchi et al., 2003; Vimeux et al., 2009), que fuerza a las masas de aire cargadas de humedad de la zona amazónica a tomar dirección S y refuerza la circulación de las masas de aire oceánicas desde la costa hacia el continente (Bianchi et al., 2016). Esta introducción de aire húmedo alimenta la actividad convectiva en la zona costera con la consecuente producción de lluvias intensas y tormentas con granizo (Coronato et al., 2017). En cambio, durante el invierno la ocurrencia de precipitaciones se produce debido a la entrada de frentes fríos<sup>19</sup> y sistemas de bajas presiones (Nakamura y Shimpo, 2004; Garreaud et al., 2009). Un evento que favorece la producción de abundantes precipitaciones en el litoral durante el invierno y primavera es el arribo de vientos húmedos del E producto del estacionamiento de altas de bloqueo<sup>20</sup> sobre el Atlántico Sur (AS) (Gentile et al., 2020). La temperatura media del aire anual en el área de estudio se encuentra entre los 14 y 16°C (Bianchi y Cravero, 2010). Las mayores temperaturas se observan durante el mes de enero y las más bajas durante el mes de julio (Coronato et al., 2017).

---

<sup>17</sup> área de alta presión predominante durante una parte significativa del año (Allanby, 2008).

<sup>18</sup> lluvias resultantes del ascenso y enfriamiento del aire húmedo (Fenoglio, 2019).

<sup>19</sup> frente no ocluido que al avanzar hace que el aire frío remplace al aire caliente (Allanby, 2008).

<sup>20</sup> centro de alta presión (anticiclón) en latitudes medias o altas, que permanece cuasi estacionario o que se mueve lentamente en la dirección del flujo predominante, bloqueando el movimiento de los ciclones migratorios, y produciendo una bifurcación del flujo alrededor de él (Allanby, 2008).

La velocidad media del viento es elevada durante todo el año con un máximo en primavera (Coronato et al., 2017). La posición latitudinal del anticiclón del AS determina el régimen de vientos imperantes en el sector (Gentile et al., 2020). En verano, la circulación media de los vientos asociados al anticiclón subtropical se desplaza hacia el S, hasta una zona de transición ubicada a lo largo de los ríos Colorado y Negro, por lo que predominan los vientos del NE y E (Musi Saluj, 2018). En invierno se desplaza al N y predominan los vientos del O (Frumento, 2017). La posición del anticiclón semipermanente del AS ocasionalmente genera vientos del N que favorece la advección de masas de aire más cálidas a la región.

La acción combinada de un centro de alta presión ubicado sobre las costas atlánticas y una ciclogénesis originada en el centro-norte argentino produce la ocurrencia de fuertes vientos de los cuadrantes S y SE conocidos como “Sudestadas” (SMN, 1989a y b; García, 2011). El paso de estos eventos conlleva un descenso de la temperatura del aire y ocurrencia de precipitaciones que pueden ser fuertes, moderadas o débiles (García, 2011). Intensos vientos del S asociados al paso de estos sistemas sinópticos por el área de estudio ocasionalmente generan el cese del drenaje natural del río hacia el océano Atlántico y producirse severas inundaciones (UNL-DPA Río Negro, 2004) (ver Tabla 5.1 en Capítulo 5).

La existencia de los patrones de variación de la circulación atmosférica antes descritos determina que la chiRN presente características áridas y semiáridas (Mazzoni, 2010; Coronato et al., 2017). Acorde a la clasificación climática realizada por Morello et al. (2012), el área de estudio se localiza entre dos ecorregiones climáticas. El sector norte se encuentra localizado en la diagonal árida<sup>21</sup> (Gentile et al., 2020), mientras el S se ubica en una de las regiones más áridas de Argentina llamada ecorregión de Monte de llanuras y mesetas (Morello et al., 2012). La clasificación de Köppen-Geiger propone que la región es semiárida templada con veranos secos (Chen y Chen, 2013). Coronato et al. (2017) afirma que las condiciones climáticas responden a templado semiárido transicional debido a la influencia marítima. Gentile et al. (2020) clasificaron el sector S de la cuenca como de clima árido de estepa patagónica, mientras el norte, como transicional favorecido por el efecto moderador del mar que disminuye la amplitud térmica.

---

<sup>21</sup> macrorregión fisiográfica natural y continua de ancho variable y de gran extensión latitudinal caracterizada por su pronunciada aridez debido a la ocurrencia de escasas precipitaciones (Gonzalez Loyarte, 1995), que atraviesa el subcontinente sudamericano desde el NO al SE, (Bruniard; 1982; Moreira-Muñoz, 2011; Porras y Maldonado, 2018).

En el sector inferior de RN se localizan las unidades administrativas de Adolfo Alsina y Conesa (Provincia de Río Negro), además de Carmen de Patagones (Provincia de Buenos Aires). Las principales localidades<sup>22</sup> que se ubican en el sector son Loteo Costa de Río (665 habitantes), El Juncal (83 habitantes), San Javier (530 habitantes), Guardia Mitre (856 habitantes) y las ciudades de Viedma y Carmen de Patagones (73322 habitantes), además de los parajes<sup>23</sup> Villa 7 de marzo, La Boca, El Paso, General Nicolás H. Palacios, Zanjón de Oyuela, Cubanea, La Matilde, Monte Bagual, Sauce Chico (Figura 1.1b). En total, la población residente según el Censo de 2010, fue de 77910 personas (INDEC, 2010). El sector que históricamente ha presentado un mayor crecimiento poblacional es la comarca Viedma-Carmen de Patagones (Tabla 1.1) (INDEC, 2001; 2010; 2022).

<b>Censo/localidad</b>	<b>Censo 2001</b>	<b>Censo 2010</b>	<b>Censo 2022</b>
Viedma	46.948	52.789	62.000
Patagones	18.189	20.532	-
Viedma - Carmen de Patagones	65.137	73.322	92.914
El Juncal	61	83	-
San Javier	392	530	-
Guardia Mitre	582	856	-

Tabla 1.1. Demografía de las localidades ubicadas en el área de estudio (período 1960 - 2022). Elaborado sobre la base de datos del INDEC (2001, 2010, 2022).

Hasta principios de la década de los sesenta la población asentada en la chiRN era escasa (Alonso, 2017). No fue hasta la creación en 1961 del Instituto de Desarrollo del Valle Inferior (IDEVI), cuya implementación abrió una importante posibilidad de desarrollo a partir de la puesta bajo riego de dieciocho mil hectáreas dedicadas a la actividad fruti-hortícola, producción de pasturas y ganadería, que se produjo la primera ola migratoria hacia el área. Otro hecho relevante que incidió en la demografía regional fue el proyecto de traslado de la Capital Federal a la Comarca Viedma-Carmen de Patagones durante el gobierno del presidente Raúl Alfonsín (Proyecto Patagonia- año 1986). La puesta en marcha del Proyecto Patagonia atrajo a nuevos habitantes provenientes de diversas partes del país a la comarca, en búsqueda de oportunidades

<sup>22</sup> zonas de la superficie terrestre caracterizada por la continuidad de áreas edificadas y no edificadas conectadas entre sí por una red de calles donde se concentra población (INDEC, 2010).

<sup>23</sup> sectores de un área rural que se identifica con un topónimo cuyos límites, usualmente, no se encuentran definidos y la población reside en forma permanente o temporaria (INDEC, 2010).

y empleo (Alonso, 2017). Sin embargo, tras el fracaso del traslado de la capital y la disolución del Ente para la Construcción de la Nueva Capital (ENTECA), no se realizaron importantes mejoras en cuanto a infraestructura y equipamiento en la zona. Como resultado, gran parte de la población migrante quedó desempleada y sin vivienda.

La actividad económica del área de estudio se destaca por el predominio de actividades agrícolas intensivas bajo riego y ganadería (Brailovsky, 2012). En esta subregión se encuentra localizada Viedma, que es la sede del gobierno provincial. La actividad económica principal de esta ciudad es la administración pública (Alonso, 2017).

Históricamente, las crecidas naturales del RN y de la desaparecida laguna El Juncal<sup>24</sup> representaron una fuerte limitación para el desarrollo económico y ampliación de los núcleos poblacionales de la chiRN (AIC, 2020). Desde el siglo XVIII, los antiguos pobladores de la zona de estudio construyeron precarios terraplenes de defensa en los fondos de sus chacras y forestaron de manera rudimentaria para proteger la costa de la acción erosiva del río y evitar la destrucción de sus propiedades durante eventos de inundación (Reverter et al., 2005). Luego de la catástrofe causada por la crecida del RN en julio de 1899, se llevaron a cabo varias evaluaciones para controlar el cauce del río y los desbordes de la laguna El Juncal. La primera medida implementada fue la construcción de canales de terraplenes para obstruir las bocas de entrada en los zanjones que alimentaban la laguna, lo que resultó en la total desecación de la misma en la década de 1930 (Rey et al., 1981). Posteriormente, en los años 1970, se construyó un muro de hormigón armado contra inundaciones (Reverter et al., 2005). Además, aguas arriba, desde 1970 se reguló el caudal del RN mediante la construcción de varias represas en los ríos Limay y Neuquén (Figura 1.1a), así como varios canales de riego (Gianola Otamendi, 2019). Finalmente, en la década de 1980, se llevó a cabo una obra con gaviones para estabilizar la ribera del río en Viedma y Carmen de Patagones (Reverter et al., 2005).

En 2012, el Departamento Provincial de Aguas de Río Negro emitió tres resoluciones (ver Figuras B.1, B.2 y B.3 en el Anexo B), las cuales establecen regulaciones para el uso de los suelos por debajo de las líneas de ribera y evacuación de crecidas desde el Descargador Viejo del Instituto de Desarrollo del Valle Inferior del Río Negro (IDEVI) hasta la desembocadura. Estas resoluciones advierten a los residentes de la zona sobre el alto riesgo de daños causados por la presencia de

---

<sup>24</sup> cuerpo de agua de unos 60 km de longitud y 4 km de ancho ubicado en las proximidades de la actual ciudad de Viedma y separado del RN por unos 6 km que en épocas de máximas crecidas causaba inconvenientes a los vecinos de Viedma y San Javier (Rey et al., 1981)

pleamares y el paso de sudestadas. Luego, en 2018, la municipalidad de Viedma anunció el inicio de trabajos de relleno y la construcción de un talud para proteger la ciudad de eventuales crecidas del río (ADN, 2018). La altura máxima del terraplén será de 4,5 metros sobre el nivel del río en bajamar.

Debido a que la construcción de obras de ingeniería ha minimizado significativamente el impacto de las inundaciones, actualmente muchos pobladores de la chiRN sostienen la falsa creencia de que las crecidas del RN pueden ser reguladas completamente (Brailovsky, 2012). Si bien es cierto que las inundaciones provocadas por aumentos del caudal del río son controladas de una forma más eficiente que hace un siglo, la cuenca hidrográfica inferior sigue estando expuesta a los efectos de las crecidas fluviales (ver Tabla 5.1 en el Capítulo 5).



## CAPÍTULO 2

### VALIDACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS DE REANÁLISIS PARA EL ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DEL CLIMA DEL ÁREA DE ESTUDIO \*

#### 2.1. Introducción

El clima, su variabilidad y cambios a largo plazo modifican la frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos (IPCC, 2021). Por ello, realizar estudios actualizados referentes a la climatología local es crucial para llevar a cabo tareas preventivas ante la ocurrencia de desastres asociados a inundaciones. Sin embargo, la realización de investigaciones climatológicas en Sudamérica a menudo se encuentra limitada por una baja disponibilidad de datos meteorológicos procedentes de estaciones de medición cuyos registros son continuos (Shwerdtfeger, 1976; Garreaud et al., 2009; Bianchi, 2016). En Argentina, la gran extensión de su territorio dificulta la obtención de estudios climáticos regionales debido a una baja resolución espacial de las estaciones de medición (Paruelo et al., 1998; Bianchi, 2016). Las mayores restricciones se localizan en zonas con una baja densidad poblacional y escasa infraestructura, como es el caso de la Patagonia (Villarba et al., 2003; Viale y Garreaud, 2015).

Ante la falta de datos meteorológicos de alta resolución temporal (series de tiempo mayores a 30 años) y espacial (Paruelo et al., 1998; Bianchi, 2016), una alternativa ha sido la implementación de series de datos de reanálisis (Ferrelli et al., 2016). Este tipo de repositorios se obtienen a partir de la combinación de datos de medición, observación, simulación y aplicación de técnicas de asimilación de datos (Meteoblue, 2022). Actualmente existen gran cantidad de repositorios con datos de reanálisis, (p.ej., ERA5 (ERA5, 2023) (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>), UERRA Project (UERRA, 2023) (<https://uerra.eu>), CARRA (Carra, 2023) (<https://climate.copernicus.eu/copernicus-arctic-regional-reanalysis-service>), POWER NASA Project (POWER NASA Project, 2021) (<https://power.larc.nasa.gov>), NCEP/NCAR (NOAA, 2023) (<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/reanalysis-1-2>), 3CN (3CN, 2015) ([3cn.cima.fcen.uba.ar](http://3cn.cima.fcen.uba.ar)).

*\*El trabajo que se presenta en este capítulo es parte del siguiente artículo: García Bu Bucogen, G., Piccolo, M. C., y Bohn, V. Y. (2022). Implementación de datos meteorológicos modelados en el norte patagónico argentino (1982-2017). Investigaciones Geográficas, 78, pp. 67–87. <https://doi.org/10.14198/INGEO.21449>*

Un repositorio de datos ampliamente usado es POWER NASA Project del NASA Langley Research Center (LaRC) (POWER NASA Project, 2021). Esta base brinda datos meteorológicos de reanálisis horarios, diarios y mensuales desde 1981 hasta 2021 en formato ráster (Stackhouse et al., 2015; POWER NASA Project, 2021). POWER NASA Project ha sido empleada exitosamente en diversos estudios (Stackhouse et al., 2015; Sayago et al., 2017; Jiménez-Jiménez et al., 2021; Rodríguez y Braga, 2021; Al Kilani et al., 2021; Marzouk, 2021). En Lagunera (México) fue utilizada para el cálculo de la evapotranspiración potencial (Jiménez-Jiménez et al., 2021). Los datos de temperatura del aire máxima y mínimas y radiación solar de POWER NASA Project mostraron una alta correlación con mediciones meteorológicas en el S de Portugal, lo cual habilitó al repositorio para ser usado como base de datos meteorológicos alternativa en la zona (Rodríguez y Braga, 2021). POWER NASA Project fue validada por Al-Kilani et al. (2021) para detectar períodos secos y húmedos tras comparar los resultados obtenidos con el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés).

Sin embargo, diversas investigaciones encontraron limitaciones en la aplicabilidad de POWER NASA Project como repositorio alternativo de datos. En China se comprobó que los promedios mensuales de temperatura del aire fueron subestimados tras compararlos con datos provenientes de estaciones terrestres (Bai et al., 2010). La fiabilidad de los datos de precipitación y temperatura del aire en sectores alejados a sistemas montañosos de EE.UU fue limitada (White et al., 2008, 2011).

En Argentina, la estimación de parámetros meteorológicos a partir de datos de reanálisis ha sido exitosa en diversas regiones (Ferrelli et al., 2016; Bustos et al., 2017). La Base de Datos Climáticos de 3CN (CIMA/CONICET-UBA) (<http://3cn.cima.fcen.uba.ar>) incluye datos observados y simulados de temperatura del aire y precipitación hasta 1990 con los cuales se elaboró una caracterización climática de la Patagonia y otras zonas (3CN, 2015) (<http://3cn.cima.fcen.uba.ar>). Los datos de NCEP/NCAR presentaron una alta correlación con las mediciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para períodos superiores a 30 años (Ferrelli et al., 2016).

En la chiRN, la producción de fuertes lluvias en el sector cordillerano y litoral, además del paso tormentas con vientos intensos (> 40 km/h) de más de 6 h de persistencia promueven la ocurrencia de inundaciones (UNL-DPA Río Negro, 2004; D'Onofrio et al., 2010; AIC, 2022) (ver Tabla 5.1 del Capítulo 5). Para el área de estudio el paulatino aumento de las temperaturas produciría el incremento de las tasas de evaporación y por consiguiente, el desarrollo de ambientes más secos y vulnerables a la erosión hídrica (Flombaum et al., 2017). Esta condición sería agravada por la ocurrencia cada vez más frecuente de precipitaciones intensas de origen convectivo asociadas las tendencias positivas de la temperatura (Pessag et al., 2020).

Dada la necesidad de realizar estudios de variabilidad climática en la chiRN y las limitaciones existentes en cuanto a la adquisición de datos meteorológicos, el objetivo del presente capítulo es determinar cuál de los repositorios de datos meteorológicos de reanálisis: NCEP-NCAR, 3CN y POWER NASA Project, presenta el mejor ajuste estadístico en relación a datos observados por el SMN e INTA. El resultado esperable es la obtención de series de datos meteorológicos que permitan estudiar la variabilidad climática del área de estudio a diferentes escalas.

## 2.2. Método de trabajo

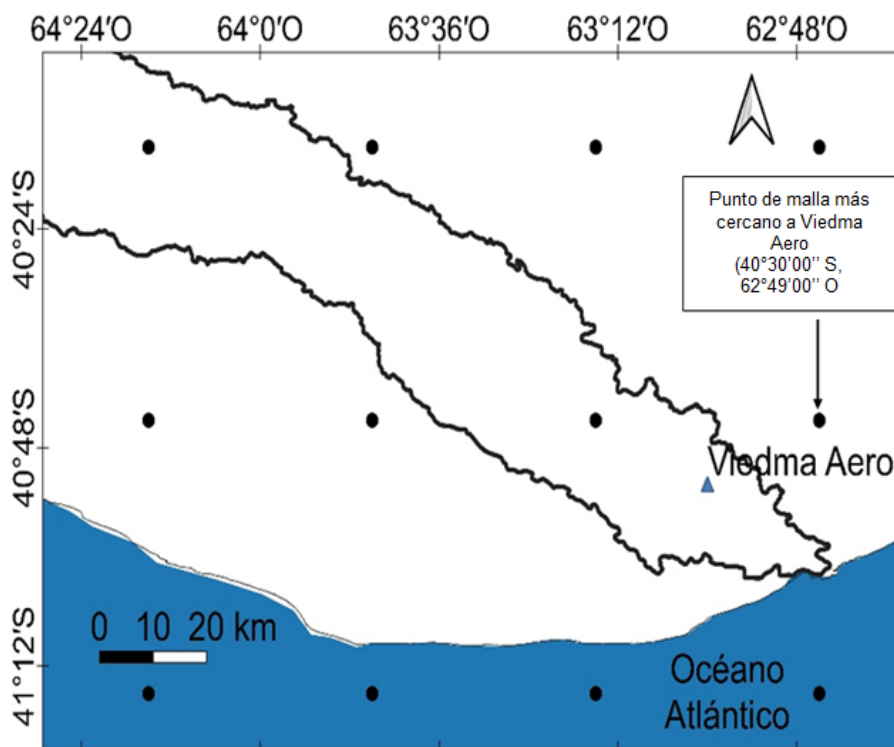
Las bases de datos de reanálisis evaluadas fueron: NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) (<https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>), 3CN (3CN, 2015) ([http://3cn.cima.fcen.uba.ar/login.php?refer=%2F3c\\_inicio.php%3F](http://3cn.cima.fcen.uba.ar/login.php?refer=%2F3c_inicio.php%3F)) y POWER NASA Project (POWER NASA Project, 2021) (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) (Tabla 2.1). NCEP/NCAR es una base de datos meteorológicos de reanálisis desde 1948. La base 3CN se usó en la 3ra. Comunicación Nacional de la República Argentina para elaborar una caracterización climática de la Patagonia argentina (3CN, 2015). POWER NASA Project es un repositorio de datos de alta resolución espacial (0,5°) y temporal (datos horarios, diarios, mensuales y anuales) (POWER NASA Project, 2021) (Figura 2.1).

Bases de datos analizadas	Tipo de datos	Variables	Período de estudio	Resolución espacial	Fuente
NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996)	Reanálisis	-temperatura del aire -velocidad del viento -precipitación	1948 – 2020	1.875° x 1.875°	<a href="https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl">https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl</a>
3CN (UBA-CONICET) (3CN, 2015)	Reanálisis	-temperatura del aire -precipitación	1961 – 1990	1°x 1°	<a href="http://3cn.cima.fcen.uba.ar/login.php?refer=%2F3c_inicio.php%3F">http://3cn.cima.fcen.uba.ar/login.php?refer=%2F3c_inicio.php%3F</a>
POWER NASA Project (POWER NASA Project, 2021)	Reanálisis	-temperatura del aire -velocidad del viento -precipitación	1981 - 2020	0.5° x 0.5°	<a href="https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/">https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/</a>
Servicio Meteorológico Nacional	Observados	-temperatura del aire -velocidad del viento -precipitación	1970 - 2015		<a href="https://www.smn.gob.ar/de-scarga-de-datos">https://www.smn.gob.ar/de-scarga-de-datos</a>

(SMN, 2021)

Instituto	Observados	-temperatura del aire -velocidad del viento -precipitación	2015 - 2020	<a href="https://inta.gob.ar/valleinferior">https://inta.gob.ar/valleinferior</a>
Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2021)				

Tabla 2.1. Listado y características de las bases de datos analizadas. Elaboración sobre la base de información previamente publicada por García Bu Bucogen et al. (2022) y modificada a efectos de emplear en la tesis.



### Referencias

- ▲ Estación meteorológica (SMN, 2021)
- Puntos de malla (POWER NASA Project, 2021)
- ▭ Limite de la cuenca hidrográfica inferior de río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Límites político – administrativos de Argentina (IGN, 2022)

Figura 2.1. Localización de estación de medición de Viedma Aero y malla de puntos de datos de reanálisis de POWER NASA Project. Elaboración sobre la base de los datos de SMN (2021) y POWER NASA Project (2021).

Los datos observados fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021). Dada la escasez de estaciones de medición con registros mayores a 30

años de medición, en la cuenca hidrográfica inferior solo fue posible utilizar la estación meteorológica ubicada en Viedma Aero (40°52'00" S y 63°00'00" O) (Figura 2.1). La resolución temporal de los datos usados fue mensual y el período de estudio fue enero de 1981 – diciembre de 2015.

La selección de la base de datos de reanálisis fue realizada a través del cálculo de los índices de Pearson y Spearman al 95 % de nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ) acorde a los criterios de interpretación proporcionados por Martínez Ortega et al. (2009) (Tabla 2.2). Para ello fueron comparadas las series de tiempo correspondientes a Viedma Aero (SMN, 2021) y el punto de malla más cercano a Viedma (Figura 2.1). Tras seleccionar la base de datos con mayor ajuste, se realizó la validación cuantitativa de los datos de reanálisis utilizando los datos observados desde enero/2016 hasta diciembre/2020 procedentes del SMN (2021) (Figura 2.2). Dicho set de datos no formó parte del análisis estadístico anteriormente realizado a fines de evaluar la confiabilidad y capacidad de generalización de la base de datos de reanálisis en condiciones no previstas. Al evitar posibles influencias de cambios temporales, se busca garantizar resultados más sólidos y representativos. Esta estrategia de validación cruzada fortalece la robustez y aplicabilidad de los resultados en el período de 1981 a 2020. La validación se realizó sobre la base de las diferencias entre los datos de reanálisis y los observados, además del cálculo del error de la raíz cuadrática media (RMSE, del inglés Root Mean Square Error) (McKeen et al., 2005; Savage et al., 2013; Chai et al., 2013).

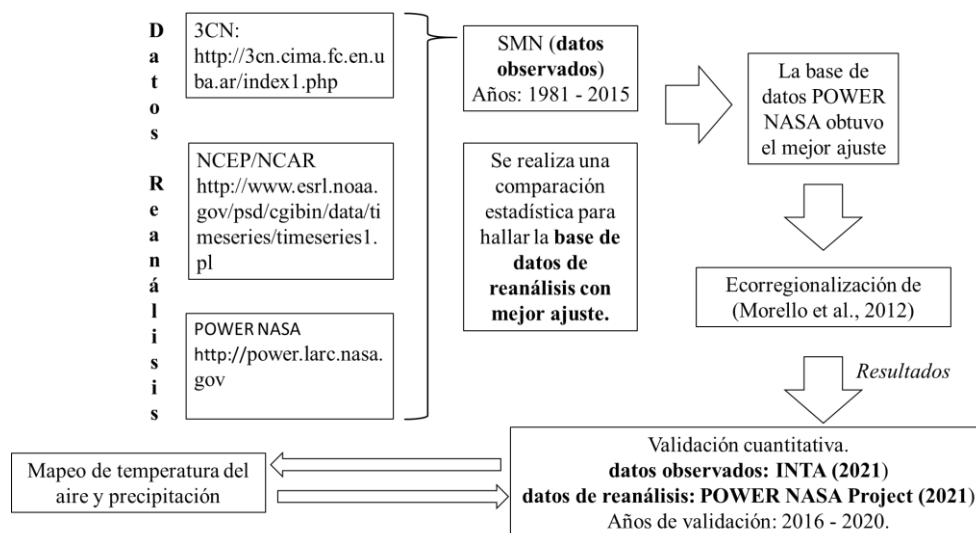


Figura 2.2. Protocolo para el análisis y validación de los datos meteorológicos. Elaboración sobre la base de información previamente publicada por García Bu Bucogen et al. (2022).

Escala para el rango de relación (Coeficientes de Pearson y Spearman)	
0 – 0,25:	Escasa o nula
0,26-0,50:	Débil
0,51- 0,75:	Moderada
0,76- 1,00:	Fuerte

Tabla 2.2. Escalas de interpretación de índices. Elaboración sobre la base de los criterios publicados por Martínez Ortega et al. (2009).

La prueba de Levene (supuesto de homogeneidad) fue aplicada al 95 % de confianza ( $\alpha=0,05$ ) para conocer si los datos proceden de una población (valores promedios calculados representativos de toda la serie de tiempo) o de varias poblaciones (Levene, 1960). Para ello, las series de tiempo fueron divididas en 4 muestras: 1981 - 1989, 1990 - 1999, 2000 - 2009 y 2010 - 2020. Tras cumplirse el supuesto de homogeneidad, fue descrita la distribución espacial de los parámetros sobre la base de los datos validados.

El mapeo fue realizado en el SIG QGIS (QGIS, 2022) (<https://www.qgis.org/en/site/>), el cual es un software libre y de código abierto. Los datos de reanálisis que presentaron un ajuste estadístico fuerte con datos observados por el SMN (2021) e INTA (2021) fueron representadas espacialmente. La resolución de los mapas raster georreferenciados obtenidos fue de 0,5°. El método de Ordinary Krigging<sup>25</sup> fue empleado para realizar la interpolación geoespacial de los datos climáticos. Esta elección permitió generar superficies continuas y suaves de temperatura y precipitación. Finalmente, los datos provistos por POWER NASA Project fueron comparados con la caracterización climática realizada por Bianchi y Cravero (2010), Morello et al. (2012) y Coronato et al. (2017) de la zona de estudio.

## 2.3. Resultados

### 2.3.1. Ajuste estadístico entre datos observados y de reanálisis (1981 – 2015)

Los análisis de correlación realizados entre las 3 bases de datos de reanálisis en relación a los datos observados, mostraron que la base de datos POWER NASA Project presentó las correlaciones más altas para las variables meteorológicas analizadas (Tabla 2.3). Según la clasificación de Martínez Ortega et al. (2009), la temperatura del aire obtuvo un ajuste fuerte (0,99). La correlación también fue fuerte para la variable

<sup>25</sup> variante del método de interpolación conocido como Krigging, que se utiliza para predecir valores desconocidos basados en observaciones existentes en puntos de muestreo.

precipitación (0.96 (Spearman) - 0.98 (Pearson)). El análisis estadístico para el viento fue débil con un valor de 0.27 (Spearman) – 0.31 (Pearson).

Repositorio / Variable	Pearson			Spearman		
	Temperatura del aire	Precipitación	Velocidad del Viento	Temperatura del aire	Precipitación	Velocidad del Viento
NCEP\NCAR	0,99	0,54	-0,23	0,99	0,53	-0,23
3CN	0,93	-0,08	-	0,94	0,02	-
POWER NASA Project	0,99	0,98	0,31	0,99	0,96	0,27

Tabla 2.3. Cálculo de índices de Pearson y Spearman por variable para cada base de datos reanálisis vs datos observados del SMN (período 1981 – 2015). Elaboración sobre la base de información previamente publicada por García Bu Bucogen et al. (2022) y modificada a efectos de emplear en la tesis.

En cuanto a la aplicabilidad de 3CN y NCEP\NCAR como bases de datos de reanálisis alternativas a emplear para el área de estudio se encontraron limitaciones. El ajuste estadístico entre la base de datos 3CN y los observados por el SMN (2021) fue débil (Tabla 2.3), además este repositorio solo ofrece datos de temperatura del aire y precipitación hasta 1990 (Tabla 2.1). En consecuencia a los resultados obtenidos no se considera factible su implementación para el área de estudio. NCEP\NCAR mostró una fuerte correlación para la temperatura del aire. Sin embargo, no se obtuvieron buenos ajustes para el resto de las variables, por lo que su uso como repositorio de datos alternativo para realizar estudios climáticos en la zona de estudio fue descartado.

El mejor ajuste estadístico entre los datos observados y de reanálisis correspondió a la base de datos POWER NASA Project (Tabla 3.3). En el punto de malla correspondiente a Viedma, la correlación para los datos de temperatura del aire y precipitación es fuerte, de acuerdo a la escala enunciada por Martínez Ortega et al. (2009) (Tabla 2.2). Sin embargo, la correlación entre los datos de reanálisis provistos por POWER NASA Project y los observados por el SMN para la velocidad del viento fue débil, y en consecuencia este resultado no hace factible el uso del repositorio para realizar estudios con la variable.

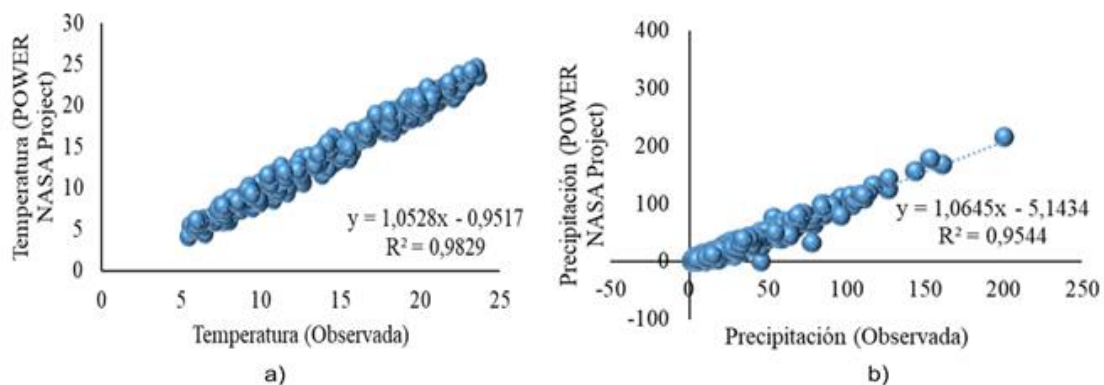
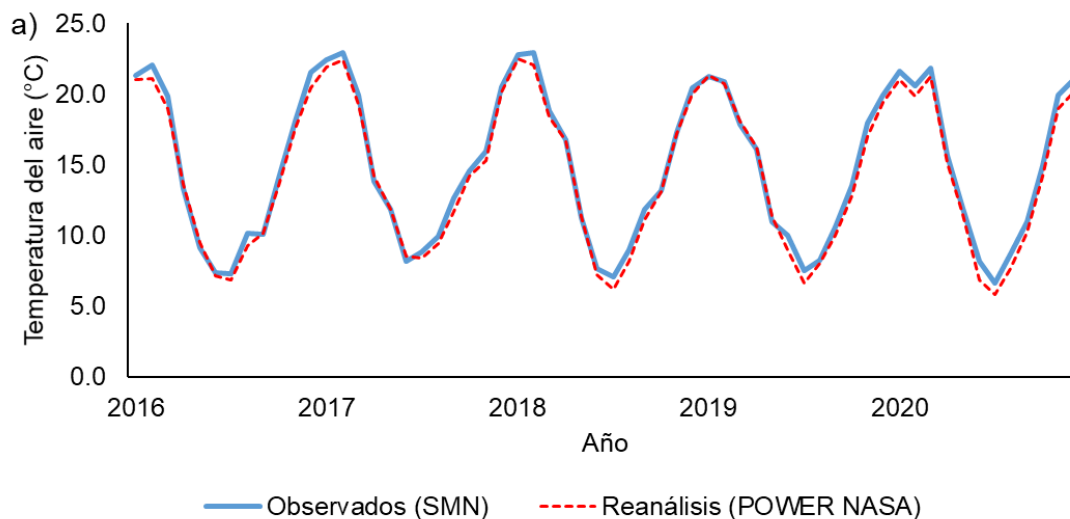


Figura 2.3. Gráfico de dispersión e índice de correlación ( $R^2$ ) entre datos de reanálisis POWER NASA Project y observados del SMN en Viedma (período 1981-2015): a) temperatura del aire, b) precipitación. Elaboración sobre la base de información previamente publicada por García Bu Bucogen et al. (2022).

Los gráficos de dispersión y el índice de correlación ( $R^2$ ) (Figura 2.3) mostraron que, para Viedma, el ajuste entre los datos de temperatura del aire y precipitación fue fuerte acorde a la escala enunciada por Martínez Ortega et al. (2009) (Tabla 2.2). La temperatura del aire fue la variable que presentó la correlación más alta (0,98).

### 2.3.2. Validación de POWER NASA Project (enero/2016 – diciembre/2020)

En el punto de malla correspondiente a Viedma, las diferencias encontradas para la temperatura del aire superficial fueron bajas para el período enero/2016 – diciembre/2020 (Figura 2.4a). En promedio, POWER NASA Project subestima la temperatura del aire entre 0,2 y 1,3°C (Figura 2.4b). En cambio, la precipitación fue sobrestimada y subestimada por POWER NASA Project (Figura 2.4c), siendo la máxima diferencia hallada respecto a los datos observados por el INTA de 37,7 mm (Figura 2.4d).





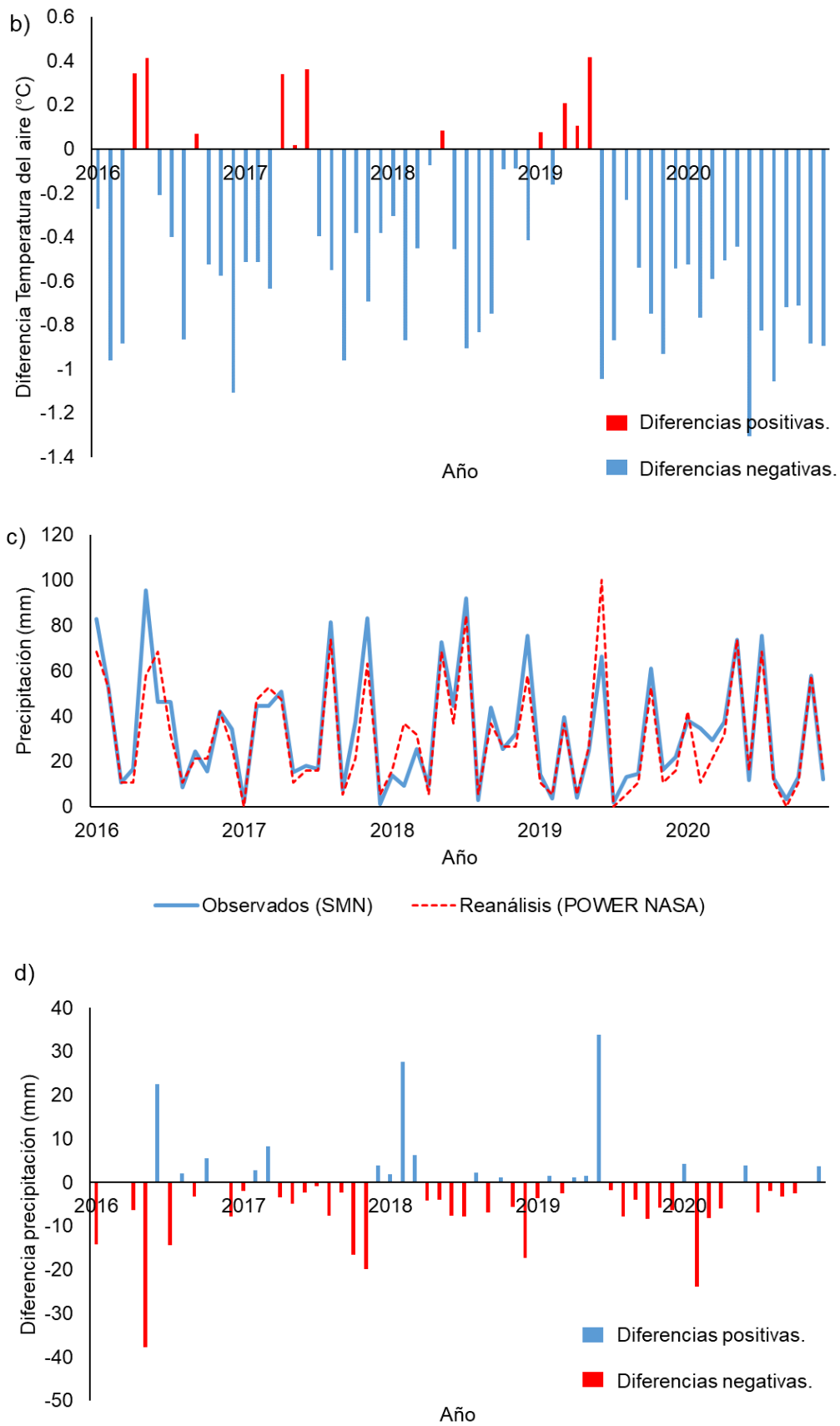


Figura 2.4. Validación cualitativa de datos de reanálisis de POWER NASA Project sobre la base de datos observados por INTA en Viedma (período enero/2016 – diciembre/2020); a)

comparación entre series de temperatura de aire observadas y de reanálisis, b) comparación entre series de precipitación observada y de reanálisis, c) diferencias entre series de temperatura de aire observadas y de reanálisis, d) diferencias entre series de precipitación observada y de reanálisis. Elaborado sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021) e INTA (2021).

La raíz cuadrática media (RMSE) obtenida para la variable de temperatura fue de 0,48. Este valor indica que, en promedio, las diferencias entre las temperaturas observadas y las temperaturas de POWER NASA Project (2021) son aproximadamente 0,5 °C. Una diferencia menor a  $\pm 0.5$  °C respecto a las mediciones realizadas por el INTA (2021) fue encontrada para el 80,2% del total de datos de POWER NASA Project, (2021) entre enero/2016 a diciembre/2020. Solo el 19,8 % de estos datos tuvieron diferencias mayores a  $\pm 0,5$  °C respecto a los datos observados.

Por otro lado, para la variable de precipitación, el RMSE fue de 9,07. Esto significa que las discrepancias promedio entre los valores observados y de reanálisis son alrededor de 9,07 mm. En total, el 94 % de los datos de precipitación de POWER NASA Project mostraron una diferencia de  $\pm 9$  mm respecto a los datos observados, mientras el 6 % de los datos de reanálisis tuvieron diferencias mayores al valor reportado.

### 2.3.3. Prueba de homogeneidad de los datos

El P-valor (0,95) para la temperatura del aire resultante de la prueba de Levene al 95 % de nivel de confianza fue superior al nivel de significación ( $\alpha=0,05$ ). Por ello, se acepta la hipótesis nula, la cual establece la falta de evidencia para decir que la variación de los valores de temperatura del aire 1981 y 2020 fue estadísticamente significativa (Tabla 2.5).

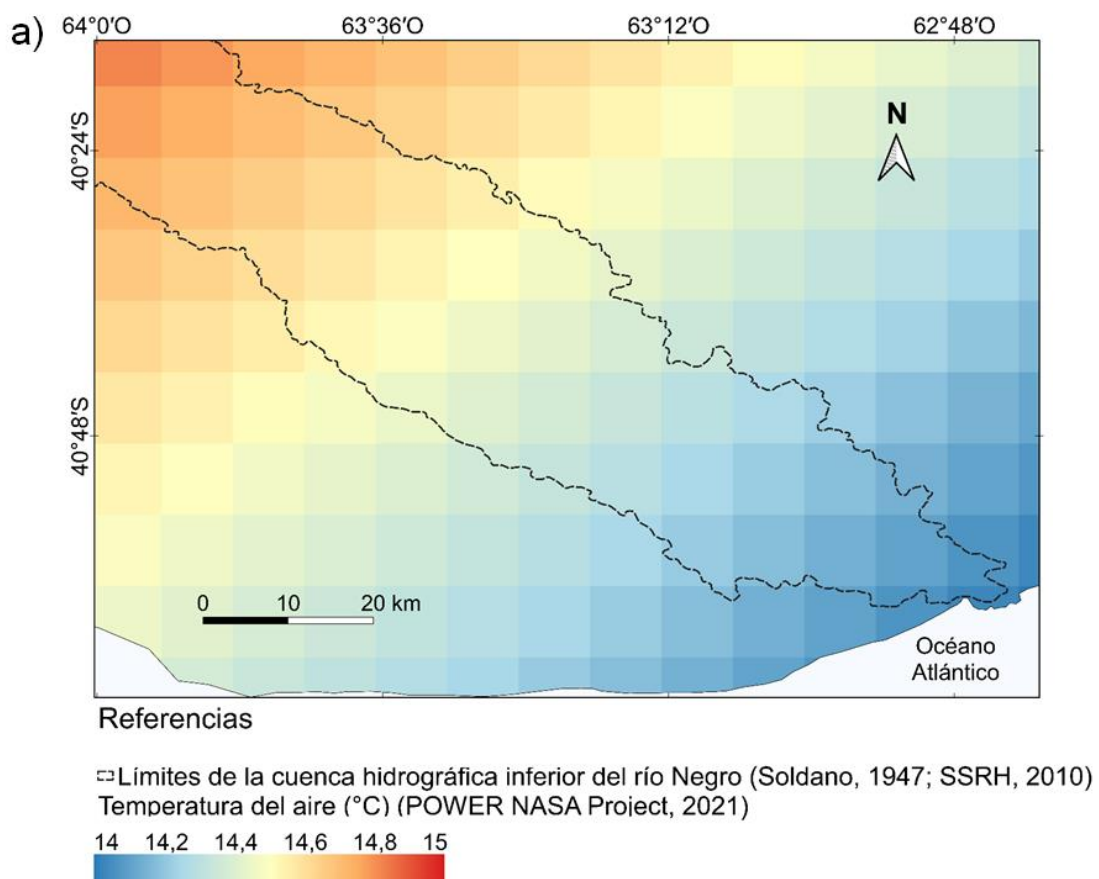
Muestra	Tamaño de		
	muestra	Varianza (temperatura del aire)	Varianza (precipitación)
1981-1989	108	853,6	29,4
1990-1999	120	588,9	26,9
2000-2009	120	803,6	28,9
2010-2020	132	928,3	27,0

Tabla 2.4. Análisis de homogeneidad a través de la prueba de Levene para los datos de temperatura del aire en Viedma (período 1981 - 2020). Elaboración sobre la base de información previamente publicada por García Bu Bucogen et al. (2022) y modificada a efectos de emplear en la tesis.

La prueba de Levene al 95 % de nivel de confianza para la precipitación muestra que el P-valor (0,10) fue superior al nivel de significación ( $\alpha=0,05$ ). Nuevamente, se acepta la hipótesis nula donde se establece que la variación de los valores de precipitación desde 1981 hasta 2020 no fue estadísticamente diferente (Tabla 2.4).

#### 2.3.4. Distribución espacial de la temperatura de aire y la precipitación anual para el área de estudio (1981 – 2020).

La temperatura del aire y precipitación anual se representaron espacialmente debido a que estas fueron las variables que mayor ajuste estadístico presentaron con los datos observados. Para ello, se realizó la interpolación de los puntos de malla de POWER NASA Project (2021). La resolución de los mapas raster georreferenciados obtenidos fue de  $0,5^\circ$ .



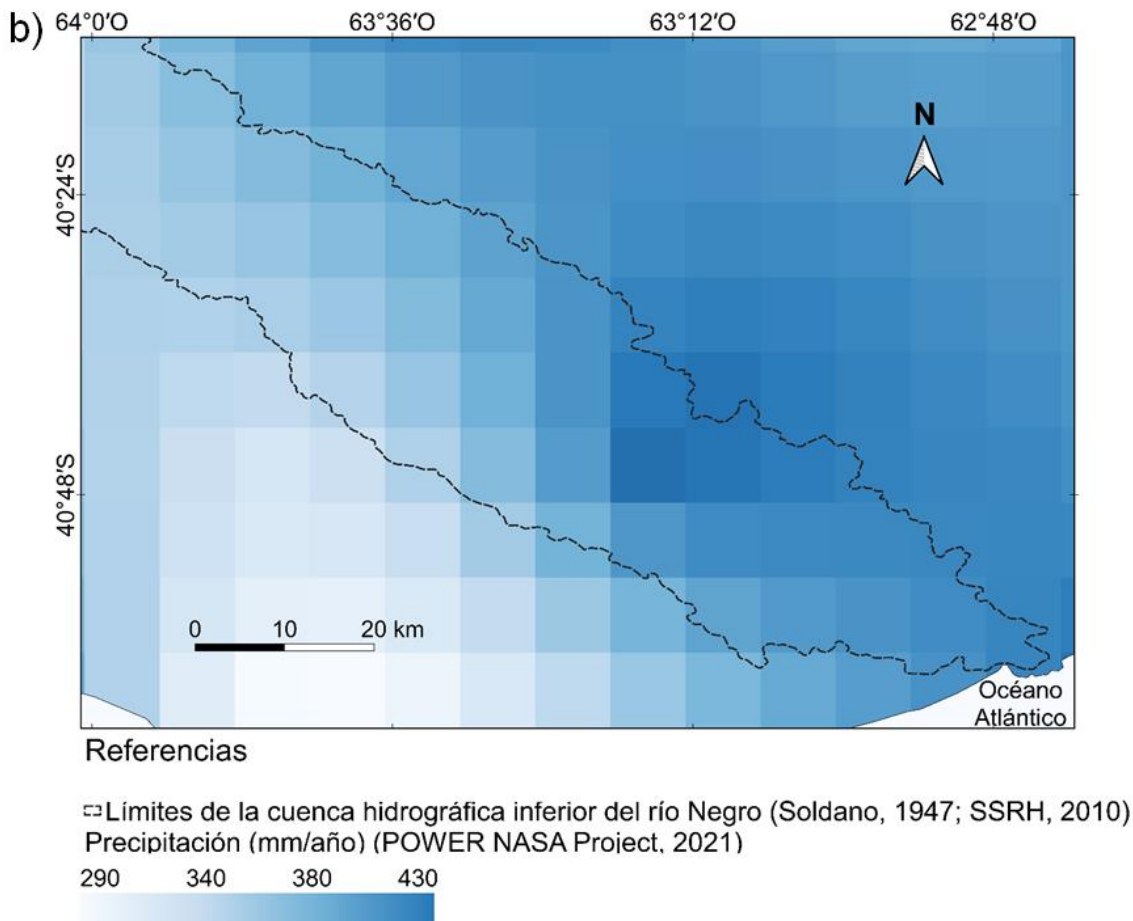


Figura 2.5. Distribución espacial sobre la base de interpolación de datos POWER NASA Project (período 1981 – 2020): a) temperatura media anual del aire, b) precipitación anual. Elaborado sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

La temperatura del aire tuvo un gradiente latitudinal entre la costa y el continente (Figura 2.5a). Para la precipitación fue detectado un gradiente longitudinal (Figura 2.5b). Según la base POWER NASA Project (2021), mientras el promedio anual de la temperatura del aire osciló entre los 14 y 15 °C, la precipitación anual varió de O (290 mm) a E (430 mm). La distribución de la precipitación estuvo marcada por la influencia de la costa y la meseta continental.

## 2.4. Discusión de los resultados

La disponibilidad de bases de datos meteorológicos de reanálisis ha mejorado el pronóstico del clima y ha permitido realizar estudios científicos más rigurosos (Kalnay, 2001; Gavilán et al., 2019; Copernicus, 2023). Por esta razón, la validación de estas bases de datos utilizando información observada ha sido de gran interés para estudiar la variabilidad climática en zonas con baja densidad de estaciones meteorológicas.

Ferrelli et al. (2016) demostraron la viabilidad del uso de la serie temporal de la temperatura del aire de la base de datos NCEP/NCAR para el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Sin embargo, encontraron que el ajuste entre los datos observados y de reanálisis de precipitación no fue satisfactorio. En un estudio similar, Gavilán et al. (2019) validaron los datos de la Misión de Medición de la Lluvia Tropical (TRMM) con datos observados y encontró que no había diferencias estadísticamente significativas entre los valores observados y de reanálisis para la cuenca del Arroyo Las Conchas de la Provincia de Entre Ríos (Argentina).

En el presente capítulo se demostró que POWER NASA Project (2021) es una base de datos de reanálisis alternativa apropiada para estudiar la climatología del área de estudio. Las variables que demostraron poseer el mejor ajuste estadístico con datos observados por el SMN (2021) e INTA (2021) fueron la temperatura del aire y precipitación, mientras la velocidad del viento es la variable con el ajuste más débil y no se recomienda su uso para el área de estudio (Tabla 2.3) (García Bu Bucogen et al., 2022). La simulación matemática de la velocidad del viento para Argentina posee grandes limitaciones debido a la complejidad del clima en el país, extensión geográfica y su diversidad topográfica (Prohaska, 1976; Coronato et al., 2017). Además, la falta de observaciones meteorológicas en muchas áreas del país dificulta la validación de los modelos y aumenta la incertidumbre de los resultados (Paruelo et al., 1998).

Estudios previos establecen que la temperatura del aire media anual en la chiRN es de 15 °C, mientras la precipitación oscila entre los 100 y 300 mm/año (Morello et al., 2012; Coronato et al., 2017). Los resultados publicados por Bianchi y Cravero (2010) establecieron que la precipitación anual en el área de estudio fluctúa entre los 250 a 500 mm, mientras la temperatura del aire entre 12,5 y 15 °C. En este sentido, los resultados hallados en el presente capítulo estuvieron acorde a los promedios publicados por Bianchi y Cravero (2010). El ajuste estadístico entre datos observados y de reanálisis fue fuerte para la temperatura del aire y precipitación (Pearson y Spearman >0.8) (Tablas 2.2 y 2.3). Además, las medias anuales halladas en el presente capítulo son similares a las publicadas por la bibliografía nacional.

Sin embargo, fue detectado que, a escala mensual, el repositorio de datos de reanálisis POWER NASA Project subestima en 0,5°C a la temperatura del aire (Figuras 2.4a y b), mientras la variación respecto a datos de precipitación observados por el SMN (2021) es de 9 mm en la escala mensual (Figuras 2.4c y d). Las diferencias similares a las encontradas entre los datos observados y de reanálisis en el presente capítulo fueron halladas también por Bai et al. (2010) en China. Estos autores mostraron que, si bien los datos meteorológicos de POWER NASA Project obtuvieron un buen ajuste estadístico con series de datos observacionales, los mismos subestimaron los valores

de temperatura del aire. White et al. (2008 y 2010) también hallaron incompatibilidades entre los datos de reanálisis y los observados asociados a variaciones en la elevación a la cual se realizaron las mediciones. POWER NASA Project se basa en elevaciones medias para cuadrículas de 1°, mientras las estaciones convencionales tienen una altura específica. Si bien, White et al. (2008 y 2010) no recomiendan el uso del repositorio para zonas costeras y montañosas, ante la carencia de mediciones observacionales, el uso del repositorio es factible como una fuente de datos continuos meteorológicos.

En el presente capítulo, aunque fueron detectadas variaciones en la magnitud de los valores de temperatura del aire y precipitación mensual respecto a datos publicados por el SMN e INTA, el repositorio de datos de reanálisis presenta un alto ajuste estadístico con datos observacionales y realiza una descripción bastante acertada de la variabilidad de las series a escala mensual (García Bu Bucogen et al., 2022). Por ello, y a pesar de las diferencias encontradas, se recomienda el uso de POWER NASA Project como repositorio de datos meteorológicos alternativo para realizar estudios de variabilidad climática a nivel local y en zonas donde no existan estaciones meteorológicas.

## **2.5. Conclusiones**

En áreas susceptibles a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos (lluvias intensas, inundaciones), no disponer de series de datos meteorológicos continuas y extensas dificulta la realización de estudios de variabilidad climática. A su vez, la carencia de investigaciones climáticas limita el monitoreo y trazado de planes de manejo integral en zonas que son sensibles ante desastres. Frente a esta problemática hallar una base de datos meteorológicos que solucione estas carencias es de vital importancia. En el caso de la chiRN, el empleo de bases de datos de reanálisis hace factible la realización de estudios climáticos.

La comparación de tres bases de datos: NCEP/NCAR, 3CN y POWER NASA Project mostró que, para esta última, el ajuste estadístico con datos observados por el SMN fue fuerte para la temperatura del aire (0,99) y precipitación (0,97), mientras los valores de correlación fueron moderados y regulares para la velocidad del viento. La correlación entre datos observados por el SMN y el repositorio 3CN fue débil. Otra limitante hallada al emplear 3CN fue que solo ofrece datos de temperatura del aire y precipitación hasta 1990. Por las razones antes expuestas, no es apropiado el uso de esta base de datos en la zona de estudio. NCEP\NCAR mostró una buena correlación

sólo para los valores de temperatura del aire superficial. Sin embargo, no se obtienen buenos ajustes para el resto de las variables. Por ello, se concluye que POWER NASA Project fue la que mejor ajuste estadístico obtuvo con los datos observados (SMN e INTA).

El repositorio de datos meteorológicos POWER NASA Project tiene la particularidad de estar habilitado con SIG. La base de datos provee observaciones meteorológicas desde 1981 hasta la actualidad con mediciones cada 0.5° (Stackhouse et al., 2015). Por ello en primera instancia, es factible su uso para complementar series de datos de temperatura del aire y precipitación en el área.

La principal limitación en cuanto a la aplicación de POWER NASA Project para la realización de estudios climáticos se derivó de una baja correlación entre las series de reanálisis y observada de velocidad del viento. Por ello, no se recomienda su aplicación para la variable. Además, la temperatura del aire es subestimada, mientras, la precipitación es sobrestimada. Sin embargo, la base de datos de reanálisis realiza una acertada descripción de la variabilidad de la temperatura y precipitaciones a nivel mensual y por ello es recomendable usar POWER NASA Project como repositorio alternativo para realizar estudios de variabilidad climática en el área de estudio.

## CAPÍTULO 3

### VARIABILIDAD CLIMÁTICA ESTACIONAL, CICLO ANUAL Y TENDENCIAS \*\*

#### 3.1. Introducción

A nivel internacional se ha registrado un aumento en la recurrencia de inundaciones severas (IPCC, 2021). Entre los factores que influyen sobre la frecuencia e intensidad de ocurrencia de inundaciones fluviales se encuentra la variabilidad del clima (Falco et al., 2014). La variación de la extensión superficial de los cuerpos y cursos de agua depende del régimen estacional de lluvias, derretimiento de la nieve y régimen térmico (que controla la evaporación) (Vich et al., 2014; Romero y Gonzáles, 2016; Arguello Murillo et al., 2016). Por ello, múltiples estudios han analizado la fluctuación estacional, el ciclo anual (como fase fundamental dentro de la variabilidad climática) y tendencias de las variables meteorológicas para así investigar cómo sus fluctuaciones afectan el ciclo hidrológico (Trenberth et al., 2007; Guirado y López Bermúdez, 2011; Peña Rabadán, 2015; Sedano Cruz, 2017; Rabuffetti, 2018; Fenoglio, 2019; Kundzewicz y Pińskwar, 2022).

Un clima más cálido y variable incrementaría el riesgo de ocurrencia de extremos hidrometeorológicos (Wetherald y Manabe, 2002; IPCC, 2021). Según la ecuación de Clausius – Clapeyron<sup>26</sup>, por cada grado Celsius de calentamiento la capacidad de retención de vapor de agua en el aire aumenta casi un 7% (Buis, 2022). Por ello, la producción de un aumento de las temperaturas elevaría las tasas de evaporación y por ende una mayor disponibilidad de agua para precipitar y probabilidad de producción de inundaciones (Leyba, 2020; Kirchmeier Young y Zhang, 2020).

*\*\* El trabajo que se presenta en este capítulo es parte del siguiente artículo: García Bu Bucogen, G., Piccolo, M. C., Bohn, V. Y., Huck, G. E. (2022) Using Chaos theory fundamentals for analysing temperature, precipitation variability and trends in Northern Patagonia, Argentina. Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science, 72, pp. 179-190. <https://doi.org/10.1071/ES22009>.*

<sup>26</sup> La ecuación de Clausius-Clapeyron es esencial en el estudio de procesos de interacción océano - atmósfera ya que relaciona el cambio en la saturación del vapor presión sobre una superficie líquida a los cambios de temperatura.



El aumento de la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones está causando severas inundaciones a nivel global (Garner et al., 2017; Pregolato et al 2017; Ávila Diaz et al., 2019; Kirschbaum et al 2020; Tellman et al 2021; Dave et al., 2021). En gran parte de Europa, se prevé que un incremento de la intensidad de las precipitaciones aumentaría la probabilidad de ocurrencia de inundaciones repentinas (Dankers y Feyen, 2008), las cuales son las más perjudiciales en términos económicos y de impactos humanos (López Armero, 2021). En América del Norte, los registros de lluvias han mostrado tendencias positivas, mientras los desastres provocados por inundaciones se triplicaron en los últimos treinta años (Kirchmeier Young y Zhang, 2020). Para Sudamérica, entre 1951 y 2010, catorce de cada veinte eventos de inundación ocurridos fueron potenciados por el aumento del régimen de lluvias (Alifu et al., 2022).

Frecuentemente el incremento de la altura de la columna de agua en zonas aledañas a la ribera y de pendientes reducidas de la chiRN se encuentra condicionado por el paso de sistemas de bajas presiones atmosféricas y ocurrencia de intensos vientos del S y E, factores los cuales en conjunto promueven el cese del drenaje natural del río hacia el mar (D'Onofrio et al., 2010). Particularmente, la presencia de fuertes vientos del S con más de 6 horas de persistencia son los responsables de estos aumentos del nivel del agua (UNL-DPA Río Negro, 2004; D'Onofrio et al., 2010; DesInventar, 2021). El 80% de las sobrelevaciones reportadas en el río fueron producidas por vientos del SO y S, mientras el 20% de los incrementos de la columna de agua correspondieron a vientos del SE y E. Otro factor que agrava la severidad de las inundaciones son las precipitaciones localmente intensas (Rey et al., 1981; Río Negro Online, 2001; UNL-DPA Río Negro, 2004, DesInventar, 2021), siendo tradicionalmente la ciudad de Viedma la más afectada por su situación topográfica (Merg et al., 1998).

La realización de trabajos de investigación relacionados a la variabilidad estacional del clima, sus tendencias y relación con la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos son limitados en la Patagonia Norte (Paruelo et al., 1998; Garreaud et al., 2009; Bianchi, 2016; Romero y González, 2016) y por ende, en el área de estudio. En el norte patagónico argentino, diversos trabajos han detectado una tendencia positiva para la temperatura en su ciclo anual en los últimos 30 años (Romero et al., 2014; Camilloni, 2018; Brendel et al., 2020; Pessacg et al. al., 2022). Sin embargo, la evolución espacio-temporal de las series temporales de precipitación sigue en discusión.

Según lo observado por Garreaud et al. (2013) entre los años 1948 y 2010, no se produjeron cambios sustanciales a largo plazo en el régimen de precipitaciones en el E de la Patagonia argentina. Romero et al. (2014) mostró que, en el sector donde se

localiza la chiRN, la tendencia del régimen de lluvias fue negativa. Este resultado fue corroborado por los escenarios climáticos futuros descritos por Camilloni (2018) y Pessacg et al. (2020), donde se confirmó la continuidad de esta tendencia hasta 2100. Posteriormente, Pessacg et al. (2022) explicó que dicha tendencia sería significativa en el sector continental, mientras en áreas costeras al N de 44°S el aumento de la actividad convectiva producida por un incremento de la temperatura provocaría un aumento en el régimen de precipitación. En base a que diferentes reportes de prensa detectaron que la ocurrencia de lluvias y vientos intensos provocaron severas crecidas del RN en el área de estudio (Rey et al., 1981; Río Negro Online, 2001; UNL-DPA Río Negro, 2004, DesInventar, 2021)), el objetivo del presente capítulo es estudiar la variabilidad climática estacional, sus ciclos y tendencias en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro. Además, son calculados los períodos de retorno de vientos y precipitaciones intensas.

### 3.2. Método de trabajo

Los datos de temperatura del aire y precipitación fueron obtenidos de la base de datos de reanálisis POWER NASA Project (2021), anteriormente validados en el Capítulo 2, a través del análisis de una malla de 15 puntos (0,5° de resolución espacial) (ver Figura 2.1 en Capítulo 2) (POWER NASA Project, 2021). El estudio de las variables meteorológicas se realizó en base a promedios anuales, mensuales y diarios desde 1981 hasta 2020 (40 años) para el punto de malla localizado en Viedma (40°30'00" S y 62°49'00" O) (ver Figura 2.1 en Capítulo 2). El régimen de viento fue estudiado sobre la base de datos trihorarios de velocidad y dirección del viento correspondientes a la estación de Viedma Aero (40°52'00" S y 63°00'00" O) perteneciente al SMN (2021) (ver Figura 2.1 en Capítulo 2).

El régimen de vientos del área de estudio fue estudiado a través del análisis de la rosa de los vientos provistas por Pereira (2023), mientras su clasificación fue realizada sobre la base de la escala Beaufort (Saucier, 1955). La recurrencia de vientos intensos (velocidad del viento  $\geq 40$  km/h (SMN, 2023)) fue calculada en base a la función de distribución estadística de Gumbel. En probabilidad y estadística, la distribución de Gumbel es utilizada para modelar la distribución de los máximos de velocidad del viento y sus períodos de retorno (Gumbel, 1941). La función fue definida acorde a la metodología publicada por USACE (2006) y Mayo y Mitrani (2022) (Ecuación 3.1):

$$F(x) = \exp\left[\exp\left[-\frac{x-B}{A}\right]\right] \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde los coeficientes se definen:  $A = 0.779s$  y  $B = x - 0.45s$ . En este caso,  $x$  es la media y  $s$  la desviación estándar. El período de retorno ( $P_r$ ) se calcula según la siguiente expresión (USACE, 2006) (Ecuación 3.2):

$$P_r = \frac{1}{1 - P_a} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:  $P_r$  y  $P_a$  son el período de retorno en años y la probabilidad acumulada.

El análisis de las variables temperatura del aire y precipitación fueron calculados promedios anuales, y estacionales: enero - febrero - marzo (verano), abril - mayo - junio (otoño), julio - agosto - septiembre (invierno) y octubre - noviembre - diciembre (invierno). En función de los promedios calculados, los meses más fríos/cálidos, lluviosos/secos fueron detectados. Los reportes de diferentes medios de prensa y del Inventario de Desastres (DesInventar, 2021) (DesInventar.org) (ver Tabla 5.1 en Capítulo 5) mostraron que lluvias intensas causaron la ocurrencia de inundaciones. Por ello, se realizó un análisis de las precipitaciones máximas probables (PMP)<sup>27</sup> a partir de las series de máximos anuales de precipitación en 24 horas registradas en los puntos de malla de POWER NASA Project (2021) (Figura 3.1) para períodos de retorno entre 2 a 50 años. Los valores extremos de precipitación fueron cuantificados mediante la distribución estadística de Gumbel a través del método de los momentos (Hosking, 1990; Hosking y Wallis, 1997) con combinaciones lineales de los momentos de probabilidad ponderados (Lorente Castelló et al., 2013).

La tendencia de la temperatura del aire y precipitación para sus ciclos estacionales y anuales fue calculada a través de la prueba no paramétrica de Mann-Kendall al 95 % de confianza ( $\alpha=0,05$ ) (Mann, 1945; Kendall, 1975; Berger, 1986; Yu et al., 2007; Gavrilov et al., 2016; Patle et al., 2016; Silva Alves y Silva Nóbrega, 2017; Prabhakar et al., 2018; Shivam et al., 2019; Machiwal et al., 2021). La hipótesis nula establecida por Mann (1945) y Kendall (1975) supone que los datos son independientes y están distribuidos de forma idéntica. El rechazo de la hipótesis nula implica que los datos no siguen estas características y por lo tanto no deben tomarse como variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. El estadístico de prueba propuesto por Kendall (1975) se expresa en la Ecuación 3.3:

$$S = \sum_{i=n}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

---

<sup>27</sup> mayor cantidad de precipitación posible correspondiente a una determinada duración, área y época del año, sin tener en cuenta las tendencias climáticas a largo plazo (WMO, 1986).

Donde  $n$  es el número de datos,  $x_i$  y  $x_j$  son los valores de datos respectivos en las series de tiempo  $i$  y  $j$  ( $j > i$ ), y  $sgn(x_j + x_i)$  está dada por condicional:

Si  $Sgn(x) > 0$ , entonces  $x_j - x_i = +1$ ,

$Sgn(x) = 0$ , entonces  $x_j + x_i = 0$ ,

$Sgn(x) < 0$ , entonces  $x_j + x_i = -1$

Kendall (1975) mostró que  $S$  se distribuye normalmente con el valor medio  $E(S)$  y varianza ( $Var(S)$ ). La varianza se calcula como (Ecuación 3.4):

$$Var(S) = \frac{\{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m [t_i(t_i-1)(2t_i+5)]\}}{18} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

donde  $n$  es el número de datos,  $m$  es el número de grupos vinculados (conjunto de datos de muestra con valores idénticos) e indica el número de valores repetidos en el  $i$ -ésimo grupo. Si el tamaño de la muestra  $n$  es mayor que 10, el estadístico de prueba normal estándar se calcula de la siguiente manera (Ecuación 3.5):

$$Z_s = \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, \text{ si } S > 0 \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$0, \text{ si } S = 0$$

$$\frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, \text{ si } S < 0$$

La tendencia hallada a través de la prueba de Mann-Kendall al 95 % de nivel de confianza fue categorizada acorde a los criterios publicados por Alves et al. (2015) y Silva Alves y Silva Nóbrega (2017) (Tabla 3.1).

Significancia	Simbología	Valor de Z
Tendencia significativa creciente	TSC	$\geq 1,96$
Tendencia no significativa creciente	TNSC	$0 < Z < 1,96$
Sin tendencia	ST	0
Tendencia no significativa decreciente	SNSD	$0 > Z > -1,96$
Tendencia significativa decreciente	TSD	$\leq -1,96$

Tabla 3.1. Categorización de la significancia de la prueba de Mann – Kendall. Elaboración sobre la base de los criterios de Alves et al. (2015) y Silva Alves y Silva Nóbrega (2017).

La persistencia de las tendencias observadas y la estructura de las series de tiempo fueron estudiadas a través del Análisis Multifractal de Fluctuaciones sin Tendencia (MFDFA, por sus siglas en inglés). Al contrario de métodos tradicionales como la Transformada Rápida de Fourier (TRF), esta metodología calcula el espectro multifractal y sus dimensiones con la ventaja de ser menos sensible a la longitud de la serie de tiempo que se estudie (Kantelhardt et al., 2002; Kantelhardt et al., 2006; Baranowski et al., 2015; Baranowski et al., 2019). Las dimensiones multifractales calculadas fueron:  $\alpha_0$ ,  $\alpha_{\max}$ ,  $\alpha_{\min}$ ,  $w$  y  $r$ , las cuales se analizaron para el punto de malla ubicado en Viedma (POWER NASA Project, 2021). La primera medida ( $\alpha_0$ ), es la posición del máximo de  $f(\alpha)$  y proporciona una estimación del exponente de Hurst. El valor de esta dimensión indica la persistencia del comportamiento observado por la tendencia (Rodríguez Aguilar, 2012; Nieto et al., 2016):

1.  $\alpha_0 > 0,5$  indica que la variable es persistente y con tendencia lineal. La serie temporal tiene una memoria a largo plazo positiva, lo que significa que los valores futuros de la serie están más correlacionados con los valores pasados.
2.  $\alpha_0 < 0,5$  indica que la variable es antipersistente y la tendencia no es lineal. La serie temporal tiene una memoria a largo plazo negativa, lo que significa que los valores futuros de la serie están menos correlacionados con los valores pasados. En este caso, existe una reversión de la media.
3.  $\alpha_0 = 0,5$  indica que la variable es independiente, la tendencia no es lineal y el comportamiento futuro de la variable es impredecible.

Los valores  $\alpha_{\max}$  y  $\alpha_{\min}$  muestran cuáles son las mediciones más extremas de la serie de tiempo. El ancho del espectro multifractal ( $w$ ) mide la complejidad de la serie de tiempo analizada. Su cálculo se realiza sobre la base de la diferencia entre  $\alpha_{\max}$  y  $\alpha_{\min}$ . Cuanto mayor es el ancho del espectro, más fuerte es la multifractalidad del proceso y la señal es más compleja.

El parámetro de asimetría  $r$  indica la variabilidad de la señal en torno al valor promedio de la serie de tiempo. A partir del cálculo del parámetro  $r$  es posible determinar la factibilidad de ocurrencia de eventos extremos. El parámetro se calcula según la Ecuación 3.6 (Santos da Silva et al., 2020):

$$r = \frac{(\alpha_{\max} - \alpha_0)}{(\alpha_0 - \alpha_{\min})} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

En este caso, si:

$r = 1$ , el espectro es simétrico. Indica que existen fluctuaciones pequeñas y grandes en la serie de tiempo.

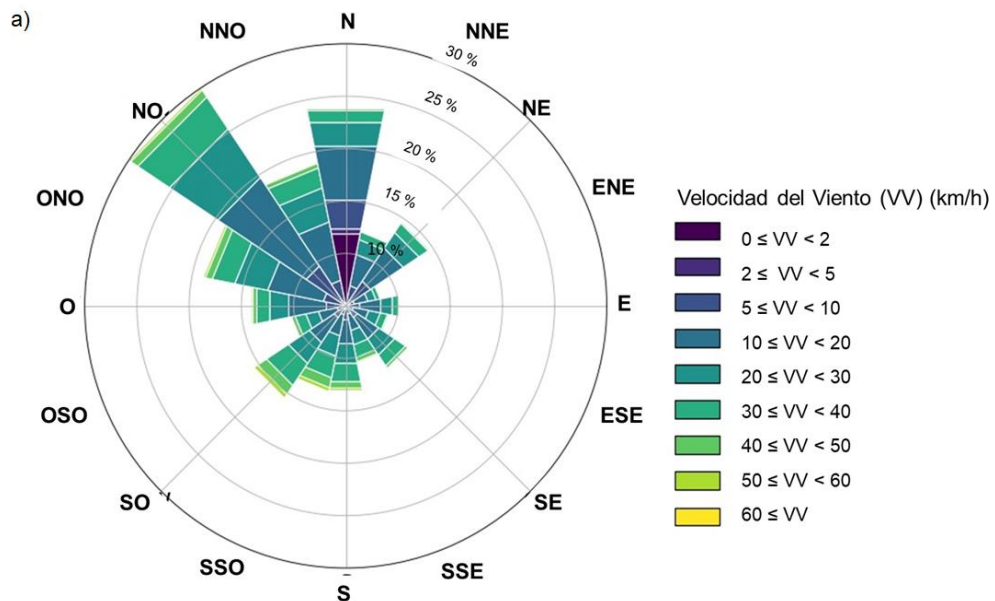
$r > 1$ , el espectro es asimétrico a la derecha. Indica que los datos analizados presentan pequeñas variaciones entre sí y las fluctuaciones observadas entran dentro de la variabilidad natural de la serie de tiempo.

$r < 1$  el espectro tiene una asimetría izquierda. Estos es indicativo de grandes variaciones entre los datos.

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Régimen de vientos

El análisis de la rosa de los vientos para el período 1981 - 2020 (SMN, 2021) mostró que los vientos predominantes registrados por Viedma Aero fueron del NO, N y NNO (Figura 3.1a). Según la escala de Beaufort, el régimen de vientos más recurrente fue brisa moderada (BM) entre 12 a 19 km/h (Figura 3.2b). La frecuencia de ocurrencia de vientos del S, SO, SE y E fue del 5, 7, 5 y 3 %, respectivamente (Figura 3.1a). La recurrencia de tormentas con vientos superiores a 40 km/h fue baja debido a que solo el 5,5% de los registros fueron mayores a 40 km/h (Figura 3.2b).



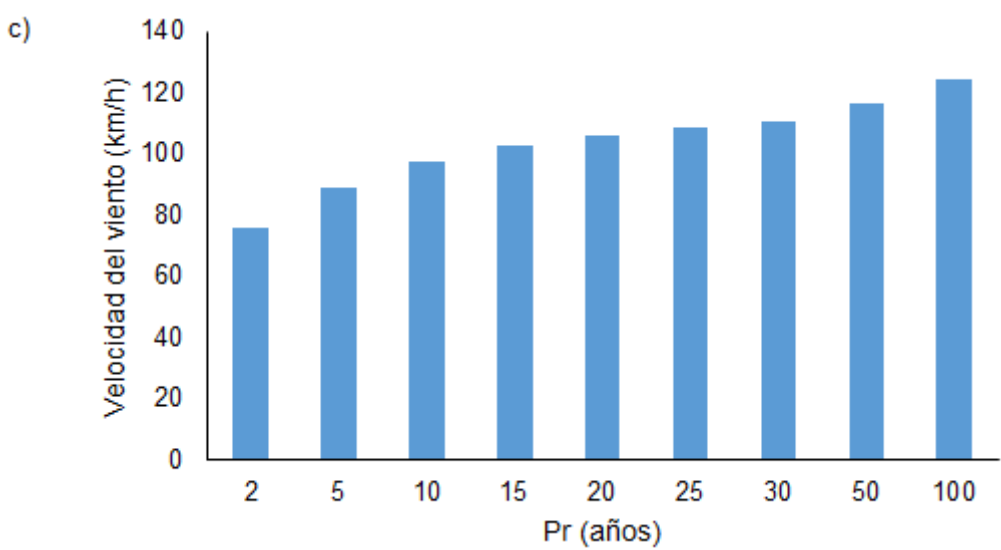
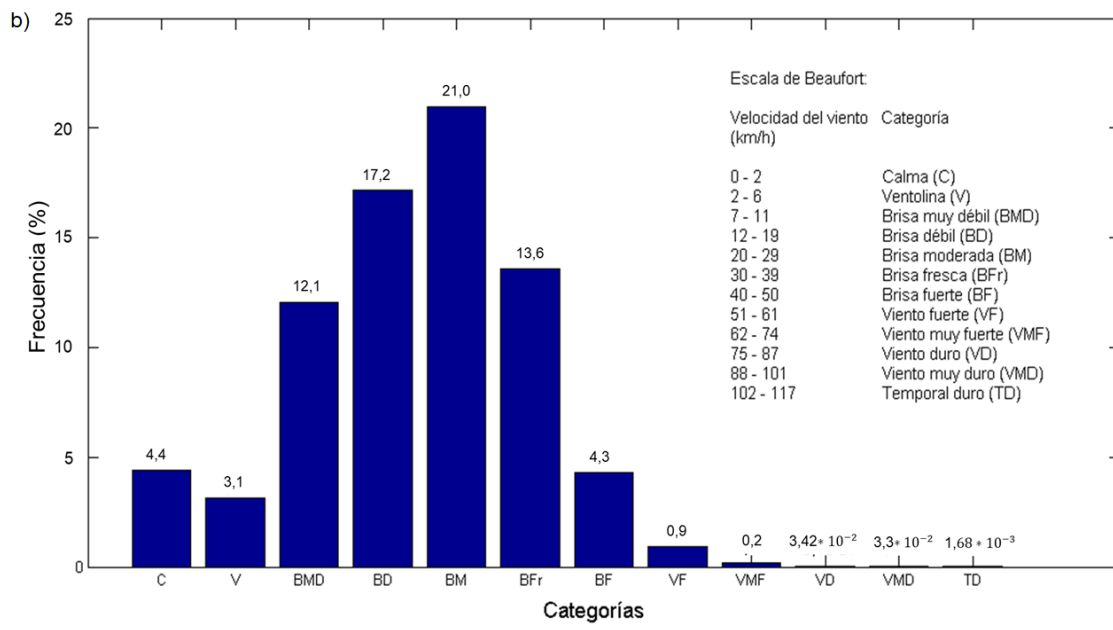
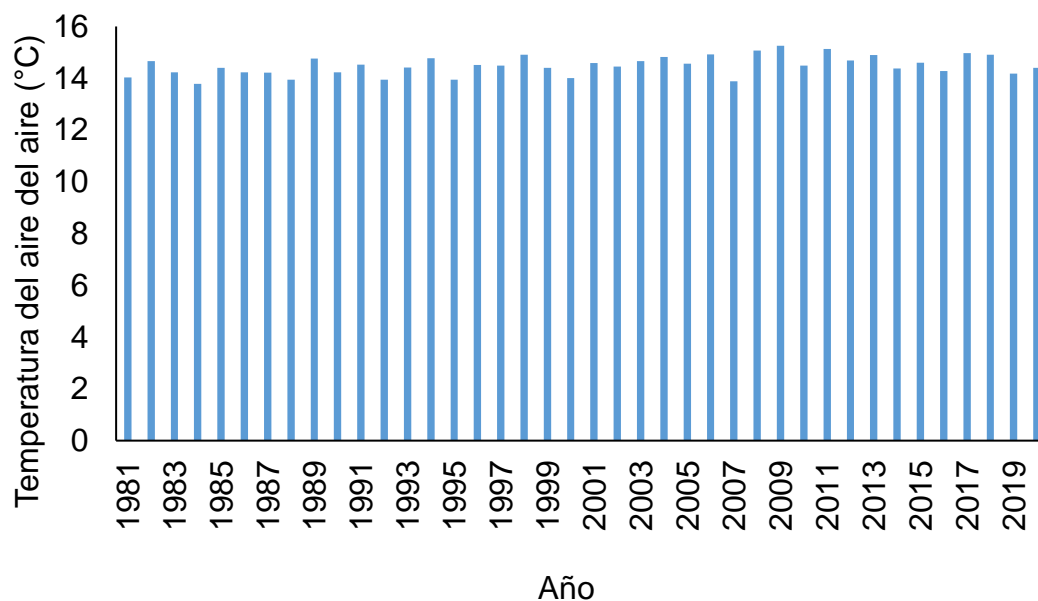


Figura 3.1. Rosa y regímenes de vientos en Viedma Aero (período 1981 - 2020): a) rosa de los vientos, b) regímenes de vientos frecuentes según la escala de Beaufort, c) valores extremos de velocidad del viento y sus períodos de retorno a través del cálculo de la función de distribución de Gumbel. Elaboración sobre la base de datos del SMN (2021).

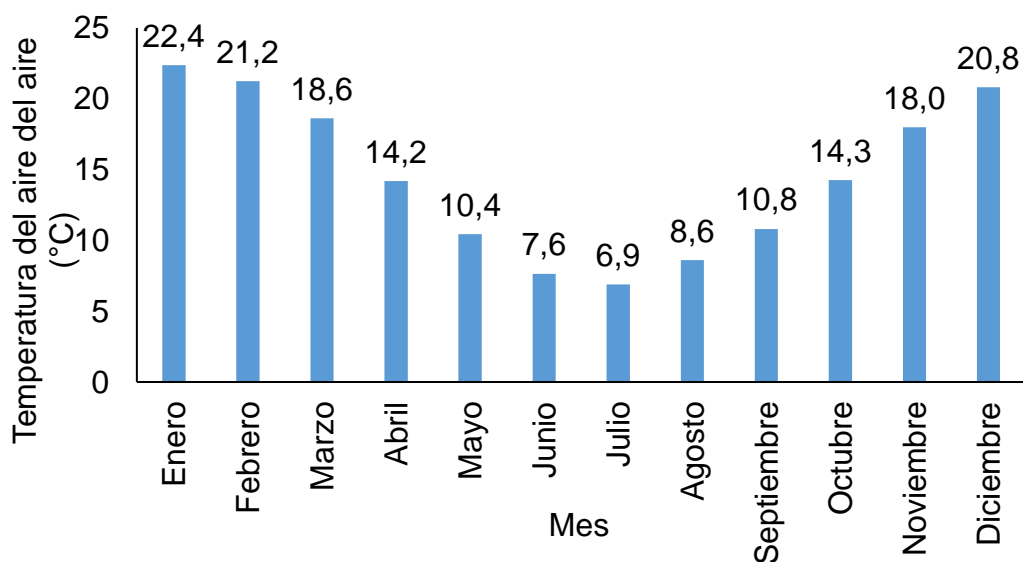
Las estimaciones de los valores máximos de velocidades de viento, a partir de la distribución estadística de Gumbel, mostraron que al menos una vez cada 100 años, es posible que la velocidad del viento exceda los 120 km/h (Figura 3.1c). Cada 10 años existe una probabilidad del 10 % de obtener registros de vientos superiores a 95 km/h. Finalmente, cada dos años es probable que la velocidad del viento exceda los 75 km/h.

### 3.3.2. Estadística descriptiva, ciclos y tendencias de la temperatura del aire

La temperatura del aire media anual en el punto de medición localizado en Viedma fue de 14,3 °C durante el período 1981 – 2020 (Figura 3.2a). El análisis de los datos de la estación Viedma (POWER NASA Project, 2021) mostró que enero fue el mes más cálido del año (Figura 3.2b), con temperaturas del aire máximas superiores a los 40°C. El mes más frío fue julio con mínimas de -10°C.



a)



b)

Figura 3.2. Temperatura del aire en Viedma (período 1981-2020): a) anual, b) mensual. Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).



La tendencia de la temperatura del aire fue estadísticamente significativa positiva para el verano, en cambio para otoño, invierno y primavera fue creciente no significativa (Tabla 3.2). El valor del exponente de Hurst demostró en todos los casos que las tendencias halladas fueron persistentes ( $\alpha_0 > 0,5$ ), lo cual significa que este comportamiento continuará a futuro. La complejidad de la serie fue alta durante el verano ( $w=0,61692$ ) e invierno ( $w=0,6556$ ), mientras en otoño y primavera fue moderada ( $w=0,45226$ ) y baja ( $w=0,30383$ ). La asimetría para el caso del verano fue izquierda ( $r < 1$ ), lo cual identifica que la serie en sus valores mensuales registró una alta variabilidad. Para el resto de los trimestres la asimetría fue derecha.

Temperatura del aire						
Estación climática	$\alpha_{max}$	$\alpha_{min}$	$\alpha_0$	w	r	Z
Verano	0,71278	0,095863	0,53636	0,61692	0,40050216	2,666
Otoño	0,85896	0,4067	0,54938	0,45226	2,16975049	0,2532
Invierno	0,98514	0,32955	0,51409	0,6556	2,55256313	0,8304
Primavera	0,77543	0,4716	0,56212	0,30383	2,3564958	1,598

Tabla 3.2. Tendencias y dimensiones fractales a escala estacional para la temperatura del aire en Viedma (período 1981-2020). Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

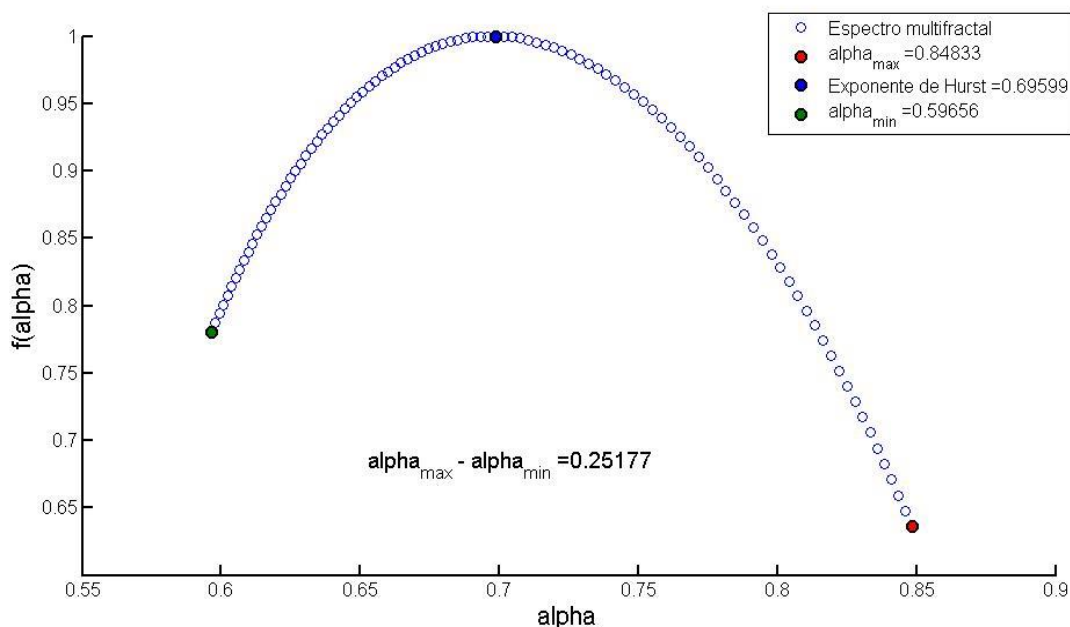


Figura 3.3. Espectro multifractal de temperatura del aire en Viedma (período 1981-2020). Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

En general, la tendencia de la temperatura del aire fue no significativa creciente ( $Z= 1,06$ ) en el punto de malla localizado en Viedma entre 1981 y 2020. El exponente de Hurst muestra que la tendencia hallada fue persistente a través de sus ciclos anuales ( $\alpha_0 > 0,5$ ) (Figura 3.3), lo cual significa que este comportamiento persistirá a futuro. La complejidad de la serie fue baja ( $w=0,25$ ). El espectro presentó asimetría hacia la derecha ( $r > 1$ ), lo cual se asocia a los bajos niveles de complejidad anteriormente detectados. Esta dimensión multifractal demostró que la serie posee una baja variabilidad en sus ciclos anuales.

### 3.3.3. Estadística descriptiva, ciclos, tendencias y precipitaciones máximas probables

La precipitación en el área de estudio mostró una alta variabilidad para sus ciclos anuales entre 1981 y 2020 (Figura 3.4a). La media anual durante el período de estudio fue de 330 mm. El máximo registro fue observado en 1997 ( $P=653$  mm), mientras el mínimo se detectó en 1988 ( $P=192$  mm).

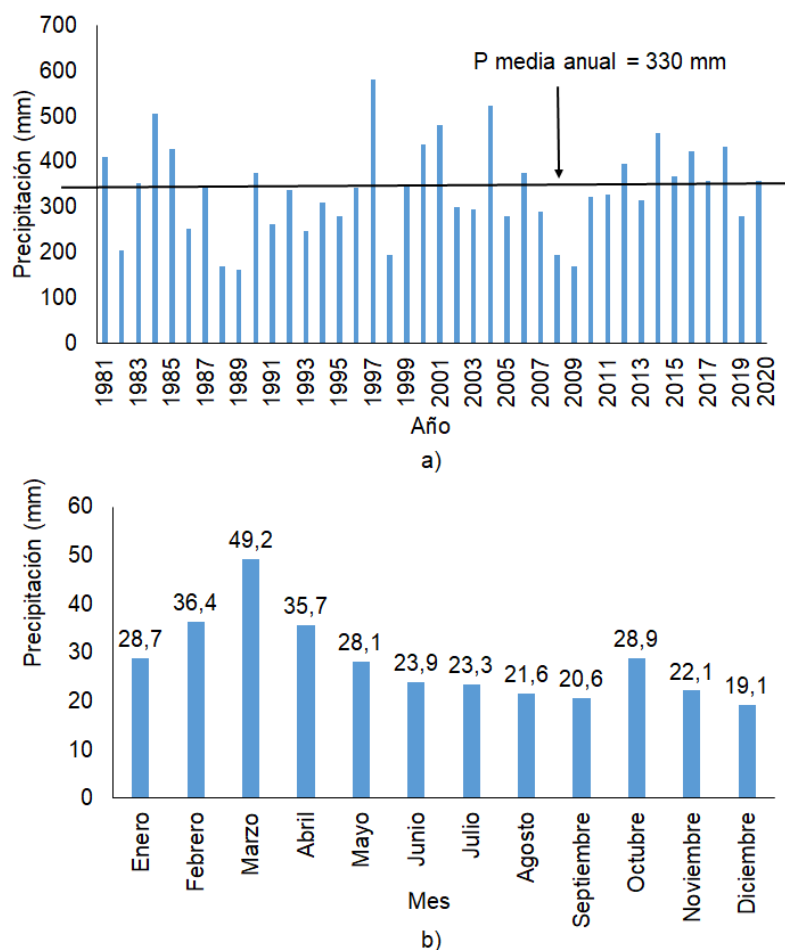


Figura 3.4. Precipitación en Viedma (período 1981-2020): a) anual, b) mensual. Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

La precipitación en el área de estudio no presentó una marcada estacionalidad, lo que impidió la delimitación de períodos secos y húmedos (Figuras 3.4b). La precipitación máxima se registró en marzo, mientras que la mínima se observó durante el invierno. Finalmente, de la serie de valores diarios de precipitación entre 1981 y 2020, solo el 10% de los registros superaron los 2 mm y la estación con la mayor cantidad de días con lluvia fue el verano.

La tendencia de la precipitación en verano y primavera fue estadística no significativa hacia el incremento, mientras para el otoño e invierno fue negativa no significativa (Tabla 3.3). El valor del exponente de Hurst demostró en todos los casos que las tendencias halladas fueron persistentes ( $\alpha_0 > 0,5$ ) para los ciclos estacionales, lo cual expresa que este comportamiento persistirá a futuro. Los valores de complejidad fueron bajos durante el verano ( $w=0,3368$ ), moderados en otoño ( $w=0,50946$ ) y altos en primavera ( $w=0,47614$ ) e invierno ( $w=0,84521$ ). En otoño, el espectro multifractal tuvo asimetría izquierda, lo cual denota una alta variabilidad de los registros mensuales durante esta estación, mientras para el resto de las estaciones del año la asimetría fue derecha.

Estación climática	Precipitación					
	$\alpha_{max}$	$\alpha_{min}$	$\alpha_0$	w	r	Z
Verano	1.122	0.7855	0.9326	0.3368	1.28755948	0.8534
Otoño	0.89608	0.38662	0.69461	0.50946	0.65414462	-0.9272
Invierno	1.244	0.39878	0.80215	0.84521	1.09539629	-0.198
Primavera	1.2495	0.77341	0.96042	0.47614	1.54579969	0.6676

Tabla 3.3. Espectro multifractal de la precipitación en Viedma (período 1981-2020). Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

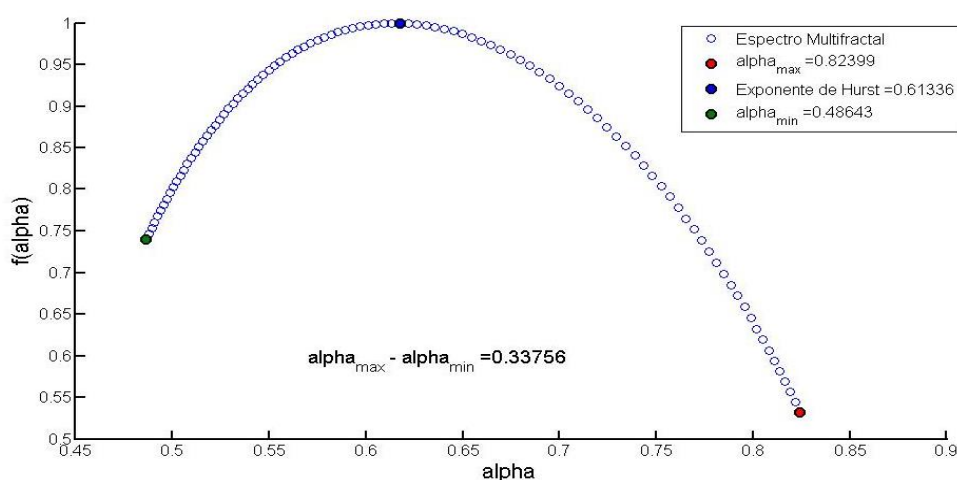


Figura 3.5. Espectro multifractal de precipitaciones en Viedma (período 1981-2020). Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

El análisis de la precipitación a escala anual a través de la prueba de Mann-Kendall mostró que la variable tuvo una tendencia negativa no significativa (-0,57) en Viedma para el período 1981-2020. La tendencia hallada fue persistente ( $\alpha_0 > 0,5$ ) acorde al valor del exponente de Hurst calculado ( $\alpha_0 = 0,61$ ) (Figura 3.5). La complejidad de la serie no fue alta ( $w = 0,34$ ). El espectro multifractal presentó una asimetría derecha ( $r > 1$ ), lo cual explica la baja complejidad detectada en la serie temporal de precipitaciones y que los cambios observados se asocian a fluctuaciones normales de la variable.

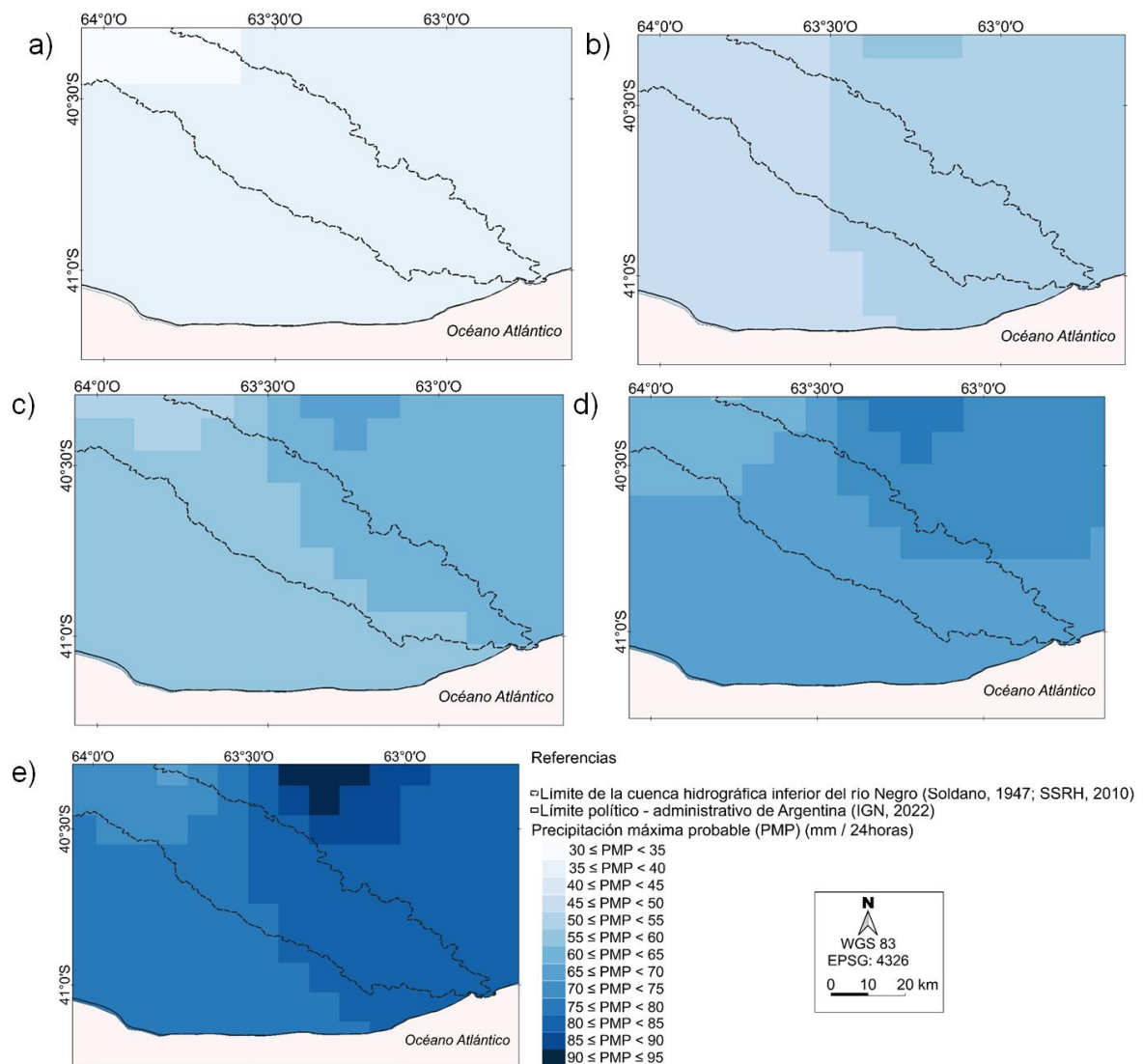


Figura 3.6. Distribución espacial de las Precipitaciones Máximas Probables (mm/24 horas) acorde a sus diferentes períodos de retorno: (a) 2 años, (b) 5 años, (c) 10 años, (d) 20 años, (e) 50 años. Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

Según el análisis de las PMP en base a los datos diarios de POWER NASA Project (2021), se observó un gradiente longitudinal en las precipitaciones, siendo probablemente más intensas en el sector cercano a la costa (Figura 3.6). Este comportamiento fue observado para todos los Pr calculados. Los mapas correspondientes a los Pr de 2 y 5 años no mostraron diferencias espaciales notables (Figuras 3.6a y b). Las PMP aumentaron de 30 mm en el O a 60 mm en el E. Para el Pr de 10 años (Figura 3.6c), se visualizó un núcleo de intensas precipitaciones en la zona NO del área de estudio. Este comportamiento persistió para los períodos de retorno de 20 y 50 años (Figuras 3.6d y e).

En el caso de un Pr de 2 años, la probabilidad de que ocurran precipitaciones superiores a 35 mm en 24 horas es del 75%. Para el Pr de 20 años, existe una probabilidad del 64,2% de que las PMP superen los 60 mm. Luego, para un Pr de 50 años, existe una probabilidad del 63,5% de que ocurran PMP mayores a 70 mm.

#### **3.4. Discusión de resultados**

La influencia de las masas de aire varía según las estaciones del año en el territorio argentino (Bianchi y Cravero, 2010). Los centros de alta presión de los océanos Pacífico y Atlántico (anticiclón semipermanente del Atlántico y Pacífico) acompañan el movimiento aparente del Sol dando como resultado el desplazamiento de estos sistemas hacia el N en invierno y hacia el S en verano (Ramos y Campos, 2008). El análisis de los datos de velocidad y dirección del viento de la estación Viedma Aero (SMN, 2021) mostró que los vientos predominantes en el área de estudio fueron del NO, N y NNO (Figura 3.1a). Los resultados hallados se encuentran en concordancia con lo descrito por Zamora y Santana (1979), Frumento (2017) y Coronato et al. (2017), donde el desplazamiento hacia el S del anticiclón del Atlántico condiciona el registro de vientos intensos del NO, N y E, mientras el debilitamiento de los efectos del anticiclón del Atlántico al desplazarse hacia el N (Gentile et al., 2020) produce que el flujo sea predominante del O.

La ocurrencia de fuertes vientos del SO y S, SE y E derivados del pasaje de una tormenta provoca severas inundaciones (UNL-DPA Río Negro, 2004). Los resultados de la presente investigación mostraron que el 20 % del total de registros de velocidad y dirección del viento observados por la estación Viedma Aero fueron del E y del cuadrante S, siendo solo el 5,5 % de estos registros mayores a 40 km/h (Figura 3.1b). Sin bien la recurrencia de vientos intensos fue baja, es esperable que, al menos una vez cada dos años, la velocidad del viento exceda los 75 km/h durante el paso de una

tormenta (Figura 3.1c). Además, es esperable que el registro de vientos persistentes del S provoquen inundaciones cada 10 años.

Las temperaturas más altas y precipitaciones máximas suceden durante el verano (Figuras 3.2b y 3.4b). La actividad convectiva juega un rol fundamental en la producción de lluvias durante esta época del año (Campos de Ferreras et al., 2004; Coronato et al., 2017). Las características climáticas otoñales e invernales son producidas por el desplazamiento hacia el norte de los anticiclones del Atlántico y Pacífico (Paruelo et al., 1998). Este movimiento latitudinal favorece el ingreso de masas de aire húmedo y frío, las cuales al encontrarse con masas de aire más cálidas sobre el continente forman frentes fríos que son los responsables de las bajas temperaturas, precipitaciones y heladas desde el mes de abril hasta octubre en la región patagónica (Garreaud et al., 2013).

En la chiRN, el análisis multifractal mostró que el verano fue la estación que reportó una tendencia estadísticamente significativa hacia el aumento de la temperatura del aire (Tabla 3.2), mientras para el ciclo anual la tendencia de la variable fue persistente y estadísticamente no significativa positiva (García et al., 2022b). En este sentido, varios autores han detectado resultados similares en el norte patagónico (Romero et al., 2014; Camilloni, 2018; Brendel et al., 2020), siendo dichos resultados resumidos en el último informe del IPCC (2021). Una tendencia positiva de las temperaturas en la estación estival produciría el aumento de la actividad convectiva en la atmósfera (Wetherald y Manabe, 2002, IPCC, 2021; Buis, 2022) y por ende aumentar la frecuencia e intensidad de las tormentas de verano que se registran en la región (Coronato et al., 2017). En el contexto planteado, es relevante subrayar que las condiciones de aumento de temperatura, y por ende, una mayor actividad convectiva durante el verano, pueden generar un escenario propicio para la ocurrencia de lluvias intensas. Estas lluvias, al ser más intensas de lo habitual, podrían desencadenar inundaciones de origen pluvial, en las cuales las precipitaciones excesivas saturan la capacidad de drenaje del terreno y los sistemas de alcantarillado.

Actualmente no existe un acuerdo sobre la tendencia de la precipitación para el sector que ocupa la chiRN. Garreaud et al. (2013) revelaron que, en el régimen de precipitaciones no ocurrieron cambios sustanciales entre 1948 - 2010. Romero et al. (2014) detectó que la chiRN se encuentra localizada en una zona con tendencia hacia la disminución de las precipitaciones. Los resultados de Camilloni (2018) coinciden con los publicados por Romero et al. (2014). En cambio, Pessag et al. (2020) pronosticó un incremento del régimen de precipitaciones para la zona costera producto del aumento de la actividad convectiva asociada a temperaturas más altas. Arouxet y Pastor (2018) determinaron un comportamiento persistente del régimen de precipitación usando datos

de la Base de Datos Climáticos de la 3CN (2014) desde 1960 hasta 2010 a través del exponente de Hurst.

La tendencia de la precipitación fue persistente para todo el período de estudio (1982 – 2020) (Figura 3.5) (García et al., 2022b), lo cual se halla en concordancia con los resultados obtenidos por Arouxet y Pastor (2018). Durante otoño e invierno fueron observados decrecimientos no significativos, mientras que en verano y primavera se reportaron incrementos igualmente no significativos (Tabla 3.3). Finalmente, fue encontrada una tendencia negativa no significativa para el ciclo anual de la variable. Estos resultados se hallan en concordancia con lo descrito por Garreaud et al. (2013) y resumido en el último informe del IPCC (2021), el cual explica que hasta la fecha no han sido observados cambios estadísticamente significativos en el régimen de esta variable para el norte patagónico argentino.

El cálculo de las PMP en 24 horas y la frecuencia con la que se producen es imprescindible para la prevención de inundaciones (Bazzano, 2019). Numerosos autores han modelado las PMP para diferentes períodos de retorno con buenos resultados (Chachero, 2012). Los máximos de precipitación para períodos de retorno inferiores a 25 años a partir de la aplicación de los métodos Gumbel y Log-Pearson Tipo III fueron obtenidos por Ghanem et al. (2006). Los autores afirmaron que la aplicación de estos métodos estadísticos para el diseño de estructuras hidráulicas fue bastante acertada. Los PMP calculados para Cataluña poseen un buen ajuste a los datos reales dado que los mínimos de la PMP están distribuidos en concordancia con las áreas más secas (Lorente Casteló et al., 2013).

La distribución espacial de los valores de PMP en la chiRN (Figura 3.6) se encuentra acorde a la distribución espacial de la precipitación anual de la Figura 2.5 (ver Figura 2.5 en Capítulo 2). Los valores de la PMP son mayores en el E del área de estudio. Los resultados mostraron que, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años, las PMP en 24 horas superan los 30, 50, 60, 70 y 80 mm, respectivamente. Los valores hallados en el capítulo exceden a los reportados por Desinventar (2021) (ver Tabla 5.1 en Capítulo 5), donde precipitaciones intensas de 30 mm en 24 horas produjeron inundaciones en la costanera de Viedma en 1976.

La mayor peligrosidad de ocurrencia de precipitaciones intensas se encuentra localizada en el sector aledaño a la costa debido a la influencia del mar (Prohaska, 1976). Durante el verano, al sector litoral arriban masas de aire saturadas de humedad procedentes del sector occidental de anticiclón del AS (Ferreras y Ramos, 2004). Las altas temperaturas del aire de la superficie terrestre crean una inestabilidad en la atmósfera y producen movimientos convectivos (Sarochar et al., 2005) lo cual genera

las típicas tormentas de verano (Coronato et al., 2017). La producción de tormentas con vientos y precipitaciones intensas generan inundaciones en la zona de estudio.

### **3.5. Conclusiones**

La descripción de la climatología sobre la base de datos meteorológicos continuos permitió entender qué factores meteorológicos incentivan la producción de inundaciones en la chiRN a futuro. La temperatura del aire media anual en la chiRN se encuentra entre los 14 y 15 °C, con temperatura máximas de 40 °C durante el verano y de -10 °C en invierno. La precipitación media anual entre 1981 y 2020 fue 335 mm. El régimen de precipitación no mostró una marcada estacionalidad, sucediendo el máximo de lluvias durante la estación estival. El máximo observado es de origen convectivo producto de la llegada de masas de aire cálidas saturadas de humedad provenientes del Atlántico. En cambio, durante el otoño e invierno, producto del movimiento de los anticiclones del Atlántico y Pacífico hacia el norte, los frentes fríos son los responsables de las lluvias y heladas.

El ciclo anual de la temperatura del aire tuvo una tendencia persistente y positiva no significativa, en cambio el régimen de precipitaciones tendió hacia un decrecimiento no significativo. Si bien, las tendencias calculadas de la precipitación no mostraron la ocurrencia de cambios significativos, una futura disminución del régimen de precipitaciones incentivaría la desertificación en un área que sufre estrés hidrológico. Esto representaría un peligro, dado que la ocurrencia de lluvias y vientos intensos provocaría inundaciones.

Durante la temporada de verano, se observó un aumento constante y estadísticamente significativo en la temperatura del aire en el área de estudio. Sin embargo, en contraste, tanto la temperatura del aire como la precipitación no mostraron una tendencia estadísticamente significativa entre los años 1981 y 2020 para otoño, invierno y primavera. La tendencia positiva de la temperatura del aire durante el periodo estival podría tener como resultado un aumento en la frecuencia de episodios de lluvias intensas. El conocimiento sobre la PMP en 24 horas y la frecuencia con la que se producen es imprescindible. Los valores de la PMP en la chiRN son mayores hacia el E. Cada 20 años existe un 64,2 % de probabilidad de que la precipitación diaria supere los 60 mm. Luego, con un Pr de 50 años, los valores reportados superarían los 70 mm con un 63.5% de probabilidad. El hecho que en 24 horas puedan reportarse lluvias superiores a 50 mm acrecentaría el riesgo de saturación hídrica de un suelo que naturalmente tiene un escaso drenaje. Un elemento climático crucial que, en conjunto produce inundaciones severas en la chiRN es la presencia de fuertes vientos del S. Si



bien la recurrencia de vientos capaces de provocar inundaciones en la cuenca hidrográfica inferior fue baja, es probable la ocurrencia de inundaciones asociadas vientos intensos cada 10 años.

## CAPÍTULO 4

### VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTERANUAL

#### 4.1. Introducción

La interacción océano-atmósfera provoca cambios en los patrones de circulación que a su vez actúan como forzantes de los sistemas hidrológicos a escala interanual (Groch et al., 2020). Según diversos estudios (Aceituno, 1988; Rusticucci y Vargas, 2002; Andreoli y Kayano, 2005; Kayano y Andreoli, 2007; Garreaud et al. 2009; Bello et al., 2018; Fenoglio, 2019; Iacovone et al., 2020), las inundaciones son eventos cíclicos cuyos patrones son alterados por fluctuaciones recurrentes en la circulación oceánica y atmosférica. Por lo tanto, es posible establecer relaciones entre las variaciones en los registros de precipitación, caudales, extensión de los cuerpos de agua, y los cambios circulatorios de gran escala (González Reviriego y Rodríguez-Puebla, 2010; Ramírez et al., 2018).

Los patrones de teleconexión, también conocidos como modos de variabilidad de baja frecuencia (MVBF) o en escala de tiempo prolongado, son fenómenos recurrentes y persistentes a gran escala que se caracterizan por anomalías de presión y circulación oceánica y atmosférica (Wallace y Gutzler, 1981; Prado González, 2017). Estos patrones suelen durar desde algunas semanas hasta varios años consecutivos y constituyen una parte importante de la variabilidad interanual e interdecadal de la circulación atmosférica (Barnston y Livezey, 1987). Especialmente, los MVBF se caracterizan por una estructura conocida como patrón, mientras que su evolución temporal, amplitud y fase se estudian a través de series de tiempo conocidas como índices (Barnston y Livezey, 1987; González Reviriego y Rodríguez-Puebla, 2010).

El uso de índices de teleconexión ha sido un método efectivo para la identificación de aquellos MVBF que influyen en la hidrología a escala interanual (López de la Cruz, 2013). Cada índice se basa en ciertos parámetros y describe solo ciertos aspectos del clima, por lo que gran variedad de estos se han definido y examinado en numerosas publicaciones (Trenberth, 1984; Ropelewski y Jones; 1987; Servain, 1991; Trenberth y Hoar, 1996; Mantua et al., 1997; Trenberth, 1997; Saji et al., 1999; Nan y Li 2003; Marshall, 2003; Ashok et al., 2007; Nnamchi et al., 2011). En el caso de Sudamérica y océanos vecinos, estos son usados para caracterizar la reorganización de la circulación a gran escala causada por la interacción océano-atmósfera (Vuille y Garreaud, 2012).

El Niño- Oscilación del Sur (ENSO, del inglés El Niño–Southern Oscillation) es un fenómeno océano-atmosférico de gran escala responsable, en gran medida, de la ocurrencia de variaciones interanuales a nivel mundial. (Enfield, 1989; Diaz y Kiladis, 1992; Allaby, 2008). El ENSO posee un comportamiento erráticamente cíclico de 2 a 7 años (Trenberth, 1991; Garreaud et al., 2009;). El fenómeno consta de dos fases en su componente oceánica, por un lado el calentamiento atípico de las aguas tropicales del océano Pacífico, llamado popularmente El Niño, mientras el enfriamiento atípico de dichas aguas es conocido como La Niña (UNISDR, 2009; González-Reviriego y Rodríguez-Puebla, 2010). El Índice del Niño Oceánico (ONI, por sus siglas en inglés) es el indicador principal usado por la NOAA para monitorear la parte oceánica del ENSO (NOAA, 2022). La componente atmosférica se conoce como Oscilación Sur (SO, del inglés Southern Oscillation) y se caracteriza por ser una onda estacionaria en la atmósfera que produce un gradiente de presiones en el O y E del Pacífico Ecuatorial (Sedano-Cruz, 2017). Esta componente es monitoreada a través del Índice de Oscilación del Sur (SOI, del inglés Southern Oscillation index).

Los estudios relativos al fenómeno ENSO han aumentado en las últimas décadas debido a la ocurrencia de eventos naturales extremos que ponen en riesgo a las poblaciones (Groch et al., 2020). En Argentina, la asociación de ENSO con la producción de inundaciones fue estudiada por Callau Poduje y Seoane (2013), y la variabilidad del régimen precipitaciones por Daniels y Veblen (2000), Ribera y Penalba (2015) y Penalba y Ribera (2016). Fundamentalmente, en la Patagonia, los resultados de las investigaciones de Araneo y Compagnucci (2007), Garreaud et al. (2009) y Bianchi (2016) exponen que ENSO es uno de los principales forzantes del clima regional.

La fase cálida del índice (el Niño) produce un debilitamiento de los vientos alisios y la aparición de aguas más cálidas en las costas de Sudamérica (Araneo y Compagnucci, 2007). Durante los eventos de El Niño, la temperatura del océano aumenta, lo que contribuye al incremento de la actividad convectiva y por ende la producción de mayores precipitaciones en el continente Sudamericano (Gatti, 2014). Los efectos más notorios sobre el régimen de lluvias suceden desde finales de otoño, principios de invierno, finales de primavera y principios de verano (Heinzenknecht, 2011). La Niña (fase fría) produce una intensificación de los alisios y la retirada de las aguas cálidas hacia Australia, (las cuales son reemplazadas por las aguas frías traídas desde el Polo Sur, por la Corriente Marina Fría de Humboldt). Este mecanismo provoca la producción de precipitaciones inferiores a las normales entre finales de la primavera e inicios de la época estival.

Las descargas totales anuales de los ríos del norte patagónico se relacionan con las fluctuaciones del El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (Romero et al., 2014). Esta

relación se explica a través de la cantidad de nieve acumulada en las montañas donde los ríos Limay y Neuquén tienen su origen, ya que esta se derrite y fluye hacia el RN durante la primavera y el verano, aumentando su caudal (Vich et al., 2014). Las condiciones meteorológicas afectan la cantidad de nieve acumulada durante el invierno, vinculándose años de exceso de caudal en el sistema hidrográfico de los ríos Limay, Neuquén y Negro con eventos El Niño, mientras el déficit se correlaciona a La Niña (Romero y González, 2016).

El Modo Anular del Sur (SAM, del inglés Southern Annular Mode) o también conocido como Oscilación Antártica, es un patrón de variabilidad del clima del Hemisferio Sur que describe el desplazamiento N-S del cinturón de vientos del O que circulan alrededor de la Antártida (Stella, 2018). La variación latitudinal de dicho cinturón de vientos afecta la intensidad y posición de los frentes fríos y de otros sistemas de latitudes medias y por ello es, en parte, responsable de la variabilidad de la precipitación y temperatura. Además, el SAM modula la señal del ENSO sobre la variable precipitación (Aravena y Luckman, 2008; Garreaud et al, 2009; Bianchi, 2016).

El ciclo del SAM está caracterizado por fases positivas y negativas (Stella, 2018). La fase positiva ocurre cuando el cinturón de vientos del O se desplaza hacia el S, es decir se contrae hacia la Antártida (Silvestri y Vera, 2003). El desplazamiento favorece la producción de vientos del O más intensos en el S de Argentina que limitan la entrada de los frentes fríos en el continente (Rabuffetti, 2018). Esta fase se asocia a anomalías de presión positivas en el S del continente y anomalías negativas sobre la Antártida (Nan y Li, 2003; Stella, 2018).

La fase negativa del SAM ocurre cuando el cinturón de vientos del O se expande hacia el norte (Nan y Li, 2003). Esta expansión provoca un debilitamiento de los vientos del O, lo cual promueve el ingreso de frentes fríos provenientes del polo sur al territorio argentino (Rabuffetti, 2018). Este desplazamiento latitudinal hacia el norte incentiva la ocurrencia de lluvias y una reducción de las temperaturas (Romero et al., 2014). En el campo de la presión atmosférica se observan anomalías negativas en el S del territorio argentino y anomalías positivas sobre la Antártida (Stella, 2018).

La variabilidad de la temperatura en la Patagonia se correlaciona positivamente con el SAM (Flantua et al., 2016). La fase positiva del patrón favorece un aumento en las temperaturas estivales (Garreaud et al., 2009) debido a una mayor advección de calor relacionada a que más bajos niveles de nubosidad permiten una mayor recepción de radiación solar (Gupta y England, 2006). En cambio, la precipitación muestra una correlación negativa con el SAM (Silvestri y Vera, 2003; Gillett et al., 2006). El régimen de lluvias en el sector SE de Sudamérica disminuye durante la fase positiva del SAM asociado a una reducción del flujo de humedad del O y la convergencia de la humedad

del Pacífico (Garreaud et al., 2013). El mayor efecto de la fase negativa del SAM se produce durante la primavera, ya que provoca un aumento de la convergencia de humedad y por lo tanto un incremento de la precipitación sobre el SE de Sudamérica (Romero et al., 2014).

La relación entre la variabilidad de la temperatura, la precipitación y los índices de temperatura superficial del mar (TSM) del Atlántico aún se debate (Enfield y Mayer, 1997; Mehta, 1998; Enfield et al., 2001; Nnamchi y Anyadike, 2011). En una investigación realizada en la chiRN, se observó un decrecimiento de la temperatura asociado a la fase positiva del índice Tropical Southern Atlantic (TSA) (Flantua et al., 2016). Aunque no se ha encontrado una relación entre los cambios circulatorios oceánicos y atmosféricos asociados a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y las variaciones decadales del clima del noreste patagónico (Enfield y Mayer, 1997; Mantua y Hare, 2002; Gillet et al., 2006; Garreaud et al. 2009; Nnamchi y Anyadike, 2011; Loikith et al., 2017; Rusticucci et al., 2017), se ha detectado una correlación negativa entre las series de caudal de los ríos del norte patagónico con el índice durante los años 1970 y 2000 (Lauro et al., 2019).

Actualmente, la relación entre las precipitaciones y la TSM del Atlántico y Pacífico es estudiada de manera trimestral para el sistema hidrográfico de los ríos Limay, Neuquén y Negro por el Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la Universidad de Buenos Aires (2022) (<http://perspectiva.at.fcen.uba.ar/comahue-perspectiva.php>). En la chiRN, los resultados encontrados muestran que la variabilidad del régimen de precipitaciones se relaciona a la ocurrencia de anomalías de TSM de los océanos antes mencionados. Sin embargo, este pronóstico posee la limitación de hallarse en fase experimental, es decir, el producto final aún no se encuentra terminado y está en pleno desarrollo por lo que su empleo solo se reduce a fines investigativos.

La comprensión de la relación existente entre los MVBF y la recurrencia de las inundaciones es vital para emprender medidas de mitigación que sean efectivas para aminorar posibles impactos socioeconómicos asociados a la variabilidad natural del clima y cambio climático (Jongman et al., 2012; Ward et al., 2014). Según advierte el último informe del IPCC (2021), son esperables cambios en la variabilidad del régimen de precipitaciones y caudales de los ríos asociados a un aumento de la recurrencia de eventos El Niño. En el caso de la chiRN, la bibliografía publicada sobre el modo en que los patrones de teleconexión se correlacionan con la ocurrencia de anomalías de temperatura, precipitación y producción de inundaciones, es limitada. Por ello, en este capítulo se estudia la correlación entre la producción de anomalías de temperatura, precipitación y ocurrencia de inundaciones con los cambios registrados a escala

interanual relacionados a diferentes modos de variabilidad de baja frecuencia, para el área de estudio.

#### 4.2. Método de trabajo

El cálculo de anomalías climáticas fue realizado sobre la base de los registros de temperatura del aire y precipitación del punto de malla localizado en Viedma (40°30'00" S y 62°49'00" O) procedente del repositorio de datos de reanálisis POWER NASA Project (POWER NASA Project, 2021) (ver Figura 3.1 en Capítulo 3). El período de estudio seleccionado fue 1981 - 2020 y la resolución temporal de los datos fue mensual. Las anomalías fueron calculadas como (Ecuación 4.2):

$$\text{Anomalía} = V_m - \bar{V}_m \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde  $V_m$  es el valor mensual y  $\bar{V}_m$  es el valor medio del mes analizado entre 1981-2020.

El estudio de los cambios de circulación de baja frecuencia (BF) fue realizado sobre la base de los índices de teleconexión climáticos: SOI, ONI, TSA, TNA, SAM y PDO. La relación entre la ocurrencia de eventos Niño/Niña y las anomalías de temperatura y precipitación observadas fue estudiada a partir del análisis de los índices: SOI (Oscilación del Sur) y ONI (Índice Oceánico Niño), (descritos ambos por sus siglas en inglés). El índice SOI fue definido como la diferencia observada de presión del nivel del mar entre Tahití y Darwin, Australia (Trenberth; 1984; Trenberth y Hoar, 1996). La fase negativa (positiva) del SOI representa una presión de aire por debajo (encima) de lo normal en Tahití y por encima (debajo) de lo habitual en Darwin, relacionándose a episodios de El Niño (La Niña). El ONI es un índice calculado a partir de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el centro-este del océano Pacífico tropical (Ropelewski et al., 1987). La fase cálida (fría) del ONI se corresponde con el Niño (La Niña). Los datos relativos a los índices SOI y ONI fueron obtenidas del Physical Sciences Laboratory (NOAA, 2022) en

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>, y <https://psl.noaa.gov/data/correlation/oni.data>, respectivamente.

El Modo Anular del Sur (SAM, por sus siglas en inglés) representa la diferencia normalizada de la presión reducida al nivel medio del mar entre 40°S y 70°S (Nan y Li, 2003). La series de tiempo del índice se encuentran disponibles en: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/aao/monthly\\_aao.index.b79.current.ascii.table](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/aao/monthly_aao.index.b79.current.ascii.table). El cálculo del índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) está basado en el método de componentes principales y considera la anomalía mensual de temperatura del mar sobre el Océano Pacífico Norte, desde 20°

N hacia el polo. En este caso, la anomalía de la temperatura media global de la superficie del mar es removida para filtrar la señal del calentamiento global. Su serie de tiempo se encuentra disponible en el sitio de la National Center for Environmental Information de la NOAA (2022)

(<https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/cmb/ersst/v5/index/ersst.v5.pdo.dat>).

La descripción de la influencia de los índices de temperatura superficial del mar del Atlántico (TSM) sobre el clima del área de estudio fue realizada en base al índice del Atlántico Tropical Sur (TSA) y del Atlántico Tropical Norte (TNA). El índice del Atlántico Tropical Sur (TSA por sus siglas en inglés) se calcula como la anomalía mensual en las temperaturas superficiales del aire promediadas en el sector comprendido entre el ecuador y los 20°C y 10°E - 30°O, mientras el índice del Atlántico Tropical Norte (TNA por sus siglas en inglés) se define como el promedio mensual de la TSM entre los 5.5°N - 23.5N y 15°O - 57.5°O (NOAA, 2022). Las series de datos de ambos índices de teleconexión climáticos se encuentran disponibles en <https://psl.noaa.gov/data/correlation/tna.data> y <https://psl.noaa.gov/data/correlation/tsa.data>, respectivamente.

La TRF fue aplicada en el punto de malla de Viedma (40°30'00" S y 62°49'00" O) (ver Figura 3.1 en Capítulo 3) para encontrar componentes cíclicas o periódicas de las anomalías mensuales de precipitación y temperatura del aire de Viedma. El análisis de ondículas (WT, según sus siglas en inglés) (Grinsted et al., 2004) se utilizó al 95% de nivel de confianza para identificar patrones de variabilidad a diferentes niveles de detalle y examinar su evolución temporal. Para una mejor visualización, la energía correspondiente a las oscilaciones interanuales de temperatura del aire fue calculada tras aplicar una media móvil de doce meses, lo cual elimina el componente energético asociado al ciclo anual. El nivel de significancia estadística del WT fue determinado con la utilización del método de Monte Carlo (Grinsted et al., 2004), mientras el cono de influencia<sup>28</sup> fue definido por la metodología planteada por Torrence y Compo (1997).

La correlación existente entre los índices de teleconexión y las anomalías de temperatura y precipitación fue calculada a través del análisis de ondículas cruzadas (CWT, por sus siglas en inglés). El CWT y la diferencia de fases fue utilizada para analizar la relación entre las series temporales de los índices climáticos y las anomalías de precipitación y temperatura del aire, identificando la periodicidad de cada una y cómo están relacionadas en el tiempo. La transformada fue definida a través del cuadrado del

---

<sup>28</sup> zona donde los efectos causados por los bordes no pueden ser ignorados y se aprecia en los resultados como una zona sombreada más que el resto delimitada por una línea negra (Grinsted et al., 2004).

espectro cruzado de las dos series temporales. La metodología empleada para el cálculo fue descrita por Torrence y Webster (1998) y Grinsted et al. (2004). Los resultados obtenidos en este caso indican cuáles fueron las zonas del espacio tiempo - frecuencia que tienen una potencia wavelet (ondícula, en adelante, wavelet) común para las dos series y la relación de fases de ambas series.

En el análisis de wavelet cruzado, las flechas que se obtienen indican la dirección de la correlación entre las series de datos analizadas. La dirección de la flecha se puede interpretar como sigue: si la flecha apunta hacia la derecha, indica una relación directa entre las dos variables, lo que significa que ambas variables están en fase y se mueven juntas en la misma dirección. Si la flecha apunta hacia la izquierda, indica una relación de anti - fase, lo que significa que las variables se mueven en direcciones opuestas. Si las flechas resultantes son verticales, esto indica una fuerte correlación en la variación de frecuencia entre dos señales, pero sin una correlación en la variación de fase. En otras palabras, los cambios en una señal están estrechamente relacionados con los cambios en la otra señal, pero no necesariamente ocurren simultáneamente (desfasado). Finalmente, las flechas diagonales indican una relación de fase intermedia entre las dos series.

Sobre la base de los reportes de inundaciones de la Tabla 5.1 (ver Capítulo 5), fue observado si la ocurrencia de estos eventos se relaciona a cambios circulatorios asociados a VBF. Fueron analizados reportes de inundación acontecidos entre 1981 y 2020. La correlación entre inundaciones y la VBF fue estudiada sobre la base de detectar si durante el período de los reportes se visualizaron máximos de energía en los gráficos pertenecientes al análisis wavelet. Además, se analizó la fase en la que se encontraba cada índice de teleconexión al momento del registro de la inundación.

### **4.3. Resultados**

#### **4.3.1. Espectro de la temperatura del aire.**

La TRF mostró máximos de energía en la frecuencia anual (365 días), semianual (6 meses), bimensual y mensual para el parámetro de temperatura del aire (Figura 4.1). Los resultados detectaron un máximo de energía correspondiente a 12 días (cambios a escala sinóptica<sup>29</sup>). En la escala interanual se observaron señales y/o pulsos de energía entre los 2 a 9 años.

---

<sup>29</sup> escala meteorológica que describe fenómenos definidos en un rango espacial de cientos a miles de kilómetros y cuyos procesos tienen una duración de días (anticiclones y bajas presiones, frentes cálidos, fríos, polares, ocluidos, etc) (Kurz, 1990; Allaby, 2008).



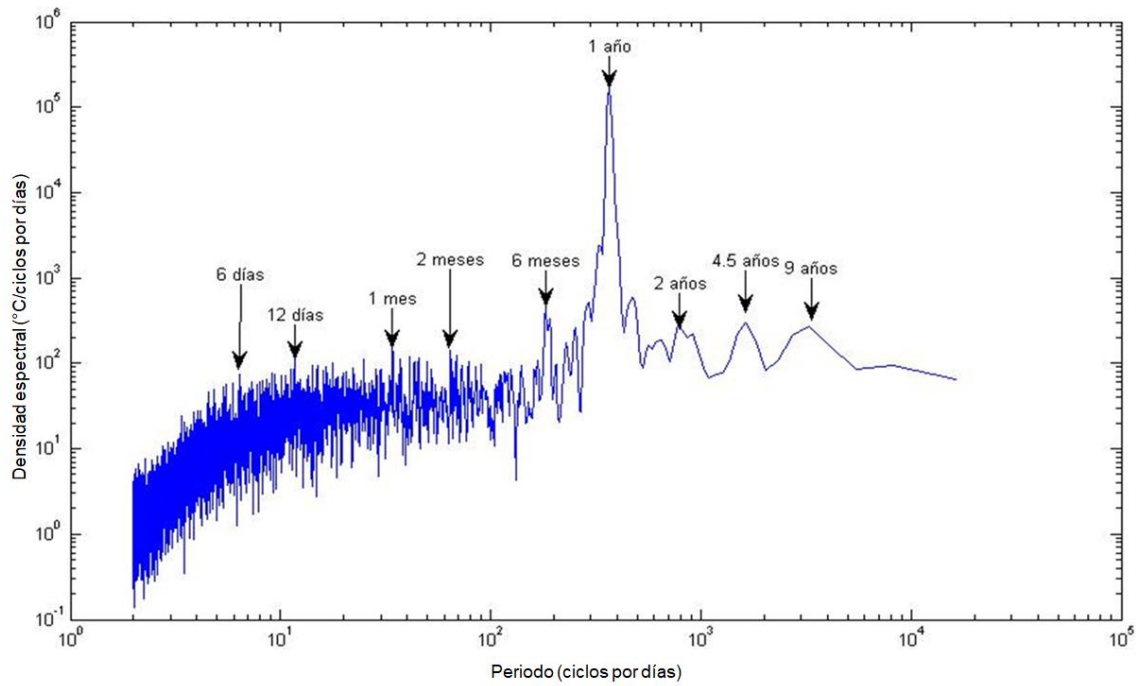
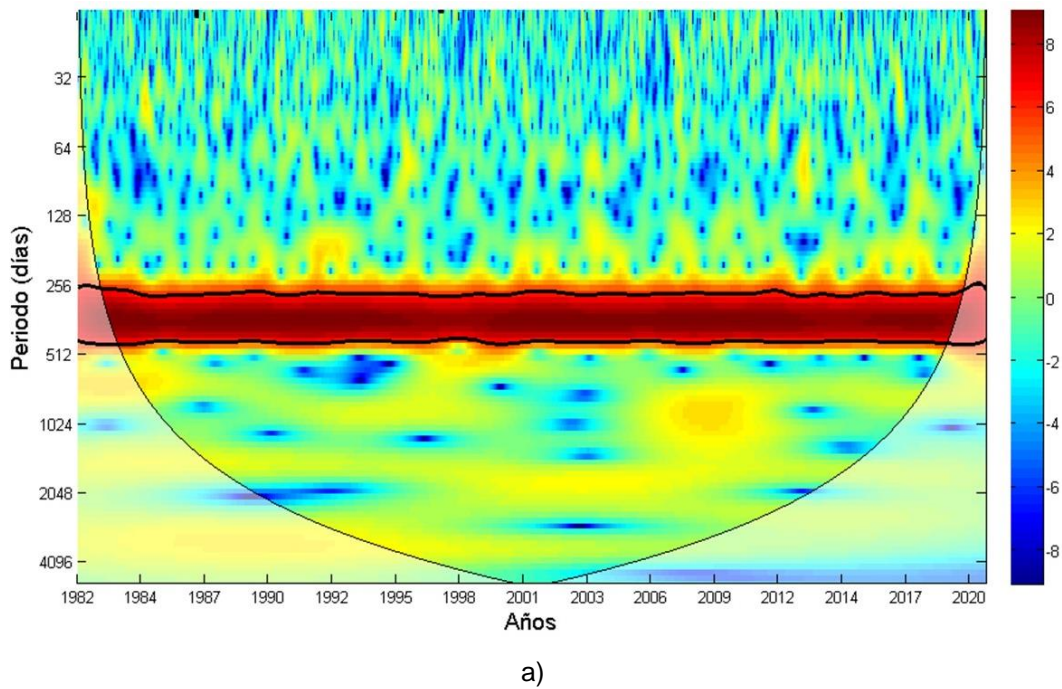
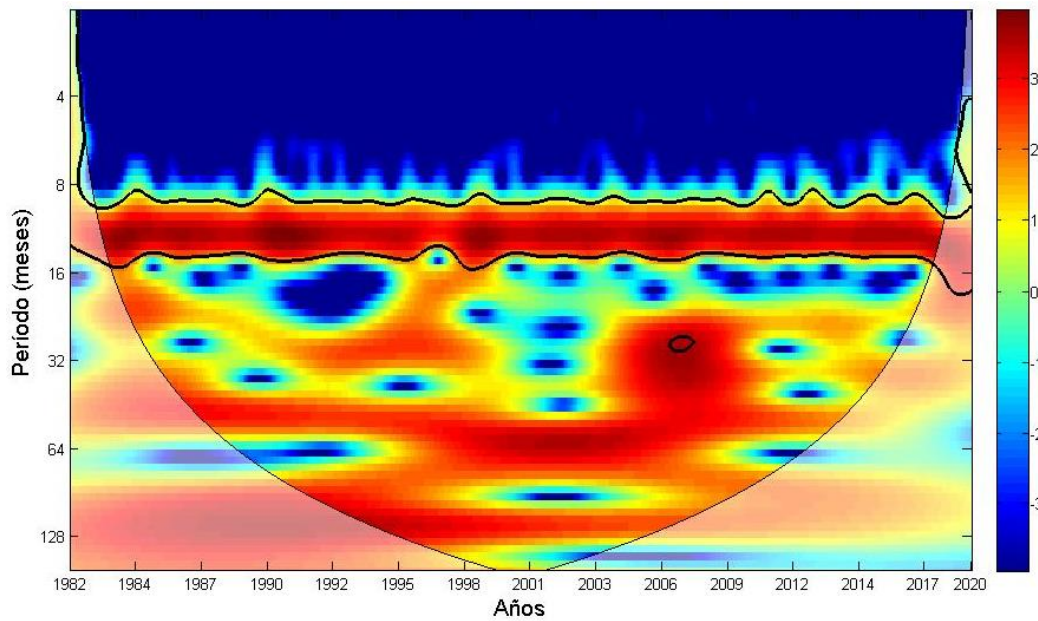


Figura 4.1. Transformada Rápida de Fourier de temperatura del aire en Viedma (período 1981 - 2020). Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).





b)

Figura 4.2. Análisis de ondículas de la temperatura del aire en Viedma (período 1981 – 2020): a) análisis de ondículas sin filtro de media móvil de 12 meses, b) análisis de ondículas con filtro de media móvil de 12 meses. Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

Los resultados del WT (Figura 4.2a) validaron los resultados hallados por la TRF y demostraron la alta intensidad del ciclo anual de temperatura del aire. Se identificaron, además, máximos de menor intensidad entre 3 y 6 meses. En la escala interanual fueron observados máximos entre los 2 a 6 y 10 años (Figura 4.2b).

#### 4.3.2. Espectro de la precipitación

La TRF de la precipitación mostró máximos de energía en la frecuencia anual y trimensual (Figura 4.3). Además, se visualizaron pulsos de energía en el ciclo semianual y bimensual. En la escala interanual fueron detectados máximos de energía desde los 2.5 a 19 años.

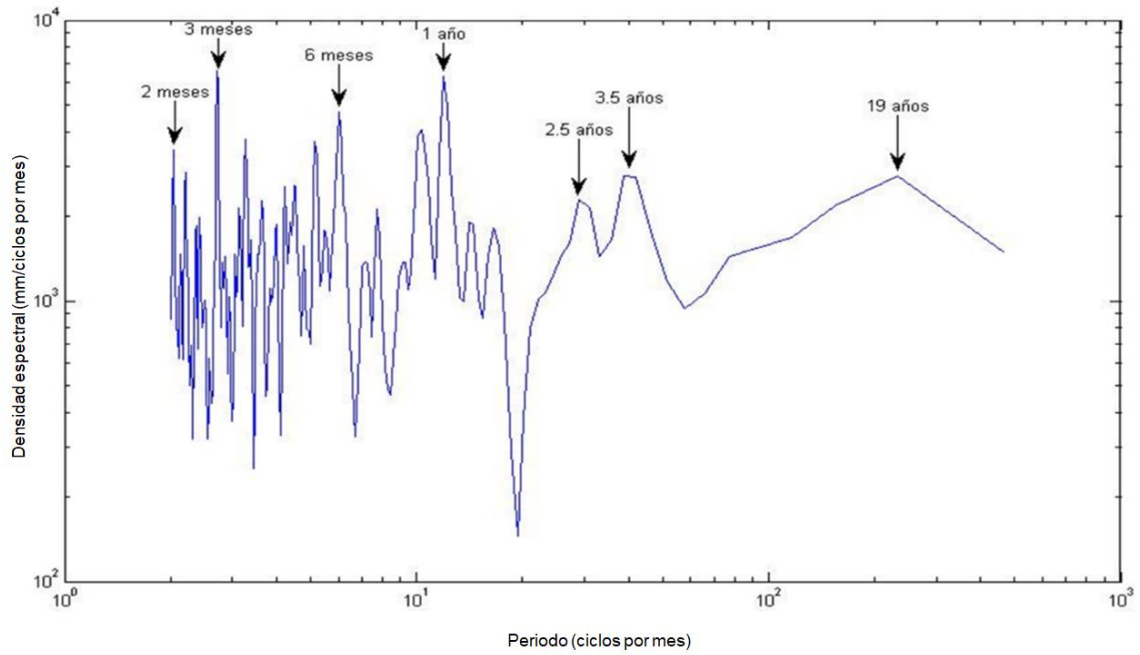


Figura 4.3. Transformada Rápida de Fourier de la precipitación en Viedma (período 1981 – 2020). Elaboración sobre la base de POWER NASA Project (2021).

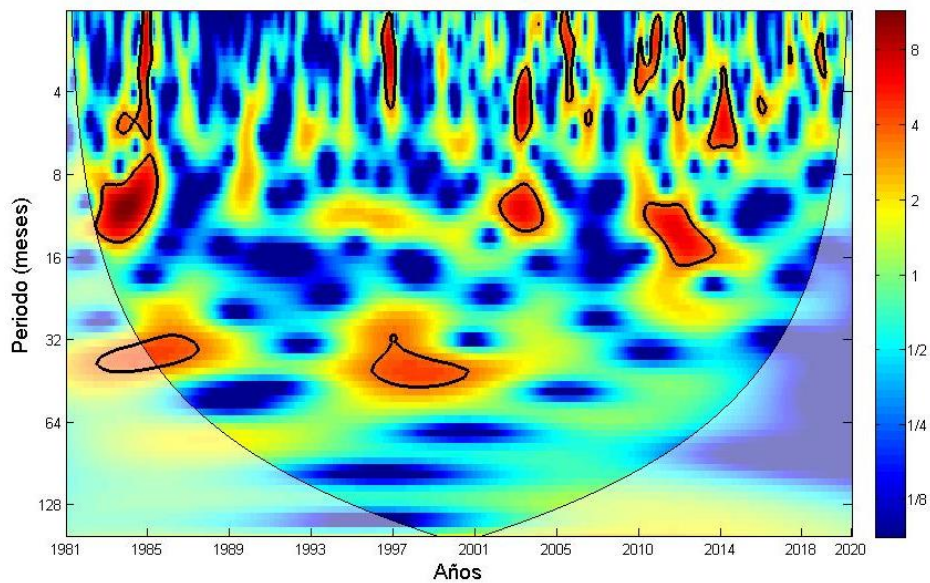


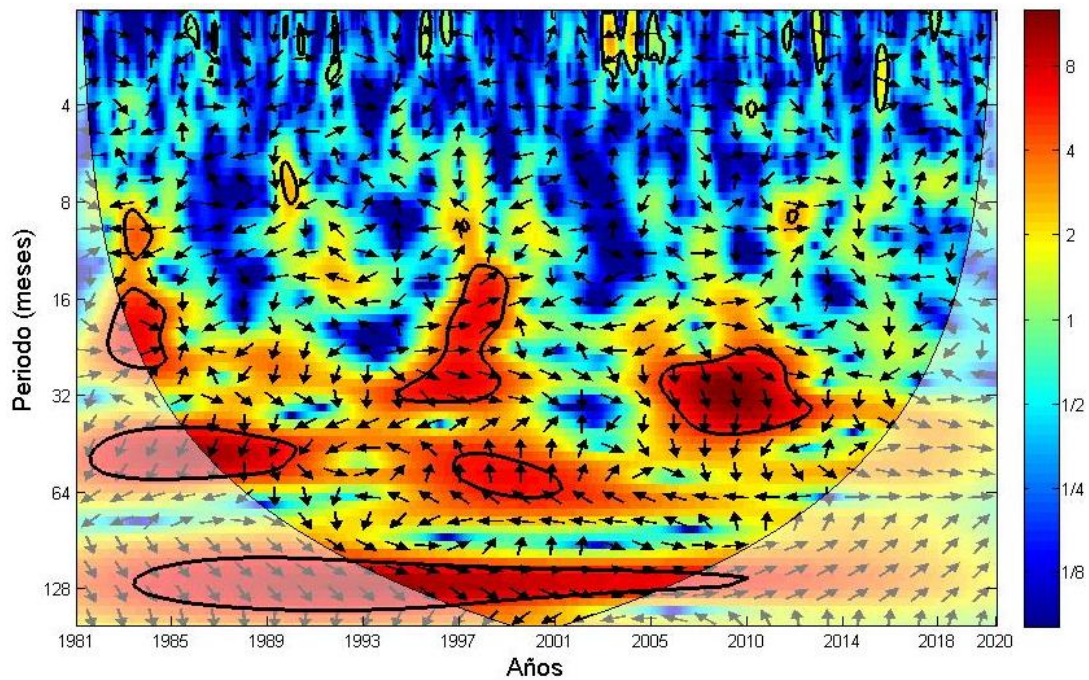
Figura 4.4. Análisis de ondículas de la precipitación en Viedma (período 1981 – 2020). Elaboración sobre la base de datos de POWER NASA Project (2021).

La intensidad del ciclo anual no fue tan perceptible para la precipitación (Figura 4.4) como en el caso de la temperatura del aire (Figura 4.2a). Los máximos de energía correspondientes a la frecuencia anual solo fueron reportados durante los los períodos 1982-1985, 2002-2004 y 2010-2013. En la escala interanual se detectaron máximos de energía entre los 2 a 5 años durante 1982-1986 y 1996-2001.

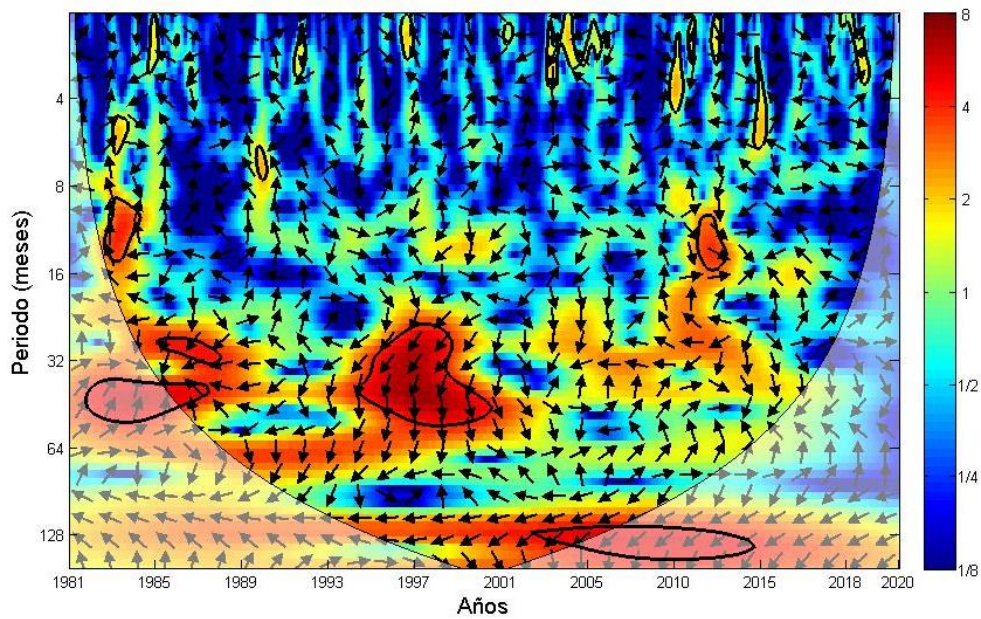
### 4.3.3. Relación entre índices de teleconexión y la ocurrencia de anomalías de temperatura del aire y precipitación

#### 4.3.3.1. El Niño - Oscilación del Sur

El CWT entre las anomalías de temperatura e índice SOI reveló la presencia de máximos de energía estadísticamente significativos entre 1983-1985 (antifase), 1999 (desfasado), 1996-1998 (en fase) en la escala de 8 a 16 meses (Figura 4.5a). Luego, fueron registrados pulsos energéticos entre los 16 meses a 5 años para 1983-1986 (cuasi en fase), 1986-1990 (cuasi en antifase), 1994-1999 (en fase), 1998-2001 (desfasado en 90°), 2006-2013 (desfasaje de 90°). Finalmente, fue detectado un pulso de energía continuo entre 1993 y 2005 en torno a los 10 años cuasi-en fase. En los núcleos de energía observados en todas las escalas, las flechas toman distintas direcciones, por ello se afirma que si bien fue encontrada una fuerte correlación en la variación de frecuencia entre dos señales, no fue encontrada una relación de fase.



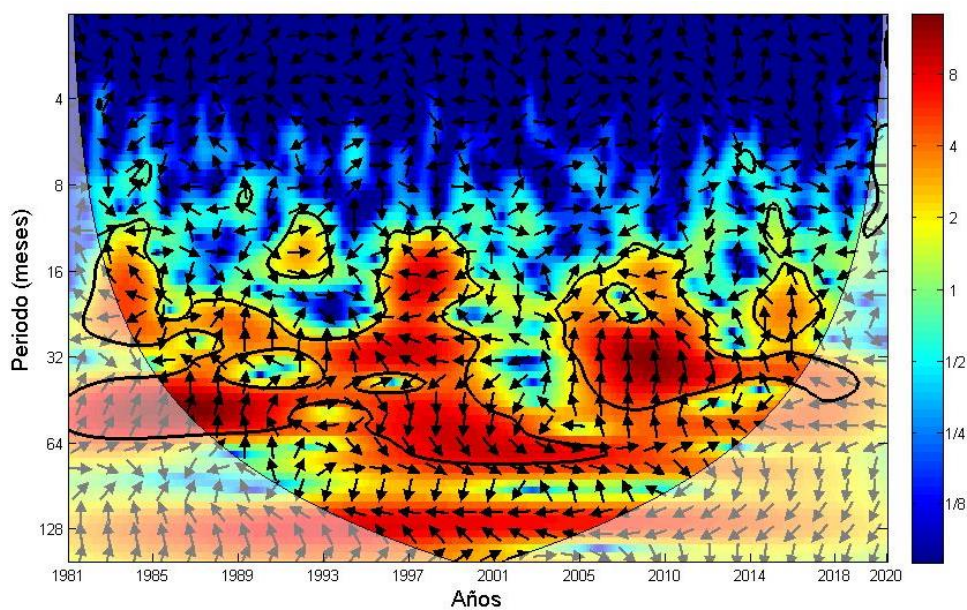
a)



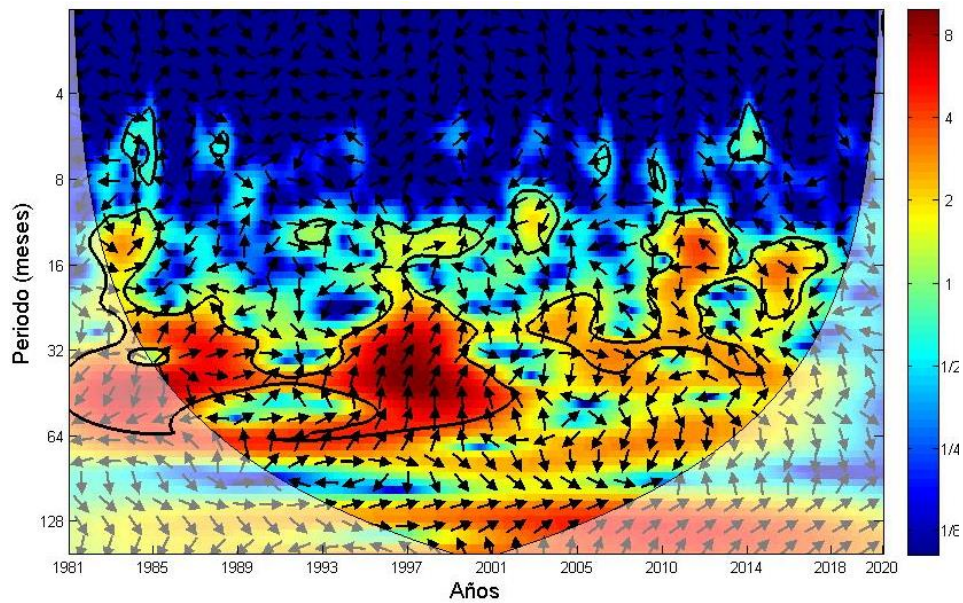
b)

Figura 4.5. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático SOI (período 1981 – 2020): a) temperatura del aire, b) precipitación. Elaboración sobre la base de los datos de POWER NASA Project (2021).

No se observó una correlación entre la precipitación y el SOI durante todo el período de estudio (Figura 4.5b). Entre los 18 meses a 6 años se observaron máximos de energía estadísticamente significativos entre 1986-1988 (desfasado) y 1994-2000 (desfasado). Además, fueron registrados núcleos aislados en torno a los 4 y 16 meses.



a)



b)

Figura 4.6. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático ONI (período 1981-2020): a) temperatura del aire, b) precipitación. Elaboración sobre la base de los datos de POWER NASA Project (2021).

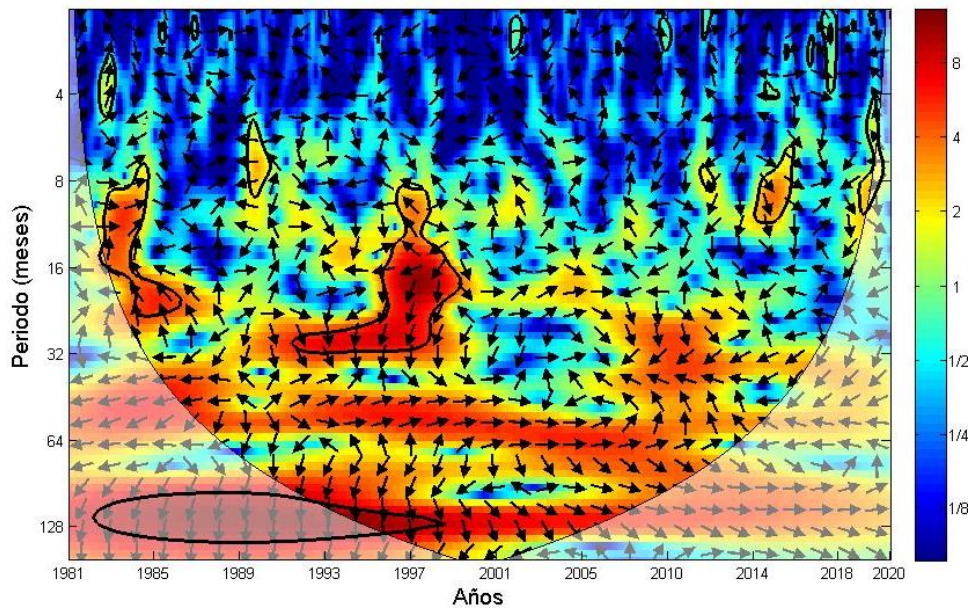
En ambos casos, para la escala interanual fue detectada una alta correlación entre al ONI y la variabilidad observada en las series de temperatura y precipitación debido a la presencia de un máximo temporalmente discontinuo (Figuras 4.6a y b). Los pulsos de energía asociados a la relación de la serie de anomalías de la temperatura del aire con el índice se encontraron, en su mayoría desfasados. La misma situación ocurrió para la precipitación.

#### 4.3.3.2. Índices del Atlántico Tropical

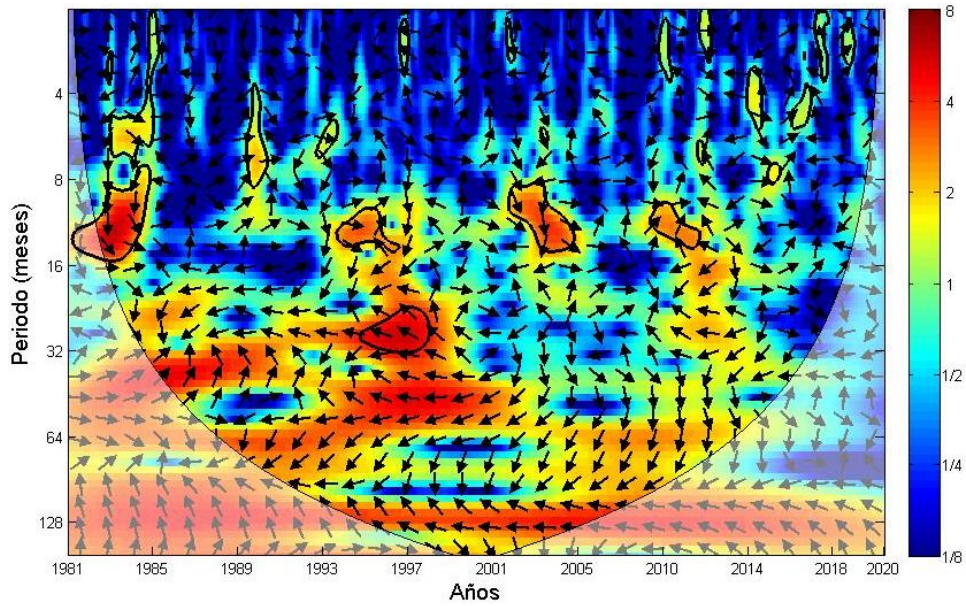
Los resultados del CWT entre el índice TSA y las anomalías de temperatura indicaron cuatro máximos de energía estadísticamente significativos en la escala de 8 meses a 2 años y medio (Figura 4.7a). Los períodos durante los cuales fueron observados los pulsos de energía correspondieron a: 1984-1986 (desfasado), 1991-1999 (desfasaje de 90°), 2014 (cuasi en fase) y 2016 (desfasado en 90°). En este caso, ambas series se encontraron desfasadas.

Las anomalías de precipitación se relacionaron al índice TSA a través de núcleos de energía aislados en torno a los 8 meses y 2 años (Figura 4.7b). Los máximo fueron localizados entre 1981-1985 (desfasaje de 90°), 1993-1998 (antifase), 2003-2006

(desfase de 90°) y 2010 (desfasaje de 90°). En términos generales, ambas series tuvieron un desfasaje de  $\pm 90^\circ$ .

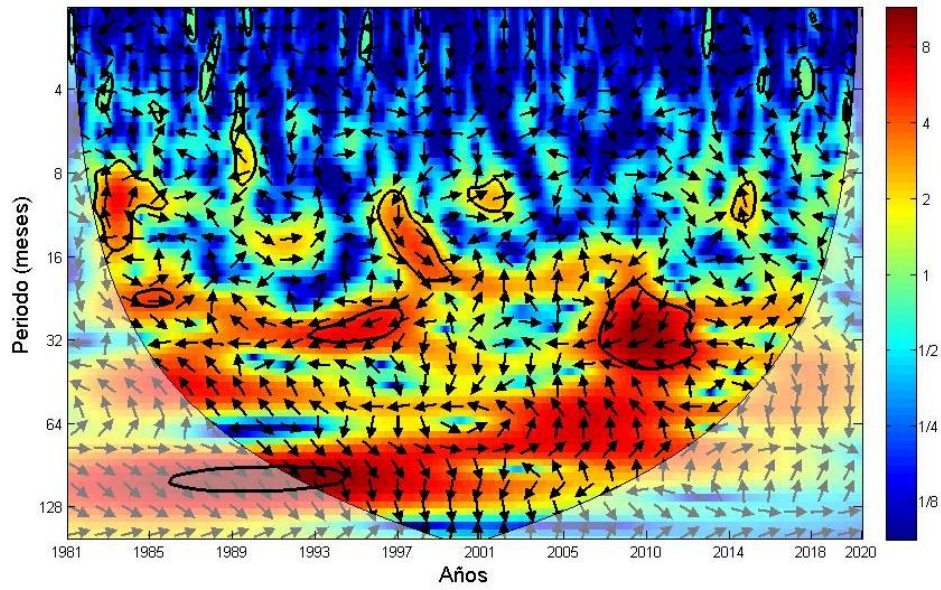


a)

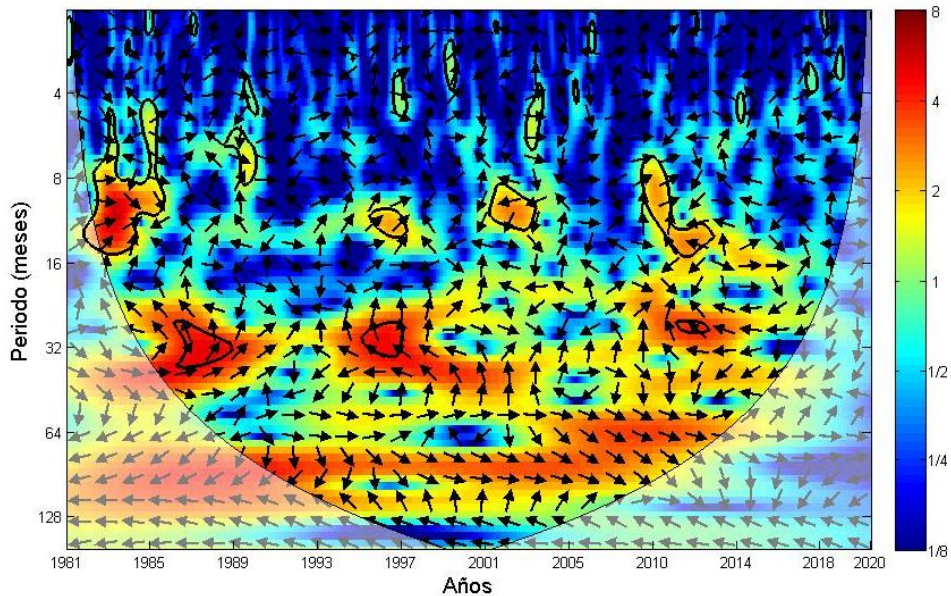


b)

Figura 4.7. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma y el índice de teleconexión climático TSA (período 1981 – 2020): a) temperatura del aire, b) precipitación. Elaboración sobre la base de los datos de POWER NASA Project (2021) y NASA (2022).



c)



d)

Figura 4.8. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma e índice climático de teleconexión TNA (período 1981 – 2020): a) temperatura del aire, b) precipitación. Elaboración sobre la base de los datos de POWER NASA Project (2021) y NASA (2022).

La ocurrencia de anomalías de temperatura del aire asociadas al índice TNA se expresaron a través de la detección de pulsos de energía en torno a los 8 y 16 meses (Figura 4.8a). Los períodos donde los máximos fueron observados correspondieron a 1984-1987 (en fase), 1990 (desfasado), 1997- 1998 (desfasado), 2001-2002 (en fase), 2014 (desfasaje de 90°). En la escala de 2 a 5 años fueron encontrados pulsos de



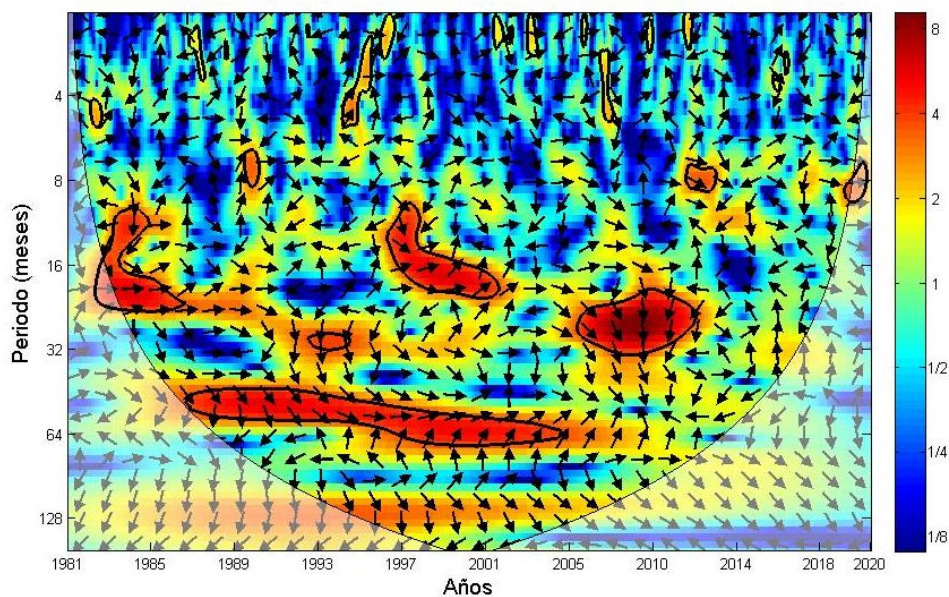
energía entre 1986-1987 (en fase), 1992-1998 (antifase), 1998-2000 (cuasi-en fase), 2002 (en fase), 2006-2013 (desfasado).

La relación entre la realción de fases de la serie de precipitación y el TNA fue menos evidente. Se detectaron máximos de energía aislados entre 1984-1988 (cuasi-en fase), 1990 (en fase), 1997 (cuasi-en fase), 2002-2004 (cuasi-en antifase) y 2010-2013 (cuasi-en fase), para el período comprendido de 8 a 16 meses. Para los 2 a 3 años fueron detectados 3 pulsos de energía: 1988-1990 (desfasaje en  $90^\circ$ ), 1996-1998 (desfasaje en  $90^\circ$ ) y 2013 (desfasado).

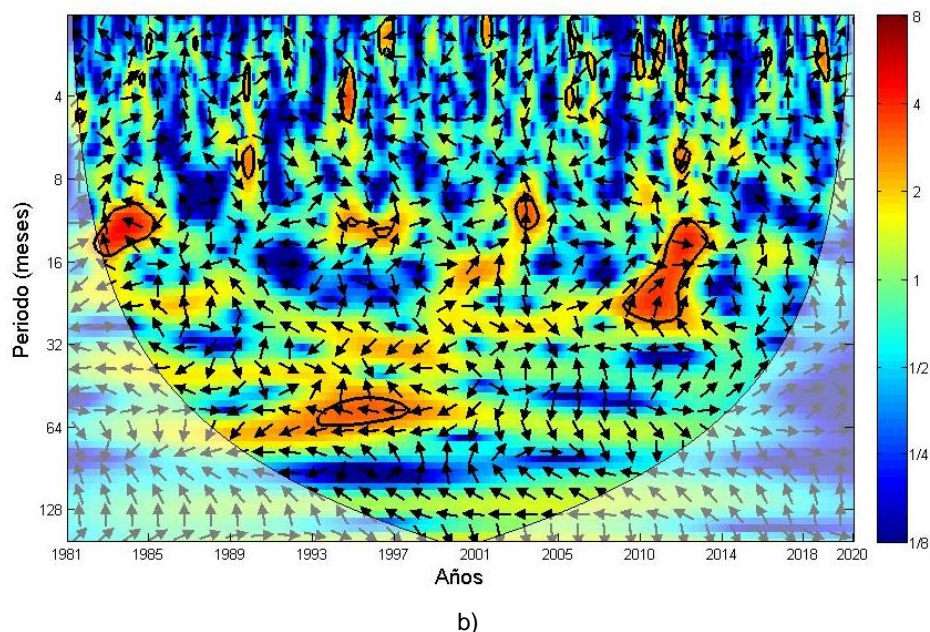
En términos generales, la relación entre las anomalías de las variables meteorológicas y los índices del TSM del Atlántico fue apreciable en la escala interanual. Sin embargo, los máximos de energía asociados a las variables analizadas solo fueron localizados en períodos puntuales. La presencia de máximos de energía coincidieron temporalmente con años donde la señal energética del ENSO (estudiado a través de los índices SOI y ONI) fue fuerte (1982-1983, 1997-1998 y 2009-2010).

#### 4.3.3.3. Modo Anular del Sur (SAM)

Las variaciones del SAM se correlacionaron con las anomalías de temperatura del aire en torno a la escala interanual (Figura 4.9a). Fue notable el registro de máximos de energía entre a los 8 meses y 2 años para los períodos 1984-1987 (en fase), 1994 (desfasaje de  $90^\circ$ ), 1997-2002 (en fase) y 2006-2013 (desfasaje de  $90^\circ$ ). Además, un pulso de energía fue detectado entre 1988-2004 (en fase) para la escala de 3 a 5 años.



a)



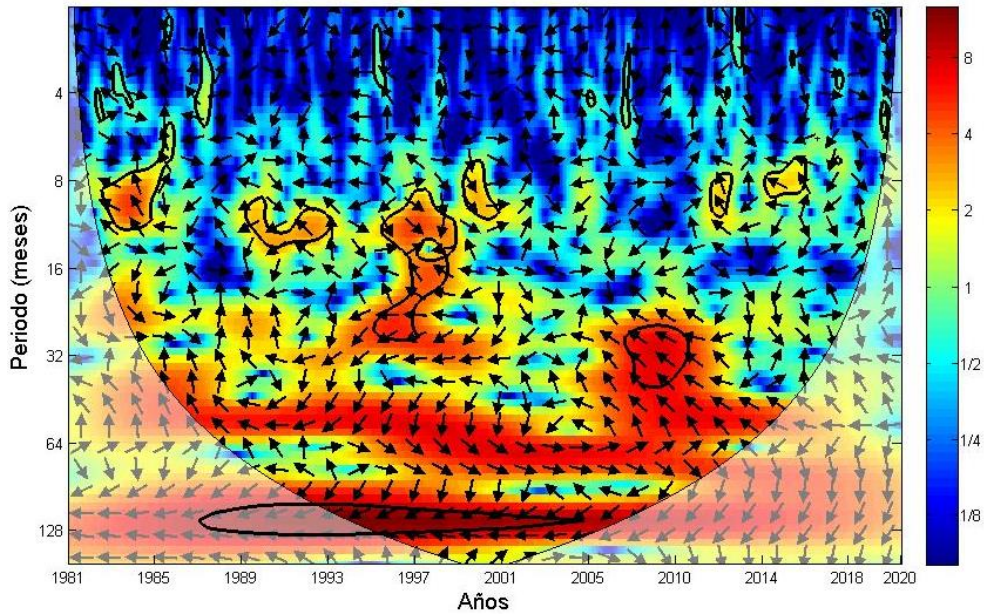
b)

Figura 4.9. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma e índice climático de teleconexión SAM (período 1981 – 2020): a) temperatura del aire, b) precipitación. Elaboración sobre la base de los datos de POWER NASA Project (2021) y NASA (2022).

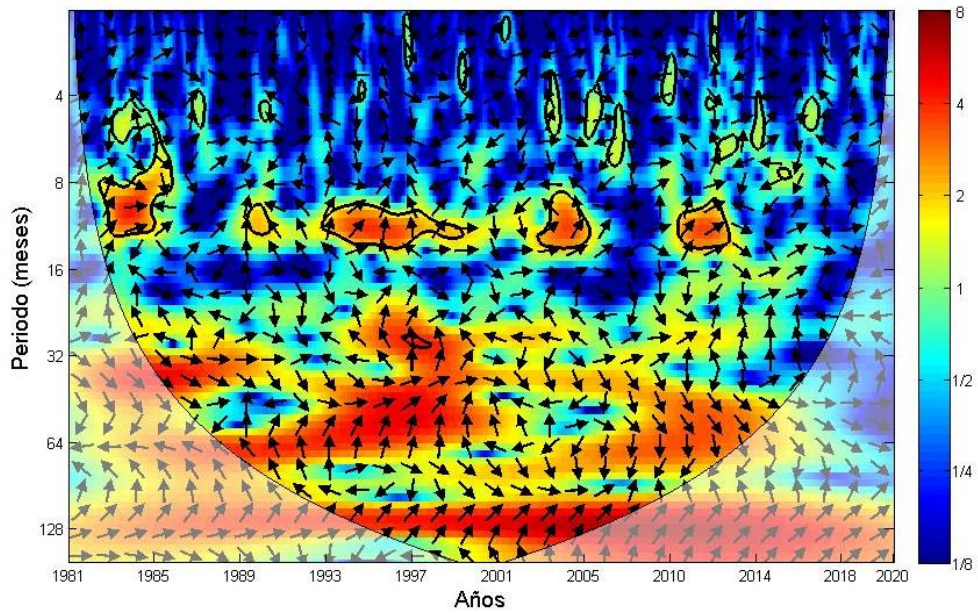
En comparación con la temperatura (Figura 4.9a), fue notoria la disminución de núcleos de energía que correlacionan al índice SAM con las anomalías de precipitación (Figura 4.9b). En la escala interanual de 8 a 16 meses fueron hallados máximos de energía en 1985 (desfasado), 1995 (en fase), 2003 (desfasado 90°) y 2009-2013 (desfasado). Finalmente, un máximo energético fue hallado entre 1993 a 1998 (antifase).

#### 4.3.3.4. Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

La asociación entre el patrón climático de la PDO y las anomalías de temperatura del aire fue detectada entre los 8 meses a 5 años (Figura 4.10a). Máximos de energía fueron observados entre 1983- 1985 (desfasado), 1988-1993 (antifase), 1995-1998 (desfasado), 2000 (desfasado en 90°), 2007-2009 (desfasado). Finalmente, fue detectado un pulso de energía desde 1995 a 2004 en la escala de los 10 años (antifase).



a)



b)

Figura 4.10. Análisis de ondículas cruzadas entre las anomalías de temperatura del aire y precipitación en Viedma e índice climático de teleconexión PDO (período 1981 – 2020): a) temperatura del aire, b) precipitación. Elaboración sobre la base de los datos de POWER NASA Project (2021) y NASA (2022).

La correlación entre la PDO y las anomalías de precipitación fue detectada para la escala de 8 a 12 meses (Figura 4.10b). Se detectó la presencia de varios máximos de energía entre 1984-1986 (en fase), 1990 (desfasadas en  $90^\circ$ ), 1993-1998 (desfasadas en  $90^\circ$ ), 2002-2004 (desfasadas en  $90^\circ$ ) y 2009-2013 (desfasadas). El desfase observado mayormente fue de  $90^\circ$ .

4.3.3.5. Relación entre variabilidad de baja frecuencia y ocurrencia de inundaciones en la cuenca hidrográfica inferior entre 1981 y 2020.

De todos los patrones de teleconexión, la mayor correlación con la ocurrencia de inundaciones estuvo asociada al fenómeno del ENSO. En todos los eventos registrados fueron encontrados máximos de energía asociados a anomalías de precipitación asociadas al ENSO (Figuras 4.5b y 4.6b). El 69 % de los reportes de inundaciones ocurrieron durante la fase cálida del ENSO (Tabla 4.1), por lo cual es deducible que la fase del patrón de teleconexión que favorece la ocurrencia de inundaciones corresponde a El Niño.

Fecha de ocurrencia	Origen del evento	Valor del índice					
		SOI	ONI	TNA	TSA	AAO	PDO
01/03/1992	Inundación más grave desde desde que el RN se encuentra regulado.	-3.3	1.362	-0.327	-0.4	-1.0103	0.67
06/08/2001	Gran caudal del RN y casi 50 milímetros de lluvia registrados	-0.7	-0.112	-0.106	0.14	0.91032	-0.77
20/02/2003	Marea extraordinaria asociadas a vientos permanentes del S.	-1.1	0.63	0	0.57	-0.357	1.23
10/07/2003	Fuertes vientos del SE	0.5	0.08	0.046	0.4	0.72701	0.96
29/07/2006	Liberación de caudal procedente de represas ubicadas en los ríos Limay y Neuquén en conjunción con fuertes vientos del S (60 km/h) y marea alta.	-1	0.1	0.36	0.3	0.92	0.9
22/07/2009	Fuertes vientos del S	0.4	0.45	0.05	0.39	-1.234	-0.71
22/02/2010	Lluvias intensas	-2.4	1.14	0.865	0.68	-0.77522	0.82
04/01/2014	Conjunción de marea extraordinaria y viento del SE.	-2.4	1.22	1.07	0.68	-0.775	0.25
21/06/2018	Liberación de 600 m <sup>3</sup> de agua de represas de los ríos Limay y Neuquén.	2.4	-0.42	0.13	0.11	-0.68	-0.57
24/06/2018	Fuertes vientos (Sudestada).	-0.2	0.09	-0.21	0.46	-0.012	-0.65
23/02/2019	Aumento de caudal en conjunción con marea extraordinaria y fuertes vientos del S	-2.3	0.684	-0.029	0.68	-0.49963	-0.72
3 - 4 / 09 / 2019	Fuertes vientos (Sudestada).	-1.9	0.218	0.172	0.48	0.56304	0.13
04/07/2020	Liberación de caudal aguas arriba en interacción con marea alta.	0.7	-0.342	0.469	0.55	-0.5464	-0.91

Tabla 4.1. Comparación entre fases de índices de teleconexión climáticos estudiados y la ocurrencia de inundaciones fluviales (período 2003 – 2018).

De igual manera una correlación entre el patrón del SAM y la ocurrencia de inundaciones también fue detectada (Tabla 4.1). En este caso, la mayoría de los reportes de inundación sucedieron durante la fase negativa del índice. También fue evidente la presencia de anomalías positivas en la TSM del Atlántico durante los años que ocurrieron los reportes de inundación. En cambio, la asociación entre la ocurrencia de inundaciones y la TSM del Pacífico, descrita a través del índice PDO, no fue evidente.

#### **4.4. Discusión de resultados**

En Argentina, el ENSO influye en las variaciones de las anomalías de temperatura del aire durante primavera, verano e invierno (Bianchi, 2016; Loikith et al., 2017). En cambio, los episodios positivos del patrón climático (El Niño) se asocian, tradicionalmente, a la ocurrencia de precipitaciones por encima de lo habitual (Bianchi y Cravero, 2010). Durante la fase fría del patrón de teleconexión (La Niña), los patrones de las anomalías de la precipitación son opuestos.

La asociación entre el ENSO y la ocurrencia de anomalías de precipitación e inundaciones no se encuentra definida para el sector donde se localiza la chiRN. Ciertos estudios establecieron que el ENSO no influye significativamente en la variabilidad del régimen de precipitaciones (Garread et al., 2009; Loikith et al., 2017). En cambio, otros relacionaron la fase cálida del fenómeno con un aumento de las precipitaciones invernales en el área de estudio (Bianchi, 2016). Respecto al régimen de caudales de ríos del norte patagónico, se ha definido que estos se correlacionaron positivamente con este modo de variabilidad de baja frecuencia (Romero et al., 2014).

En el presente capítulo fue detectado que, tanto la temperatura del aire y cómo el régimen de precipitaciones muestran cambios en su régimen cada 2 y 6 años y 2 a 5 años, respectivamente (Figuras 4.1 y 4.3). Esta variabilidad coincide con la durabilidad del ciclo del ENSO (entre 2 y 7 años). La ocurrencia de anomalías de temperatura y precipitación obtuvo una mayor correlación con la componente oceánica (ONI) del ENSO para el área de estudio (Figuras 4.5a, 4.5b, 4.6a y 4.6b). Usualmente, la asociación entre el ENSO y los cambios detectados en las variables antes mencionadas se encuentra desfasada. Finalmente, se detectó que, entre 2003 y 2018, la mayoría de los reportes de inundación sucedieron durante la fase cálida del índice (El Niño) (Tabla 4.1).

Durante el Niño, la ocurrencia de inundaciones, cuyo factor desencadenante son las precipitaciones intensas asociadas al paso de tormentas, se debe a la aparición de aguas más cálidas en el litoral argentino (Gatti, 2014). El incremento de la TSM en la

zona costera favorece el aumento de la actividad convectiva y por ende la producción de mayores lluvias en el sector continental (Gatti, 2014). Particularmente, la fase positiva del ENSO incrementa la precipitación en el sector litoral de la provincia de Río Negro durante el invierno y en el O durante la primavera (Heinzenknecht, 2011). Además, el caudal del río Negro (RN) responde a la variabilidad del régimen pluviométrico de las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén (ríos cuya confluencia forma al RN) (Romero et al., 2014). Un incremento de las lluvias en el sector litoral en conjunto a las registradas en las cuencas hidrográficas de los ríos tributarios al RN provocarían crecidas por encima de lo habitual en el área de estudio.

El Modo Anular del Sur (SAM) ejerce un control significativo sobre el clima patagónico y modula la señal del ENSO sobre la precipitación (Aravena y Luckman, 2008; Garreaud et al., 2009; Bianchi, 2016). El debilitamiento del vórtice polar antártico durante la fase negativa del SAM favorece la migración de masas de aire frío hacia el norte, mientras el fortalecimiento de dicho vórtice en la fase positiva del SAM implica el confinamiento del aire frío más al S (Loikith et al., 2017). Por ello, en Argentina la fase positiva (negativa) del SAM produce un aumento (disminución) de la temperatura del aire (Garreaud et al., 2009).

La reducción del flujo zonal en latitudes medias durante la fase positiva del SAM produce la reducción de la llegada de frentes fríos y las lluvias a estos asociadas (Garreaud et al., 2009). Mientras, la fase positiva promueve un efecto inverso. Por ello, la fase positiva (negativa) del SAM está asociada con una disminución (aumento) de la precipitación en el S de Argentina (Loikith et al., 2017).

El régimen de temperaturas y precipitaciones se correlacionan de forma positiva y negativa, respectivamente, con el SAM en el área de estudio (Garreaud et al., 2019). En cambio, los resultados de Bianchi (2016) no reportaron una relación estadísticamente significativa entre el índice y la ocurrencia de anomalías en el régimen térmico o pluviométrico. La fase positiva del SAM promueve el registro de lluvias inferiores a lo habitual en el sector patagónico de la cordillera de Los Andes, lo cual disminuye el caudal de los ríos Limay Neuquén, que tienen su nacimiento en esta región (Romero et al., 2014).

Las anomalías de temperatura del aire observadas se correlacionaron positivamente con el SAM desde los 8 meses y 2 años, además de 3 a 5 años (Figura 4.9a). Esta relación no fue observada para la precipitación (Figura 4.9b). En este caso los máximos de energía fueron encontrados entre los 8 a 16 meses desfasados de la señal del SAM. Sin embargo, sí se detectó una estrecha relación existente entre la fase negativa del índice, episodios de El Niño y la ocurrencia de inundaciones (Tabla 4.1). La fase en que se encuentre el SAM incide en los efectos que puedan tener otras

oscilaciones. Un ejemplo es que la fase negativa del SAM aumenta la probabilidad de ocurrencia de lluvias por encima de lo normal en conjunción con la fase positiva del ENSO (El Niño) (de Diego, 2018)

La variabilidad del régimen térmico y pluviométrico se correlaciona a cambios de los índices de TSM del Atlántico (TNA y TSA) (Bianchi, 2016). La fase positiva de estos índices se asocia a anomalías positivas de precipitación en el SE de Sudamérica (Leyba, 2020). La correlación es negativa entre TSA y la temperatura del aire, mientras el TNA no registra asociación con la ocurrencia de anomalías de las variables estudiadas (Flantua et al., 2016). Los resultados mostraron una asociación entre el TNA y la variaciones en la temperatura del aire (Figura 4.8a). En el caso del TSA, el índice se asoció a la ocurrencia de anomalías de precipitación (Figura 4.7b). Los eventos de inundación reportados en la chiRN se asociaron a las fases positivas de la TSM del Atlántico (Tabla 4.1).

La oscilación decadal del Pacífico (PDO) es un forzante climático de muy baja frecuencia con ciclos cada 15 - 25 años y 50 - 70 años (Rusticucci et al., 2017). La fase positiva (negativa) de PDO se relaciona a menudo con la ocurrencia de El Niño (La Niña) más intensos (Mantua et al.; 1997; Andreoli y Kayano, 2005). En el norte patagónico, el cambio de fase del índice puede traducirse en un aumento o disminución de las precipitaciones, vinculándose tradicionalmente la fase negativa del PDO al incremento del régimen de lluvias en el E de la Patagonia (DCAO, 2023). Los valores positivos del índice se asocian al incremento en la frecuencia de los días fríos y una reducción de los cálidos entre enero hasta mayo (Rusticucci et al., 2017). Sin embargo, en el caso del área de estudio no han sido encontradas correlaciones significativas entre el índice y la temperatura del aire y la precipitación (Mantua y Hare, 2002; Aravena y Luckman, 2009; Garreaud et al., 2009; Loikith et al., 2017).

Los resultados del presente capítulo mostraron la existencia de una correlación negativa entre la PDO y las anomalías de temperatura del aire en torno a las bajas frecuencias (10 años) (Figura 4.1 y 4.10a). La ocurrencia de anomalías de precipitación correlacionadas a l patrón climático fueron observadas en la escala de 8 y 16 meses (Figura 4.10b). A pesar que los cambios de ciclos dentro de la PDO suceden a nivel de décadas, es necesario remarcar que el valor y fase del índice cambia mensualmente, lo cual puede generar alteraciones en los patrones de convección y en la formación de sistemas de alta y baja presión en la atmósfera. Sin embargo, en el presente capítulo no es posible detectar la influencia del patrón climático sobre la producción de inundaciones en la chiRN debido a ser un índice de muy baja frecuencia.

#### 4.5. Conclusiones

La ocurrencia de variaciones interanuales en los regímenes térmico y pluviométrico asociadas a la variabilidad de baja frecuencia fue analizada en el presente capítulo para la chiRN. Además, se detectó la posible incentivación de la producción de inundaciones relacionadas a cambios circulatorios oceánicos y atmosféricos de estos patrones de variabilidad. Las fluctuaciones de las variables meteorológicas y ciclicidad de eventos de inundación fueron analizadas en base a cambios circulatorios relacionados al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), Modo Anular del Sur (SAM) y anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) de los océanos Atlántico y Pacífico.

El patrón de teleconexión que mostró una mayor relación con la variabilidad climática interanual de la chiRN fue el ENSO. Si bien las variables analizadas presentaron un fuerte desfase, la variación de las series de temperatura del aire y precipitación tuvo una fuerte correlación con la componente oceánica del patrón de variabilidad, estudiada a través del índice ONI. Además, fue detectada una correlación entre la ocurrencia de inundaciones y la fase cálida del índice (El Niño). El incremento del régimen de precipitaciones en el sector litoral de la provincia de Río Negro y en las cuencas hidrográficas de los ríos tributarios de este curso de agua (Limay y Neuquén), durante un evento de El Niño provocaría un aumento de los reportes de crecidas en el área de estudio.

El SAM fue correlacionado positivamente con la temperatura del aire. Además, se detectó una estrecha relación entre la fase negativa del índice y la cálida del ENSO (El Niño) como agentes promotores de la ocurrencia de inundaciones en la chiRN. El SAM incide en el efecto del ENSO, modulando el régimen de lluvias, las cuales en valores extremos provocarían severas inundaciones.

La incidencia de cambios en las TSM de los océanos Atlántico y Pacífico sobre el clima y ciclo hidrológico del área de estudio se manifestaron con un alto desfase. La variabilidad de la temperatura del aire a escala interanual se relacionó al índice TNA, mientras la precipitación se correlacionó al TSA. La ocurrencia de inundaciones fueron detectadas durante las fases positivas de ambos índices. En cambio, la PDO fue relacionada negativamente a la ocurrencia de las anomalías de temperatura del aire para períodos de 10 años. No fue hallada una relación directa entre cambios circulatorios oceánicos asociados a la PDO y la producción de inundaciones en el área de estudio.



## CAPÍTULO 5

### RÉGIMEN HIDROLÓGICO

#### 5.1. Introducción

Las bruscas variaciones de caudal del río Negro (RN) pueden generar desde una escasez de agua eventual hasta severas inundaciones (Brailovsky, 2012). La variabilidad del curso de agua en su cuenca hidrográfica inferior (chiRN) se asocia a la presencia de dos regímenes hidrológicos (UNL-DPA Río Negro, 2004): el ingreso de la onda de marea astronómica promueve la existencia de un régimen fluvio - marino desde la desembocadura hasta San Javier (kilómetro 65) (Figura 1.1b) (D'Onofrio et al., 2010), mientras aguas arriba de esta localidad, el efecto de la onda de marea desaparece y consecuentemente el régimen del río es netamente fluvial (Brieva, 2018).

La persistencia de fuertes vientos del S durante más de 9 horas, asociados al pasaje de tormentas, en conjunción con marea alta promueven la ocurrencia de crecidas del caudal del RN en su cuenca hidrográfica inferior (UNL-DPA Río Negro, 2004). Además, la geomorfología del RN (forma sinuosa de la línea de costa, islotes, bancos de arena e irregularidades del lecho del río) y el régimen de descarga del río también incentivan el aumento del nivel del agua bajo las condiciones anteriormente descritas (D'Onofrio et al., 2010). La conjunción de todos los factores antes expuestos incentiva la producción de procesos no lineales.

La interacción entre la onda de marea astronómica, la descarga y batimetría de un río, además de la fricción tangencial del viento sobre la columna de agua producen sobrelevaciones poco habituales del nivel de agua y anegamiento de zonas de pendientes del terreno reducidas debido a la ocurrencia de procesos no lineales (Friedrichs y Aubrey, 1988; Blanton et al., 2002; NOAA, 2007; Hernández-González, 2010; Hernández-González, 2011). La presencia de este tipo de fenómenos promueve la transferencia energética desde los principales armónicos de mareas (lineales) a nuevas frecuencias (armónicos de alto orden) (Aubrey y Speer, 1985; Godin, 1985; Godin, 1991; Gallo y Vinzon, 2005; Guo et al., 2015). Los armónicos de aguas poco profundas generados a partir de efectos no lineales son  $M_4$  (cuarto diurno),  $M_6$  (sexto diurno),  $M_8$  (octavo diurno) y combinaciones de  $M_2$  con otros armónicos de marea como  $N_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ , etc. (NOAA, 2007). Este tipo de constituyentes se denominan overtone de marea (del inglés overtides) (Le Provost, 1991). En el caso de  $M_2$ , su segundo armónico es  $M_4$  (primer overtone), el tercer armónico es  $M_6$  (segundo overtone) y  $M_8$  es el cuarto

armónico (el tercer overtón). Mientras los armónicos  $M_4$  y  $M_6$  son producidos por procesos no lineales de primer orden, el armónico  $M_8$  es generado por efectos no lineales sobre  $M_6$  (procesos de segundo orden).

La transferencia energética hacia armónicos de alto orden produce cambios en el ciclo mareal con modificaciones temporales en las fases de flujo y reflujo (Hernández-Gonzalez, 2010). Las interacciones no lineales, además, producen variaciones en la superficie del agua, las cuales provocan un incremento y/o disminución poco habitual de su altura (Godin, 1985; Buschman et al., 2009). Por ello, diversas investigaciones a nivel internacional manifiestan que las mayores surgencias de tormenta se producen durante marea alta y son atenuadas durante el reflujo (Dinápoli et al., 2020; Ziyu et al., 2021).

El segundo factor que promueve la ocurrencia de inundaciones en la chiRN es el solapamiento entre crecidas o liberación de grandes volúmenes de agua desde las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén (AIC, 2020). El chiRN es un curso de agua alóctono originado por la confluencia de los ríos Limay y Neuquén (Figura 1.1) (Soldano, 1947, Gianola-Otamendi, 2019). Su régimen es de carácter pluvio-nival correlacionado directamente con los regímenes de sus ríos tributarios (AIC, 2020). Por ello, en su ciclo anual presenta dos máximos de caudal (Soldano, 1947; UNL-DPA Río Negro, 2004). En base al comienzo del año hidrológico del RN (marzo) (Romero y González, 2016), durante el invierno (entre mayo y agosto), se reporta la primera crecida asociada al incremento de las precipitaciones que alimentan las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén (Romero et al., 2014). El segundo aumento de caudal tradicionalmente se registra en primavera (entre octubre y diciembre) debido a la fusión las nieves en el sector cordillerano de Los Andes (donde los ríos Limay y Neuquén tienen sus nacientes), siendo esta crecida más moderada que la anterior (Brieva, 2018).

La producción de intensas y prolongadas precipitaciones en las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén promueve la superación de la capacidad de almacenamiento de agua de ambas cuencas, lo cual conduce a la liberación de grandes caudales hacia el RN (AIC, 2020) (ver Figura 1.1a en Capítulo 1). Si bien, el caudal del RN se halla actualmente controlado debido a la construcción de diferentes represas ubicadas en los ríos Limay y Neuquén (Figura 1.1a), la producción de estas grandes erogaciones durante marea alta y en presencia de fuertes vientos del S y E dificulta el drenaje natural del río hacia el mar y provoca inundaciones en el área de estudio (La Nueva, 2006; AIC y DPA, 2020). De las localidades emplazadas en la chiRN, Viedma ha sido tradicionalmente la más afectada debido a su ubicación geográfica (Merg et al., 1998; D'Onofrio et al., 2010).

Si bien, el caudal del RN se encuentra regulado por las represas instaladas en los ríos Limay y Neuquén y diversos canales de regadío (Gianola Otamendi, 2019), el riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones no ha desaparecido. Como consecuencia de las continuas crecidas del RN en su cuenca hidrográfica inferior, el Departamento de Aguas Provinciales de Río Negro, aprobó en 2012 dos resoluciones donde se fija la línea de ribera<sup>30</sup>, línea de evacuación<sup>31</sup> y la franja de evacuación de las crecidas<sup>32</sup> (Anexo B). La Resolución N° 638 (Expediente N° 41315-IGRH-12) fijó como línea de ribera del tramo que se extiende desde la desembocadura del RN en el Océano Atlántico hasta Toma de Agua El Cóndor (TAC) (a 5.5 km de la desembocadura) a la cota IGN 4,25 m (ver Figura A.3 en Anexo A). El nivel de inicio en el tramo para la línea de evacuación de crecidas fue la cota IGN 5,25 m y el nivel final en TAC, la cota IGN 4,5 m (ver Figura B3 en Anexo B). La Resolución N° 524 (Expediente N° 41316-IGRH-12) fijó como línea de ribera, en el tramo que se extiende desde la estación TAC hasta el Puente Viejo (en la ciudad de Viedma) a la cota IGN 4,5 m (ver Figuras A.1 y A.2 en Anexo A), mientras la línea de evacuación de las crecidas queda fijada en la cota IGN 3,7 m (Ver Figuras B.1 y B.2 en Anexo B). Además, la ocurrencia de procesos no lineales incentiva la producción de aumentos de nivel del agua y asimetrías en el ciclo de la marea provocando anegamientos en zonas de pendientes reducidas durante un mayor tiempo (D'Onofrio et al., 2010).

La dinámica fluvial de los principales ríos de Argentina ha sido analizada en diferentes trabajos, destacándose la cuenca hidrográfica del río de La Plata (Simionato et al., 2004; Simionato et al., 2006; Moreira et al., 2013; Tejedor et al., 2015; Moreira y Simionato, 2019). En el caso del RN, su cuenca es la segunda en importancia a nivel nacional después del Río de la Plata (Fabregat, 2010). Además, el curso de agua forma parte del sistema hidrográfico más importante de los que se extienden íntegramente en territorio argentino (AIC, 2022). Si bien, se han realizado investigaciones referentes a la recurrencia de las crecidas del RN, los estudios realizados en su cuenca hidrográfica inferior son limitados. Por ello, el objetivo del presente capítulo es caracterizar el régimen

---

<sup>30</sup> Línea determinada en base a la altura del agua alcanzado durante crecidas medias ordinarias (nivel de las aguas cuando el caudal es de 1.900 m<sup>3</sup>/s en río Negro) por debajo de la cual no se recomienda la construcción de instalaciones fijas que impida o altere el libre escurrimiento de las aguas (Resolución N° 1403/2010).

<sup>31</sup> Línea correspondiente al nivel de las aguas cuando el caudal del río Negro es de 2.700 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (Resolución N° 1403/2010).

<sup>32</sup> Delimitada por la línea de ribera y la línea de evacuación de crecidas, estará sujeta a restricciones del uso público y cualquier construcción deberá fundarse para una cota igual o superior a la que corresponda, asociada a un riesgo de inundación con periodo de retorno de 30 años (Resolución N° 1403/2010).

hidrológico del río Negro en su cuenca hidrográfica inferior e identificar qué factores físicos causan inundaciones.

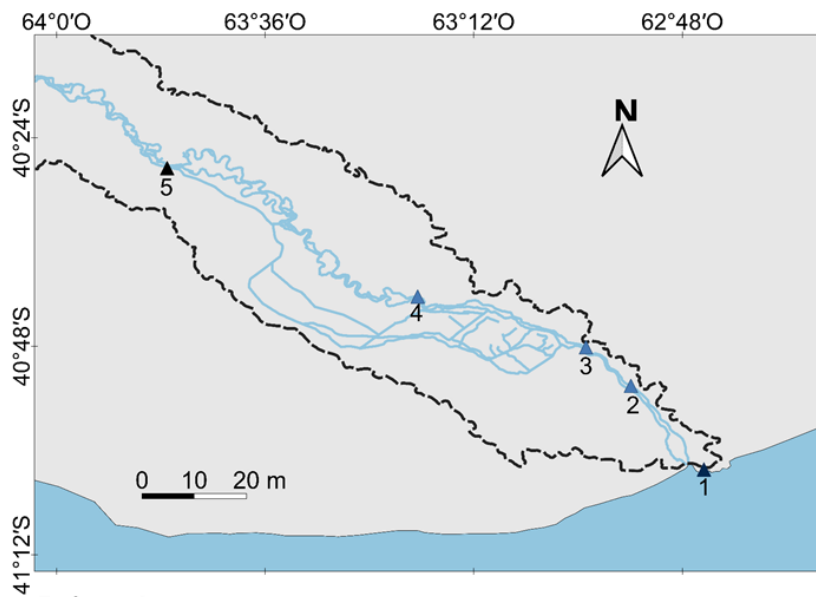
## 5.2. Método de trabajo

El estudio de la producción de inundaciones y sus factores causales en la zona de estudio se realizó a través de una revisión bibliográfica. La información se obtuvo de la base de datos DesInventar (DesInventar, 2022) y diferentes artículos de prensa. La descripción del régimen fluvio-marino de la chiRN (desde la desembocadura hasta San Javier) fue realizada sobre la base de datos de cotas<sup>33</sup> de tres limnógrafos ubicados en Toma de Agua El Cóndor (TAC) ( $40^{\circ}53'16''$  S y  $62^{\circ}36'67''$  O), Prefectura de Carmen de Patagones ( $40^{\circ}47'59''$  S y  $62^{\circ}59'23''$  O) (PCP) y San Javier (SJ) ( $40^{\circ}42'36''$  S y  $63^{\circ}18'36''$  O'), localizados a 5, 39 y 65 km de la desembocadura, respectivamente (Figura 5.1). Los registros fueron proporcionados por el Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA Río Negro, 2022). Los datos relativos al ciclo de la marea astronómica<sup>34</sup> en Punta Redonda (PR) fueron modelados por el Servicio de Hidrografía Naval (2021). El análisis fue realizado en base a la disponibilidad de datos (desde 2003 hasta 2021) con una resolución horaria, mensual y anual.

---

<sup>33</sup> Altura en metros referida al nivel del mar

<sup>34</sup> esta predicción se realiza en base al pronóstico de altura del nivel del agua en base a armónicos de marea, no considera variaciones de la columna de agua procedentes de la componente aperiódica (meteorológica) del nivel del mar



#### Referencias

Localización de limnógrafos y estaciones de medición (SNIH, 2021; SHN, 2021; DPA Río Negro, 2022)

- ▲ 1. Punta Redonda (PR)
- ▲ 2. Toma de Agua El Cóndor
- ▲ 3. Prefectura Carmen de Patagones
- ▲ 4. San Javier
- ▲ 5. Primera Angostura

- ▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Cursos y cuerpos de agua permanentes (Portal de Hidrografía y Oceanografía IGN, 2018)

Figura 5.1. Localización de limnógrafos y estaciones de medición. Elaborado sobre la base de los datos del SNIH (2021) y DPA Río Negro (2022).

Para la descripción del régimen fluvial fueron analizados datos de caudal y altura de la estación Primera Angostura (PA) (Estación 1809) ( $40^{\circ}27'18''$  S y  $63^{\circ}47'19''$  O), ubicada a 145 km de la desembocadura del RN en el océano Atlántico (Figura 5.1). Estos datos fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH, 2021) (<https://snih.hidricosargentina.gob.ar>). La resolución temporal de los datos disponibles publicados por el SNIH, 2021 fue mensual y el período de estudio abarcó desde enero/1930 hasta diciembre/2021 (92 años).

El supuesto de homogeneidad (prueba de Levene) fue estudiado para las muestras mensuales y anuales de los datos de cotas y caudales (Q) mediante la prueba de Levene al 95 % de confianza ( $\alpha=0,05$ ). Esta prueba permite conocer si se deben suponer varianzas iguales para toda la serie de tiempo, o si, por el contrario se debe dividir el análisis en diferentes muestras (Levene, 1960). Tras dividirse las series de tiempo acorde a la homogeneidad de sus datos, se calcularon sus promedios anuales y estacionales, además de los valores máximos, mínimos y la desviación estándar. La tendencia fue calculada al 95 % de confianza con la prueba de Mann-Kendall, mientras la categorización de los resultados obtenidos fue realizada sobre la base de criterios publicados por Alves et al. (2015) y Silva Alves y Silva Nóbrega (2017) (Tabla 2.1).

La descripción de la influencia de las mareas astronómicas en el régimen del río desde la desembocadura del río hasta San Javier fue realizada a través del análisis de armónicos (HA). Para ello fueron calculadas la amplitud y fase de cada constituyente. Los tiempos que demoran las ondas producidas por los armónicos diurnos y semidiurnos en llegar hasta San Javier fueron estimados de acuerdo a la metodología de Zhongxiang (2017) (Ecuación 5.1):

$$\Delta t = \frac{T}{2\pi} [\phi(\text{punto}_2) - \phi(\text{punto}_1)] \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

donde T es el período de marea y  $\phi$  la fase.

La identificación de las diferentes frecuencias que componen la señal de la serie de cotas fue realizada con la TRF. El espectro de potencia de la secuencia de autocorrelación (el teorema de Wiener-Khintchine) fue definido por (Ecuación 5.2) (Swami et al., 2001):

$$F(f) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xxx} e^{-if\tau} d\tau \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

donde  $R_{xxx}$  es la función o secuencia de autocorrelación de un proceso estacionario  $x(n)$  y  $f$  es la frecuencia.

La presencia de procesos no lineales fue estudiada a través del cálculo de espectros de tercer orden (biespectro), pues los resultados obtenidos con la TRF no detectan las interacciones entre constituyentes armónicos (Hasselmann et al., 1963). La interacción entre frecuencias del tipo  $f_a + f_b = f_{a+b}$  (interacción entre dos frecuencias y una tercera) fue analizada a través del cálculo del biespectro. Si una función es aleatoria y estacionaria en el tiempo  $\phi(t)$ , el biespectro se calcula a través de la Transformada de Fourier de tercer orden (Ecuación 5.3) (Swami et al., 2001):

$$F_{xxx}(f_a, f_b) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xxx}(\tau_1, \tau_2) e^{-i(f_1\tau_1 + f_2\tau_2)} d\tau_1 d\tau_2 \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

donde  $f_1$  y  $f_2$  son las frecuencias que interactúan.

Según Kim y Powers (1979), la representación abreviada del biespectro es (Ecuación 5.4):

$$F_{xxx}(f_a, f_b) = A_{f_a} A_{f_b} A_{f_{a+b}}^* \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

donde  $A_{f_a}$  y  $A_{f_b}$  son coeficientes complejos de Fourier de las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , y  $A_{f_{a+b}}^*$  es la conjugada compleja de Fourier. La forma normalizada del biespectro es la bicoherencia (Ecuación 5.5) (Swami et al., 2001):

$$b_{xxx}^2(f_a, f_b) = \frac{|F(f_a, f_b)|^2}{E[|A_{f_a} A_{f_b}|]^2 E[|A_{f_{a+b}}^*|^2]} \quad (\text{Ecuación 5.5})$$

El biespectro y la bicoherencia son herramientas centrales para investigar la coherencia de fase entre componentes de Fourier dados por  $f_a$ ,  $f_b$  y  $f_{a+b}$  (Swami et al., 2001). El grado de acoplamiento de las ondas es explicado por la bicoherencia.

Finalmente, para el estudio de crecidas del RN incentivadas por interacciones no lineales fueron detectados los días en los cuales las cotas máximas rebasaron las líneas de ribera y de evacuación de crecidas (ver Anexo B). Este análisis fue realizado sobre la base de los criterios planteados por las resoluciones con número de expediente 41316-IGRH-12 y 41315-IGRH-12 del DPA de Río Negro (ver Figuras B.1 y B.3). El procesamiento fue realizado en TAC y PCP, que forman parte del tramo influenciado por la onda de marea astronómica (desembocadura-San Javier). La cota límite tomada en TAC correspondió a 4,5 m, mientras en PCP fue de 3,5 m (ver Figuras B.1, B.2 y B.3 en Anexo B).

El estudio del régimen fluvial (San Javier – Segunda Angostura) fue realizado sobre la base de base a datos de caudal de la estación de Primera Angostura (PA) (SNIH, 2021). La TRF fue empleada para estudiar las variaciones temporales de caudal registradas. Luego, la función de Gumbel fue calculada para modelar los valores extremos y sus períodos de retorno de los datos de caudal (Q) (Gumbel, 1941). Para el estudio de los aumentos de volumen de agua procedente de aguas arriba de la cuenca hidrográfica inferior fueron detectados casos donde el caudal en PA superó los  $2700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Posteriormente, se identificaron las épocas del año durante las cuales estos casos fueron más frecuentes.

Como resultado del análisis anterior fueron elegidos dos casos de inundaciones bien documentadas por reportes de prensa para detectar la contribución energética de procesos no lineales a la señal del nivel del agua y su interacción con el régimen de descarga del RN. El primer reporte correspondió al 23 de julio de 2009 (Río Negro, 2009), mientras el segundo fue del 3 al 4 de septiembre de 2019 (Noticias Río Negro, 2019). Para el estudio de los casos, las cotas de los limnógrafos fueron comparadas con los registros del pronóstico mareográfico de Punta Redonda (SHN, 2021).

### **5.3. Resultados**

#### **5.3.1. Reportes de inundaciones**

Entre 1899 y 2021 se han registrado un total de 32 reportes de inundaciones, según se detalla en la Tabla 5.1. Los informes señalan que la producción de lluvias intensas y fuertes vientos fueron los factores desencadenantes del 50% de los casos. Por otro lado, las erogaciones de agua procedentes de las represas ubicadas en los ríos

Limay y Neuquén (ver Figura 1.1a del Capítulo 1) promovieron el 25% de las inundaciones. Por último, el 25% restante fue registrado debido a la interacción entre los aumentos de caudal procedentes de aguas arriba de la chiRN y el paso de eventos meteorológicos extremos, como las sudestadas.

<b>Fecha de ocurrencia</b>	<b>Origen del evento</b>	<b>Localidades afectadas</b>	<b>Fuente bibliográfica</b>
1829	Fuertes vientos e intensas precipitaciones	Viedma	Rey et al., (1981)
1870		Viedma	Rey et al., (1981)
19 - 22 / 07 / 1899	Aumento de caudal aguas arriba ( $9.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). (Inundación más grave registrada).	San Javier, Guardia Mitre, Zanjón de Oyuela y Viedma.	Brailovsky (2012) Livigni (2022)
1904		Viedma	Brailovsky (2012)
1914		Viedma y San Javier	Brailovsky (2012)
1922		Viedma	Brailovsky (2012)
1930	Aumento de caudal aguas arriba	Viedma	Brailovsky (2012) Rey et al., (1981)
1932		Viedma	Brailovsky (2012)
1937		Viedma	Brailovsky (2012)
1940		Viedma	Brailovsky (2012)
1945	Caudales de $6.500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .	Viedma	Brailovsky (2012)
1949		Viedma	Brailovsky (2012)
1951		Viedma	Brailovsky (2012)
1958		Viedma y Guardia Mitre	Brailovsky (2012) Río Negro (2001)
1974		Viedma	Brailovsky, 2012
2 / 02 / 1976	Fuertes lluvias.	Viedma	DesInventar (2021)
27 / 09 / 1976	Lluvias intensas (30 mm en 24 horas) y vientos.	Viedma	DesInventar (2021)
8 / 10 / 1977	Fuertes lluvias.	Viedma	DesInventar (2021)
03 / 1992	Inundación más grave desde desde que el RN se encuentra regulado.	Viedma	Petri (1992) D'Onofrio et al. (2010)
6 / 08 / 2001	Gran caudal del RN y casi 50 milímetros de lluvia registrados	Guardia Mitre	Río Negro (2001)
20 / 02 / 2003	Marea extraordinaria asociadas a vientos permanentes del S.	Viedma	Diario Río Negro (2003)
10 / 07 / 2003	Fuertes vientos del SE	Viedma	Río Negro Online (2003)



29 / 07 / 2006	Liberación de caudal procedente de represas ubicadas en los ríos Limay y Neuquén en conjunción con fuertes vientos del S (60 km/h) y marea alta.	Viedma	La Nueva (2006)
22 / 07 / 2009	Fuertes vientos del S	Viedma y Carmen de Patagones	Diario la Palabra (2009)
22 / 02 / 2010	Lluvias intensas	Carmen de Patagones	DesInventar (2021)
4 / 01 / 2014	Conjunción de marea extraordinaria y viento del SE.	Viedma	Diario Río Negro (2014)
21 / 06 / 2018	Liberación de 600 m <sup>3</sup> de agua de represas de los ríos Limay y Neuquén.	Viedma y Carmen de Patagones	Diario Río Negro (2018a)
24 / 06 / 2018	Fuertes vientos (Sudestada).	Viedma	Diario Río Negro (2018b)
23 / 02 / 2019	Aumento de caudal en conjunción con marea extraordinaria y fuertes vientos del S	Hasta San Javier	ADN (2019) Diario Río Negro (2019)
3 - 4 / 09 / 2019	Fuertes vientos (Sudestada).	Viedma	Noticias Río Negro (2019)
4 / 07 / 2020	Liberación de caudal aguas arriba en interacción con marea alta.	Viedma	Red de Alerta de sudestadas (2020)
26 - 27 / 05 / de 2021	Aumento de caudales en conjunción con marea alta y vientos del S.	Viedma y Carmen de Patagones	Diario Río Negro (2021)

Tabla 5.1. Reportes de inundaciones y anegamientos del terreno acontecidos en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (período 1829 – 2021).

A lo largo de la historia, la ciudad de Viedma ha sido afectada en múltiples ocasiones por inundaciones, tal y como se puede observar en la Tabla 5.1. De hecho, el 86% de los informes de inundaciones registrados ocurrieron en esta ciudad. En particular, la costanera Carmen de Patagones se vio afectada con frecuencia, ya que se registró el 17,2% de los informes de inundaciones.

### 5.3.2. Descripción del régimen fluvio-marino (Desembocadura del río Negro - San Javier)

La prueba de hipótesis nula de la prueba de Levene (1960) fue rechazada para las series anuales de las cotas de los limnógrafos TAC, PCP y SJ. La probabilidad

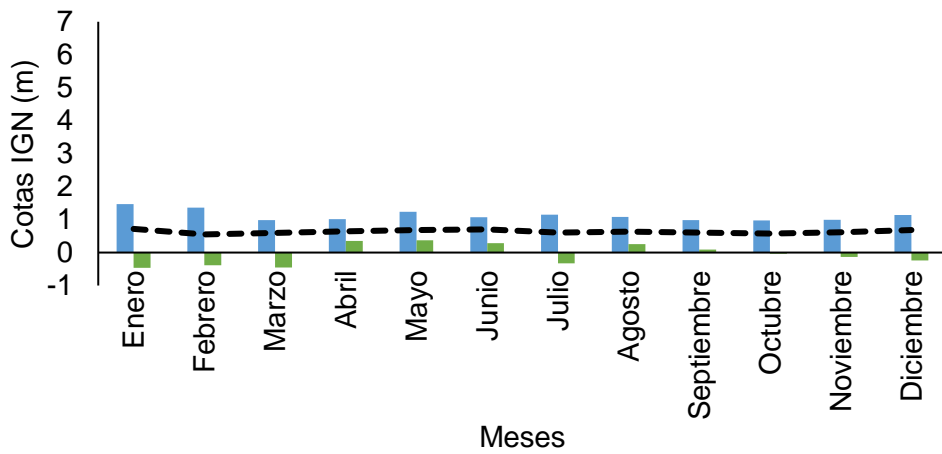
asociada al estadístico F fue 0,00, en todos los casos. En este caso, las muestras no son homogéneas debido a una alta variabilidad en sus ciclos anuales.

<b>Estación/Mes</b>	<b>P-valor (TAC)</b>	<b>P-valor (PCP)</b>	<b>P-valor (SJ)</b>
Ene	0.8	0.54	0.67
Feb	0.63	0.2	0.7
Mar	0.46	0.14	0.73
Abr	0.59	0.48	0.76
May	0.82	0.28	0.79
Jun	0.5	0.3	0.82
Jul	0.22	0.3	0.85
Ago	0.39	0.29	0.88
Sep	0.56	0.182	0.91
Oct	0.73	0.47	0.94
Nov	0.9	0.36	0.97
Dic	0.77	0.58	0.94

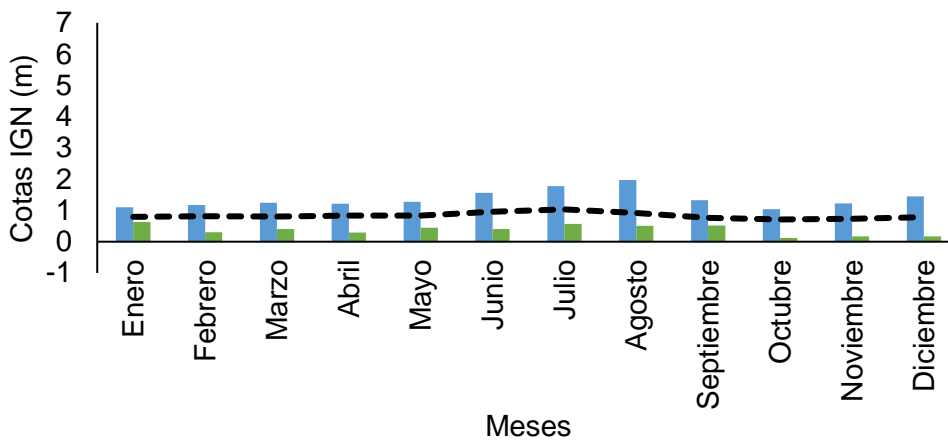
Tabla 5.2. Análisis de homogeneidad a través de la prueba de Levene para las series de cotas mensuales de los limnógrafos TAC, PCP y SJ (período 2003 – 2021). Elaborado sobre la base de datos del DPA de Río Negro (2022).

Debido al rechazo de la hipótesis nula de la prueba de Levene para los ciclos anuales, se realizó la prueba de Levene con una resolución mensual. En este caso, el P-valor de los datos de todos los limnógrafos resultante de la prueba de Levene al 95 % de nivel de confianza fue superior al nivel de significación ( $\alpha=0,05$ ) (Tabla 5.2). Por ello, se acepta la hipótesis nula, la cual establece la falta de evidencia para decir que la variación de los valores de las cotas de TAC, PCP y SJ fueron estadísticamente diferentes a nivel mensual.

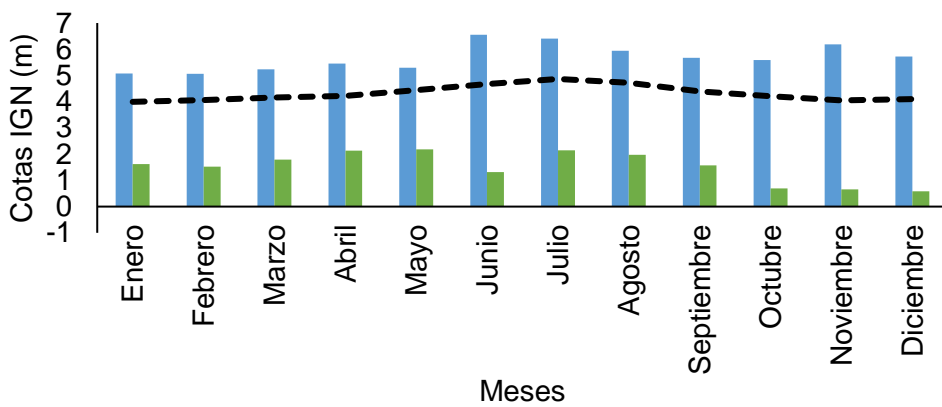
Tras la aceptación del supuesto de homocedasticidad, el análisis estadístico mostró que los datos relativos a las cotas no tuvieron una estacionalidad marcada (Figura 5.2a, b y c). Los máximos valores fueron obtenidos durante la temporada estival e invernal para TAC (Figura 5.2a). En cambio, las máximas sobreelevaciones sucedieron durante el invierno en PCP y SJ (Figuras 5.2b y c). La tendencia calculada a través de la prueba de Mann-Kendall fue significativamente decreciente para TAC, PCP y SJ (Tabla 5.3).



a)



b)



c)

■ Máximo ■ Mínimo - - - Promedio

Figura 5.2. Descripción estadística de las series mensuales de los limnigrafos (período 2003 – 2021): a) TAC, b) PCP, c) SJ. Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

Limnógrafo	Tendencia (Prueba de Mann-Kendall)
TAC	-2,88
PCP	-2,89
SJ	-4,09

Tabla 5.3. Tendencia detectada por la prueba de Mann-Kendall en las series de cotas en los limnógrafos TAC, PCP y SJ (período 2003 – 2021). Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

El análisis armónico demostró que la amplitud de los constituyentes de marea disminuyeron desde la TAC hasta SJ (Tabla 5.4). La máxima amplitud de los armónicos de marea fue detectada para el semidiurno. Las ondas semidiurnas recorrieron la distancia existente entre la desembocadura del RN y San Javier (65 km) en 1 hora, mientras que las diurnas realizaron el mismo recorrido en 2 horas y 4 minutos. El análisis de fases demostró que la propagación de la onda de marea fue aguas arriba.

Limnógrafos	TAC		PCP		SJ	
	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)
$K_1$	$15.2 \pm 0.2$	$43 \pm 0$	$12.6 \pm 0.2$	$3 \pm 0$	$0.2 \pm 0.0$	$60 \pm 0$
$O_1$	$7.5 \pm 0.1$	$254 \pm 0$	$6.1 \pm 0.1$	$29 \pm 0$	$0.1 \pm 0.0$	$345 \pm 0$
$P_1$	$4.7 \pm 0.1$	$353 \pm 0$	$3.4 \pm 0.1$	$31 \pm 0$	$0.1 \pm 0.0$	$51 \pm 0$
$M_2$	$133 \pm 0.1$	$97 \pm 0$	$119.5 \pm 0.1$	$157 \pm 0$	$0.9 \pm 0.0$	$64 \pm 0$
$N_2$	$27.7 \pm 0.1$	$203 \pm 0$	$23.6 \pm 0.1$	$235 \pm 0$	$0.3 \pm 0.0$	$294 \pm 0$
$S_2$	$19.3 \pm 0.1$	$95.7 \pm 0$	$16.8 \pm 0.1$	$126 \pm 0$	$0.3 \pm 0.0$	$192 \pm 0$
$L_2$	$14.1 \pm 0.1$	$342 \pm 0$	$12.9 \pm 0.1$	$14 \pm 0$	$0.1 \pm 0.0$	$265 \pm 0$
$MK_3$	$38.9 \pm 0.1$	$247 \pm 0$	$4.94 \pm 0.1$	$281 \pm 0$	$0.1 \pm 0.0$	$110 \pm 1$
$M_4$	$15.6 \pm 0.2$	$236 \pm 1$	$24.4 \pm 0.2$	$286 \pm 1$	$0.3 \pm 0.0$	$98 \pm 1$
$MN_4$	$7.1 \pm 0.1$	$110 \pm 1$	$9.9 \pm 0.1$	$162 \pm 1$	$0.2 \pm 0.0$	$321 \pm 2$
$MS_4$	$6.8 \pm 0.1$	$16 \pm 1$	$8.8 \pm 0.1$	$60 \pm 1$	$0.2 \pm 0.0$	$218 \pm 2$
$M_6$	$2 \pm 0.0$	$62 \pm 3$	$3 \pm 0.0$	$173 \pm 2$	$0.1 \pm 0.0$	$109 \pm 2$
$2MN_6$	$1.6 \pm 0.0$	$302 \pm 2$	$2.3 \pm 0.0$	$56 \pm 2$	$0.1 \pm 0.0$	$337 \pm 3$
$2MS_6$	$1.7 \pm 0.0$	$204 \pm 3$	$2 \pm 0.0$	$315 \pm 3$	$0.1 \pm 0.0$	$228 \pm 3$
$M_8$	$0.6 \pm 0.0$	$329 \pm 4$	$1.4 \pm 0.0$	$19 \pm 4$	$0 \pm 0.0$	$126 \pm 5$

Tabla 5.4. Amplitud y fase de los armónicos de las series de los limnógrafos TAC, PCP y SJ (período 2003 – 2021). Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

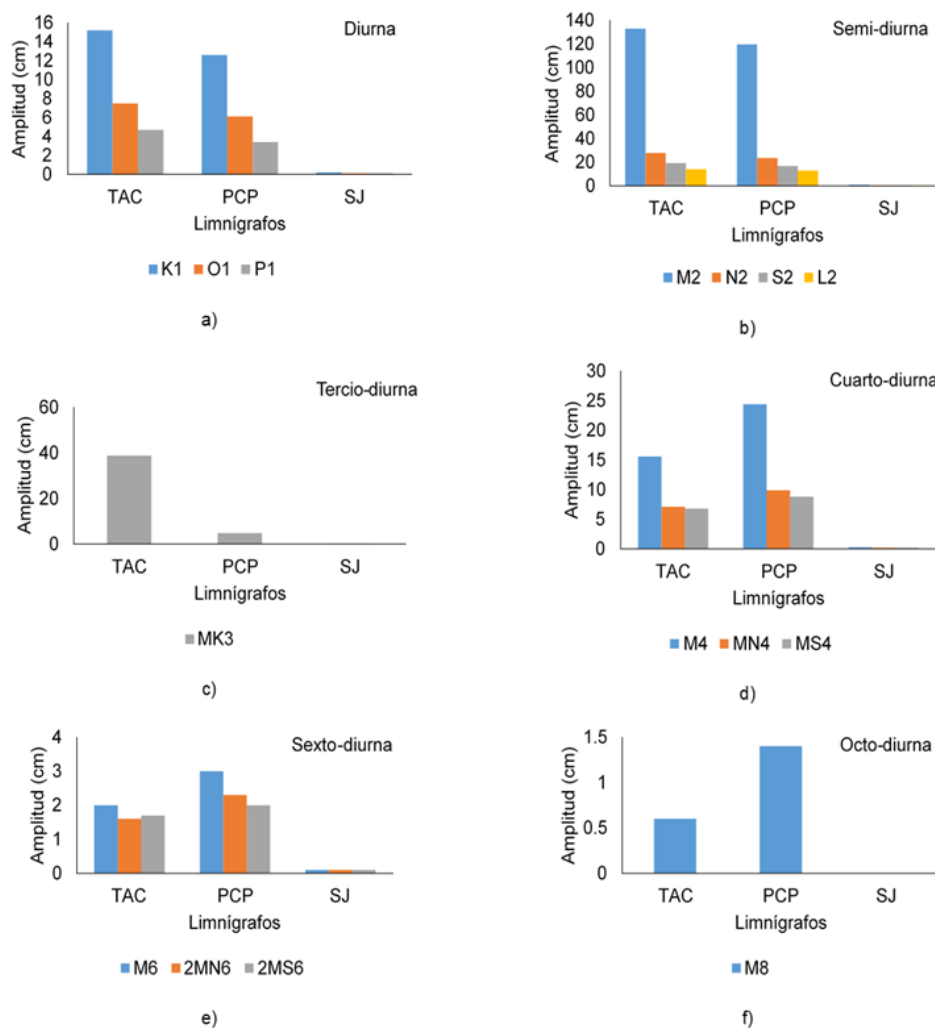


Figura 5.3. Comparación entre las amplitudes de los armónicos para TAC, PCP y SJ (período 2003-2021): a) diurnos, b) semidiurnos, c) tercio – diurnos, d) cuarto – diurnos, e) sexto – diurnos, d) octo – diurnos. Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

La amplitud máxima de los constituyentes diurnos, semidiurnos y tercidiurnos fue detectada en TAC (Tabla 5.3, Figura 5.3a y 5.3b). La presencia de armónicos de aguas poco profundas ( $M_4$ ,  $MK_3$ ,  $MN_4$ ,  $MS_4$ ,  $M_6$ ,  $2MN_6$ ,  $2MS_6$  y  $M_8$ ) demostró la presencia de procesos no lineales en las series de tiempo (Tabla 5.4). La mayor amplitud de las sobremareas (overtones) se produjo en PCP (Figura 5.3d, 5.3e y 5.3f).

Los resultados de la TRF (Figura 5.4) demostraron la gran influencia que ejerce la marea sobre el régimen de RN en el sector comprendido entre la desembocadura y San Javier (ver Figura 1.1b en Capítulo 1). Particularmente, fue observado un máximo de energía en torno a la frecuencia semidiurna, cuya energía fue mayor en TAC y PCP que en SJ. Si bien los espectros de las cotas en TAC y PCP fueron similares, la energía asociada a los armónicos de alto orden ( $M_4$ ,  $M_6$  y  $M_8$ ) fue mayor en PCP.

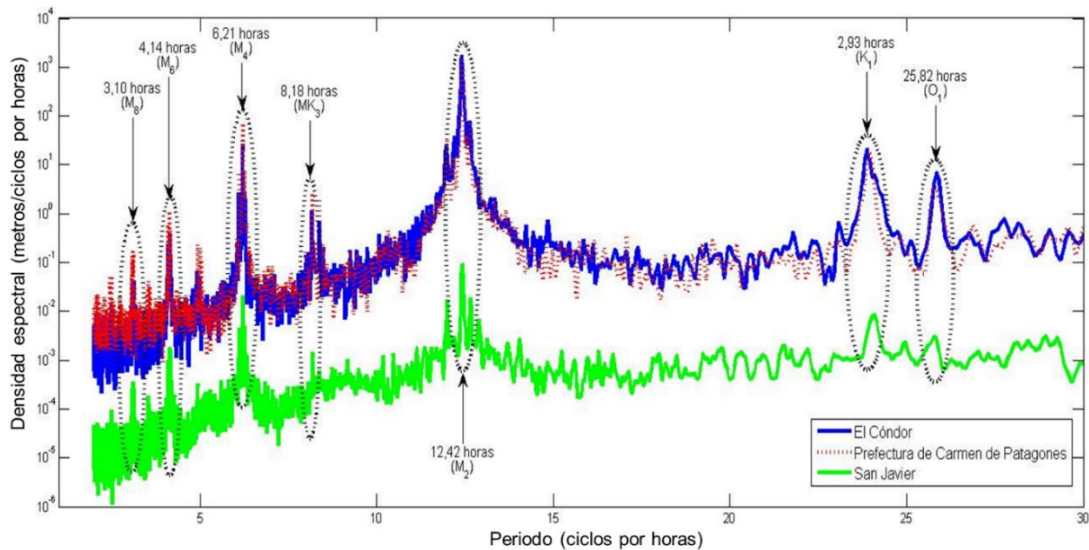


Figura 5.4. Transformada Rápida de Fourier de series de cotas de agua para TAC, PCP y SJ (período 2003 – 2021). Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

La TRF también mostró la contribución energética de los armónicos de alto orden de  $M_2$  a la señal de las series de cotas (Figura 5.4). La influencia de los constituyentes de aguas someras  $M_4$ ,  $M_6$ ,  $M_8$  y  $MK_3$  fue más significativa en PCP que en TAC o SJ. Estos resultados indicaron que, en PCP, procesos no lineales produjeron sobrelevaciones del nivel del agua por encima de lo habitual.

Los análisis biespectral y de bicoherencia identificaron las contribuciones a la asimetría de la señal en función de tripletes de frecuencia. Los biespectros calculados para las cotas de TAC y PCP indicaron que la interacción entre tripletes de frecuencia poseen una relación no lineal cuártica (Fig. 5.5a y 5.5b). Esto significa que la interacción entre frecuencias es constante y no depende de la fase, lo cual implica que la energía se transfiere entre las dos frecuencias en una manera altamente eficiente. La mayor significación estadística se ubicó en torno al máximo de 12,42 horas (constituyente semidiurno).

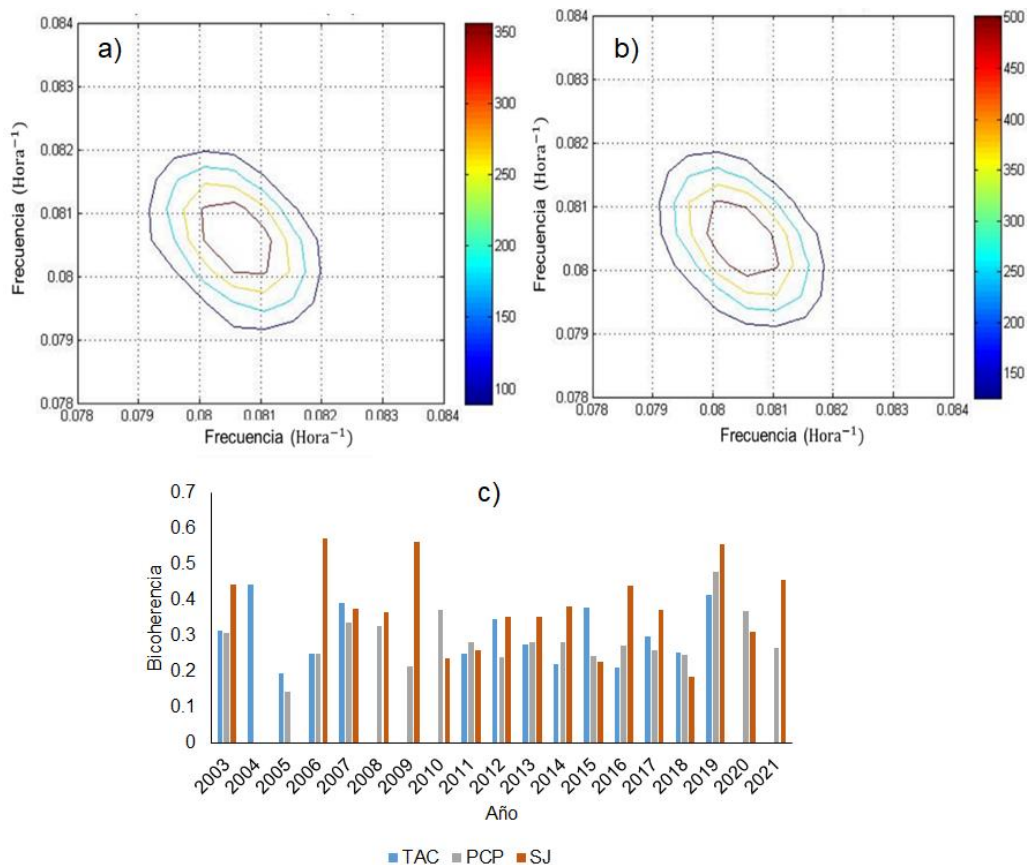


Figura 5.5. Biespectro y bicoherencia en las series de cotas de los limnógrafos (período 2003 – 2021): a) biespectro de la serie cotas de TAC, b) biespectro de la serie de cotas de PCP, c) bicoherencia las serie de cotas del limnógrafo SJ. Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

El análisis biespectral no detectó células energéticas producidas por interacción entre frecuencias en SJ, sin embargo fueron hallados altos valores de bicoherencia lo cual indica que hay una fuerte relación entre las dos señales y que la relación es lineal (Figura 5.5c). La no detección de células de energía asociadas a frecuencias interactuantes, en conjunto con los valores de amplitud de los constituyentes de marea (Tabla 5.4) demostró que la influencia de la marea astronómica sobre el caudal del río fue insignificante en SJ. Estos resultados indicaron el acoplamiento de la onda de marea astronómica con el régimen de descarga del río en SJ.

### 5.3.3. Caracterización del régimen fluvial (San Javier – Segunda Angostura)

Los resultados de la prueba de homogeneidad de Levene (1960) para la serie de caudal (Q) de la estación aforo de Primera Angostura mostraron que la probabilidad asociada al estadístico F fue 0,00. Debido a que el F es menor al nivel de significancia ( $\alpha= 0.05$ ), la hipótesis nula se rechaza. Esto significa que la serie no fue

estadísticamente homogénea y por ello la serie de datos de Q fue dividida en tres muestras acorde a los valores de varianza hallados (Tabla 5.5), quedando identificados los períodos: 1930-1969, 1970-2009 y 2010-2021.

<b>Años</b>	<b>Cantidad de datos disponibles</b>	<b>Varianza</b>
1930-1939	985	505714,517
1940-1949	715	546404,689
1950-1959	460	441378,803
1960-1969	710	358801,067
1970-1979	695	116030,489
1980-1989	237	256502,202
1990-1999	122	124197,958
2000-2009	119	235979,387
2010-2019	101	41595,4654
2020-2021	16	37714,2228

Tabla 5.5. Prueba de homogeneidad a la serie de datos de la estación de Primera Angostura (período 1930 – 2021). Elaborado sobre la base de datos del SNIH (2021).

El Q medio anual del RN en Primera Angostura entre 1930-1969 fue 1031,1  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  (Tabla 5.6). Este valor disminuyó en los períodos 1970-2009 y 2010-2021, con 775,6 y 510,1  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , respectivamente. La disminución registrada en la media también se encontró en los valores máximos. La desviación estándar también disminuyó asociada a un decrecimiento de los valores extremos (máximos y mínimos). En general, entre 1930 hasta 2021, el máximo registrado fue 3861,5  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  y el mínimo fue de 93.4  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , lo cual denota una gran variabilidad del caudal para el período antes mencionado.

<b>Período</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación estándar</b>
1930-1969	1031.1	3861.5	93.4	687.8
1970-2009	775.6	2427.3	145.3	411.4
2010-2021	510.1	1338.6	309.8	201.9

Tabla 5.6. Descripción de los parámetros estadísticos básicos del caudal del río Negro para la Estación Primera Angostura (período 1930 – 2021). Elaborado sobre la base de datos del SNIH (2021).

Las crecidas del RN asociadas a altos caudales tuvieron un comportamiento dinámico desde 1930 hasta 2021 (Figura 5.6). Para el período 1930-1969, se observó la ocurrencia de los máximos caudales durante el cuarto trimestre (octubre-noviembre-diciembre) y otro de menor valor en el tercero (julio-agosto-septiembre). Luego, para



1970-2009 los valores decrecieron respecto al anterior período y el mayor caudal fue reportado en el tercer trimestre. Finalmente, los valores descendieron entre 2009 y 2021, siendo los máximos reportados entre el segundo (abril-mayo-junio) y tercer trimestre.

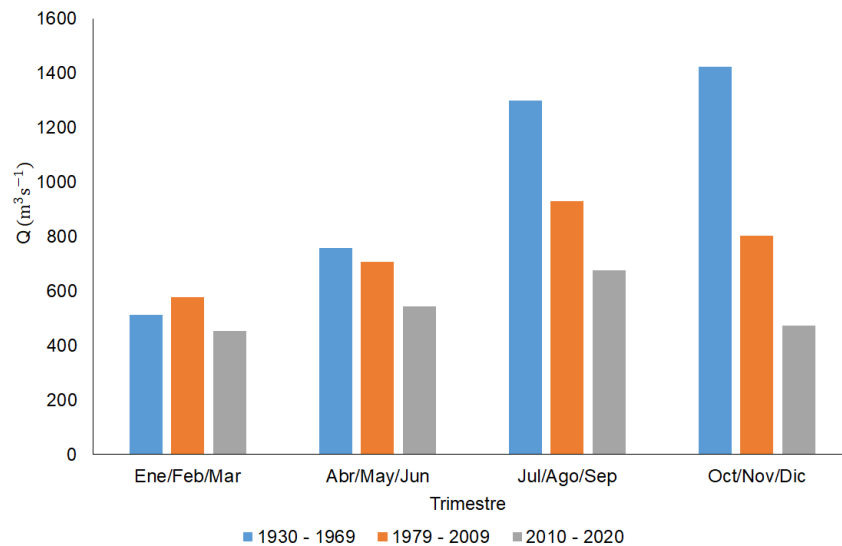


Figura 5.6. Caudales mensuales del río Negro de la Estación Primera Angostura (período 1930 – 2021). Elaborado sobre la base de datos del SNIH (2021).

La TRF del caudal mostró la existencia de máximos espectrales sobre un fondo de ruido aleatorio (Figura 5.7). Los principales máximos de energía corresponden al ciclo anual y semestral. Además, fueron reportados pulsos de energía entre los 2 y 4 años, los cuales pertenecen a la escala interanual.

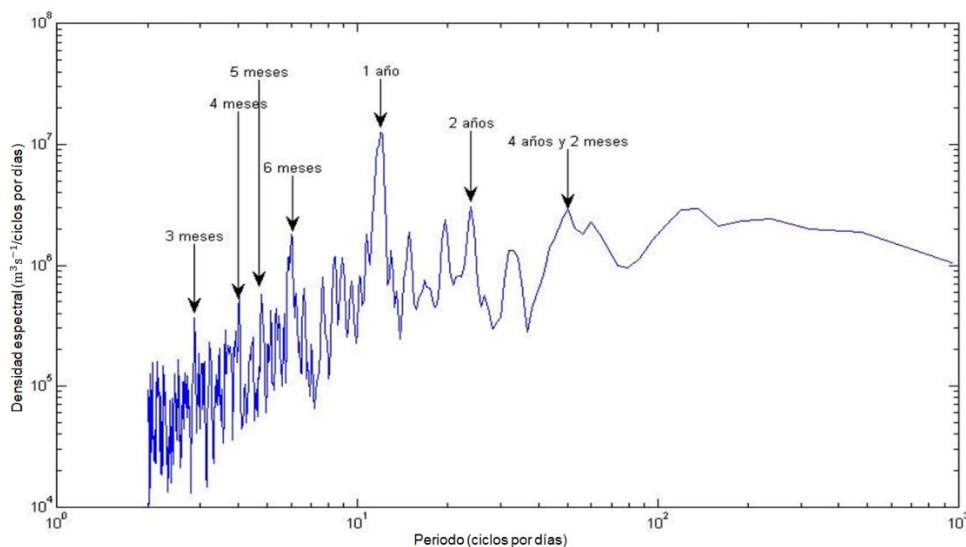


Figura 5.7. Transformada Rápida de Fourier del caudal del río Negro de la Estación Primera Angostura (período 1930 - 2021). Elaborado sobre la base de datos del SNIH (2021).

Década	Z	
1930 - 1939	-1,1	Decrecimiento poco significativo
1940 - 1949	-4,0	Decrecimiento significativo
1950 - 1959	-3,0	Decrecimiento significativo
1960 - 1969	2,5	Aumento significativo
1970 - 1979	5,0	Aumento significativo
1980 - 1989	-7,0	Decrecimiento significativo
1990 - 1999	0,2	Aumento no significativo
2000 - 2009	-0,5	Decrecimiento no significativo
2010 - 2021	-0,4	Decrecimiento no significativo

Tabla 5.7. Tendencia detectada por la prueba de Mann-Kendall de la Estación Primera Angostura entre (período 1930 - 2021). Elaborado sobre la base de datos del SNIH (2021).

La prueba de Mann-Kendall mostró que no existe una clara tendencia para los valores de Q del RN (Tabla 5.7). Durante las décadas de 1940, 1950 y 1980 la tendencia fue negativa significativa mientras que, en las décadas de 1960 y 1970 se registraron incrementos significativos. Finalmente desde 1990 hasta 2021, la tendencia fue estadísticamente no significativa.

El análisis de valores extremos demostró que, cada 100 años, existe probabilidad de ocurrencia de una gran crecida asociada a caudales superiores a  $4000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (Tabla 5.8). En cambio, cada 10 años es factible la producción de  $Q > 2800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Finalmente, cada 5 años, es probable que los valores de Q superen los  $2415 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Pr (años)	Caudal ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
2	1788.3
5	2415.2
10	2830.2
15	3064.4
20	3228.4
25	3354.7
30	3457.4
50	3743.7
100	4129.9

Tabla 5.8. Valores extremos de caudal y sus períodos de retorno a través del cálculo de la función de distribución de Gumbel con datos de la Estación Primera Angostura (período 1930 – 2021) Elaborado sobre la base de datos del SNIH (2021).

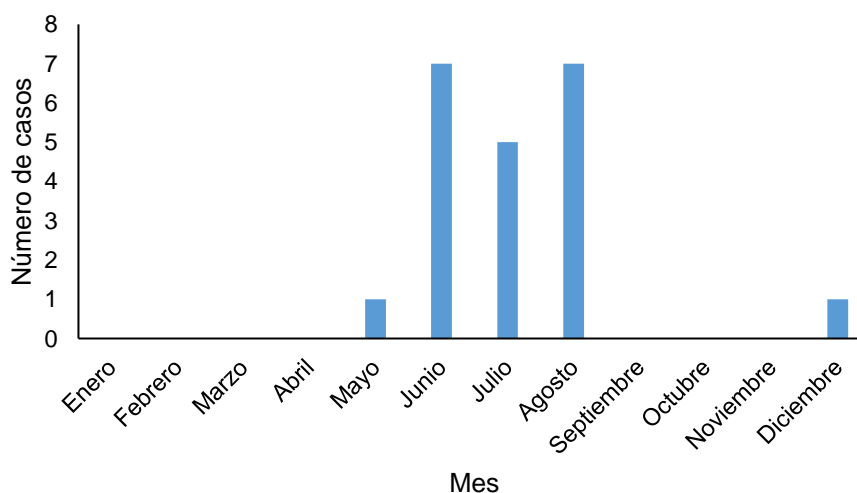


Figura 5.8. Registro mensual de  $Q > 2700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  con datos de la Estación Primera Angostura (período 1930 – 2021). Elaboración sobre la base de datos del SNIH (2021).

Acorde a lo expuesto por el informe de UNL – DPA Río Negro (2004), en la chiRN pueden acontecer inundaciones cuando el caudal registrado en la estación de Primera Angostura supera los  $2700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (UNL-DPA Río Negro, 2004). En total, desde 1930 hasta 2021, fueron detectados 21 casos en los que el Q superó ese valor. El mayor número de eventos registrados correspondió a los meses de mayo (1 caso), junio (7 casos), julio (5 casos), agosto (7 casos) y diciembre (1 caso) (Figura 5.8).

#### 5.3.4. Casos de estudio

Para la selección de los casos de estudio fueron analizadas las series de cotas de TAC y PCP para el período 2003 - 2021. El estudio mostró que en 4 ocasiones el nivel del agua superó la línea de ribera establecida por el DPA de Río Negro (3,7 m) (ver Figura B.2 en Anexo B) en PCP, mientras en TAC no fueron detectadas este tipo de situaciones. Los registros de sobreelevaciones fueron observados el 20 de febrero de 2003 con un valor máximo de 3,8 m a las 3:30 hs. El segundo caso aconteció el 30 de abril de 2006 con 3,9 m a las 2 hs. Los casos más recientes fueron registrados el 23 de julio de 2009 y el 3 de septiembre de 2019 con 4,1 y 4 m, respectivamente. Particularmente, estos dos últimos casos fueron seleccionados para analizar cómo la producción de interacciones no lineales incentivan la ocurrencia de inundaciones.

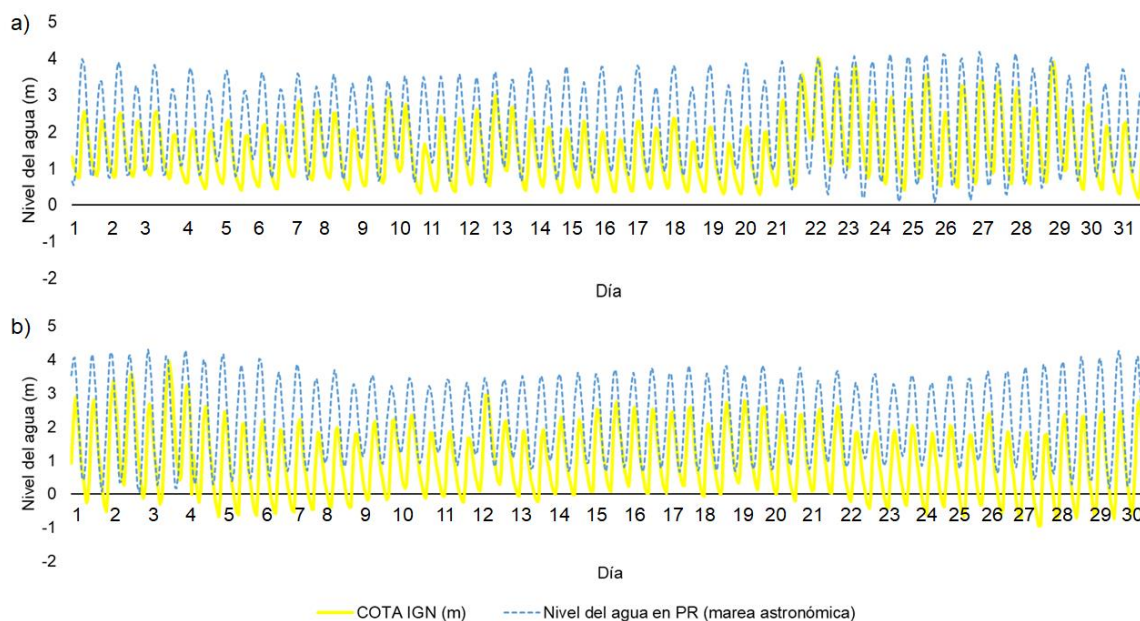


Figura 5.9. Comparación entre series de datos del limnógrafo PCP y pronóstico mareográfico de Punta Redonda: a) julio/2009, b) septiembre/2019. Elaborado sobre la base de datos del DPA Río Negro (2022) y SHN (2021).

Del análisis del ciclo de marea y régimen del RN durante el mes de julio de 2009 (Figura 5.9a), se observó que el nivel del agua registrado por el limnógrafo PCP es menor a la amplitud de la onda de marea modelado por el pronóstico mareográfico de Punta Redonda de PR. Además, se visualizó que tanto la onda de marea como el régimen del río están en fase en PCP. Sin embargo, entre los días 22 y 23 de julio de 2009 una sudestada con vientos de 130 km/h provocó el aumento del nivel del agua del RN con la consecuente ocurrencia de una severa inundación que afectó a la costanera de Viedma (Rio Negro, 2009). Esta sobrelevación fue registrada en el limnógrafo PCP (Figura 5.9). Se produjeron asimetrías en el ciclo de marea debido al adelantamiento de la fase de marea alta y un retraso durante el reflujó. También fue evidente durante los días 22 y 23 de julio la producción de una superposición entre la serie de cotas y de marea durante su fase de reflujó.

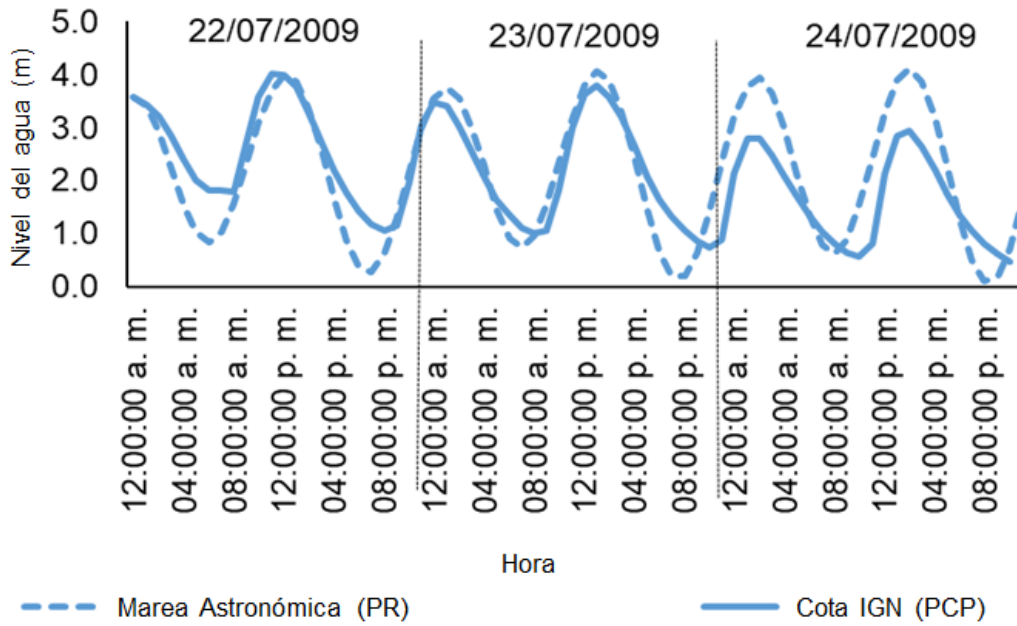


Figura 5.10. Nivel de agua en estación PCP y predicción astronómica de mareas para Punta Redonda del 22-24 de julio de 2009. Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

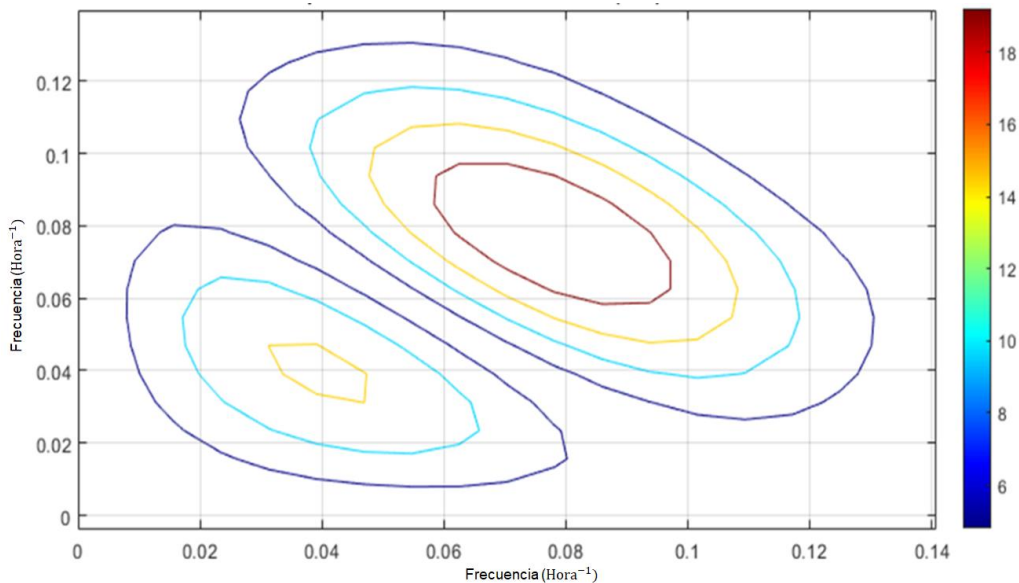


Figura 5.11. Biespectro de la serie de cotas de PCP entre el 23 y 24 de julio de 2009. Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

El análisis biespectral mostró la presencia de células energéticas centradas en las frecuencias  $0.04 \text{ H}^{-1}$  (24 horas) y  $0.08 \text{ H}^{-1}$  (12,42 horas) (Figura 5.10). La bicoherencia fue 0,86, lo cual indica la existencia de una fuerte relación entre los componentes de la serie a lo largo del tiempo y que esta relación es importante para comprender el comportamiento de la serie. En este caso, los resultados mostraron que

la transferencia energética ocurre a partir de constituyentes semidiurnos hacia armónicos de alta frecuencia.

Condiciones similares a las registradas durante el mes de julio de 2009 (Figura 5.9a) fueron encontradas para mes de septiembre de 2019 (Figura 5.9b). Durante este mes, generalmente la onda de marea modelada por el SHN (2021) y el registro de cotas pertenecientes a PCP (DPA Río Negro, 2021) estuvieron acopladas. Además, el nivel del agua (cota) registrado por el limnógrafo fue inferior al modelado en PR. Sin embargo, desde la tarde del 3 de septiembre hasta la madrugada del 4 de septiembre, en PCP se reportaron aumentos del nivel del agua (Figura 5.12). Esto fue consecuencia de la producción de fuertes vientos del S/SE en conjunción con una marea extraordinaria (4,4 m) que alcanzó a la costanera Viedma (Diario Río Negro, 2019). El resultado del paso del evento también fue la ocurrencia de un retraso en el reflujó de la marea astronómica.

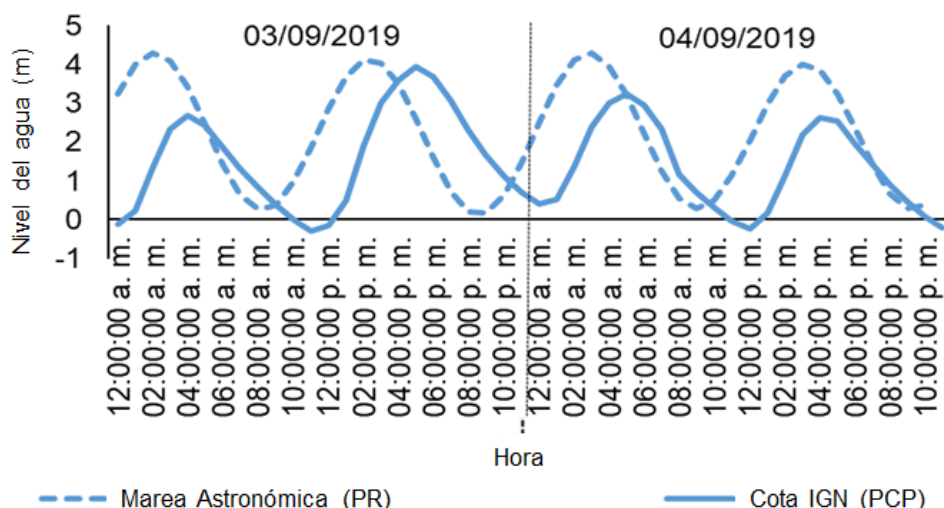


Figura 5.12. Nivel de agua en las estaciones TAC y PCP y predicción astronómica de mareas para Punta Redonda para los días 3 y 4 de septiembre de 2019. Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

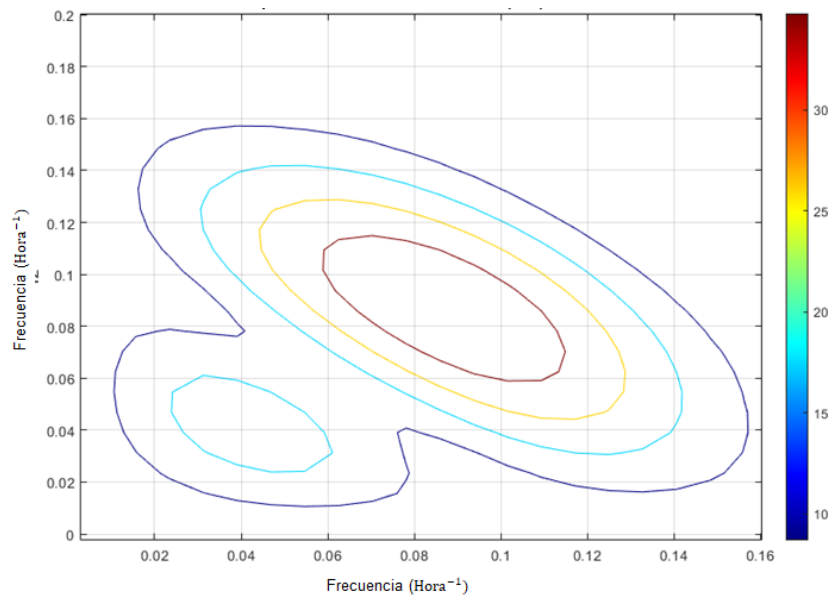


Figura 5.13. Biespectro de la serie de cotas de PCP para los días 3 y 4 de septiembre de 2019. a) Biespectro. Elaborado sobre la base de datos del DPA-Río Negro (2022).

El análisis biespectral detectó células de energía asociadas a frecuencias interactuantes en PCP en la frecuencia de  $0.08 \text{ H}^{-1}$  (12,42 horas) y en  $0.04 \text{ H}^{-1}$  (24 horas) (Figura 5.13). El valor de bicoherencia encontrado fue 1,3019. La energía detectada en este caso fue más elevada que en el primero, lo cual significa que durante este evento el traspaso de energía hacia armónicos de alto orden fue más intenso.

#### 5.4. Discusión de resultados

El análisis de las series temporales procedentes de los limnógrafos Toma de Agua El Cóndor, Prefectura Carmen de Patagones y San Javier y la estación de medición de Primera Angostura mostró que las series de altura de nivel de agua (cotas) poseen una gran variabilidad temporal, lo cual concuerda con los estudios realizados por UNL-DPA Río Negro (2004), Brieva (2018) y Gianola Otamendi (2019). La influencia de la marea astronómica decrece desde la desembocadura hasta San Javier (UNL-DPA Río Negro, 2004). Este comportamiento fue también detectado en el presente capítulo a través de la paulatina reducción de la amplitud de los constituyentes de marea aguas arriba de la desembocadura (Tabla 5.4) y en la no detección de celdas energéticas en SJ tras el análisis biespectral. Por ello, en concordancia con lo descrito por el informe de UNL-DPA Río Negro (2004), aguas arriba de San Javier el régimen hídrico del RN es netamente fluvial.

Según el informe de UNL-DPA (2004), aguas abajo de la localidad de San Javier, cuando la onda de marea proveniente del Océano Atlántico ingresa al Río Negro, el curso de agua adopta un régimen fluvio-marino. Para determinar los principales armónicos de marea, D'Onofrio et al. (2010) analizaron cotas horarias de tres períodos distintos: 1981-1984 en PCP, 1935 en TAC y 1989 en la desembocadura del RN. A pesar de que el estudio se vio limitado por el uso de diferentes períodos de medición de los datos y la falta de registros continuos, se detectaron aumentos en el nivel del agua producidos por la interacción de frecuencias de los armónicos principales. Se observó que la amplitud de los constituyentes cuartodiurnos era ligeramente mayor en PCP en comparación con la desembocadura del Río Negro, mientras que para el resto de los armónicos no se observó este comportamiento.

En el presente estudio, la amplitud máxima para los armónicos diurnos, semidiurnos y terciadiurnos fue detectada en TAC (Figuras 5.3b, b y c). En cambio, para los constituyentes de alto orden asociados a procesos no lineales, las mayores amplitudes fueron encontradas en PCP (Figuras 5.3d, e y f). En los casos de estudio, la energía de los constituyentes cuarto, sexto y octodiurno fue mayor en PCP que en TAC (Figura 5.4).

La influencia de las interacciones no lineales, las cuales promueven sobreelevaciones por encima de lo habitual del nivel de agua y asimetrías en el ciclo de la marea, ha sido observada en otras áreas. Dinápoli et al. (2020) demostraron que la interacción entre frecuencias aumenta la asimetría del ciclo mareal produciendo crecidas más rápidas y reflujos más lentos en el estuario del río de La Plata. En el estuario de la Bahía de Delaware, (Estados Unidos), estos fenómenos amplificaron la onda de tormenta durante el huracán Rita (Ziyu et al., 2021). En el RN, se detectó que el aumento de la asimetría de la señal de cotas durante la ocurrencia de tormentas produce el retraso del reflujos y adelanto del flujo de marea (Figuras 5.11 y 5.13).

El régimen fluvial del RN (aguas arriba de San Javier) depende de las crecidas de los ríos Neuquén y Limay (Soldano, 1947; Gianola Otamendi, 2019). La ocurrencia de precipitaciones entre otoño e invierno en las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén provoca aumentos de caudal aguas abajo durante la estación invernal (Romero et al., 2014; Brieva, 2018). El segundo máximo de crecida se produce durante la primavera debido al derretimiento de las nieves acumuladas en la cordillera de Los Andes (donde los ríos Neuquén y Limay tienen sus nacientes) (IANIGLA – Inventario Nacional de Glaciares, 2018a y b; AIC, 2020). La época de estiaje fue reportada durante el verano (Soldano, 1947).

Los resultados del presente capítulo difieren en algunos aspectos con aquellos descriptos en la bibliografía nacional (Soldano, 1947; Brieva, 2018; Gianola Otamendi,



2019). Los resultados de la estación de medición de Primera Angostura (PA) (SNIH, 2021) registraron desde julio hasta septiembre la ocurrencia de los mayores caudales, mientras los mínimos fueron reportados entre enero y marzo (Figura 5.6). Sin embargo, fue observada la variación de la época donde sucede la segunda crecida del RN. Si bien, entre 1930 y 2009 el máximo secundario fue hallado entre los meses de octubre y diciembre su ocurrencia fue localizada para el período 2010 – 2021 durante abril, mayo y junio.

El volumen de agua que transporta el río Negro posee una tendencia negativa acorde a los estudios realizados por Fenoglio (2019). El caudal de RN se encuentra regulado desde 1970 por las represas instaladas en los ríos Limay y Neuquén (ver Figura 1.1a en Capítulo 1), además varios canales de riego se alimentan de las aguas del RN (Gianola Otamendi, 2019). También existen reportes en los que se afirma que la tendencia negativa registrada por las series de caudal del RN de los últimos años se debe a la ocurrencia de la intensa sequía que ha afectado al territorio argentino en los últimos 13 años (Diario Río Negro, 2022). Se infiere que las discordancias halladas entre los resultados previamente publicados y los del presente capítulo responden al incremento de la influencia antrópica (construcción de diques y represas) y variabilidad climática (sequía de los últimos años) de los últimos 50 años.

Si bien las series de caudal no presentaron tendencia estadísticamente significativa a escala decadal (Tabla 5.7), el riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones sigue vigente (Fenoglio, 2019). La chiRN es susceptible a incrementos de la columna de agua asociados a caudales superiores a  $2700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (UNL-DPA Río Negro, 2004). Los hallazgos de la presente tesis demostraron que cada 10 años es esperable la ocurrencia de crecidas de Q mayores a los  $2830 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (Tabla 5.8). Los meses caracterizados con mayor peligrosidad coinciden con los reportes de máximos caudales reportados por la bibliografía nacional (Soldano, 1947; Brieva, 2018; Gianola Otamendi, 2019; Aic, 2020). Estos engloban el período comprendido entre los meses de mayo y agosto, además del mes de diciembre (Figura 5.8).

## **5.5. Conclusiones**

La chiRN es una zona densamente poblada que ha sido históricamente afectada por desbordes del RN. La adecuada caracterización de variables hidrométricas en el área de estudio brinda valiosa información a los tomadores de decisión para implementar medidas de prevención y mitigación eficientes ante la ocurrencia de

desastres. Por lo tanto, es crucial tener conocimientos cuantitativos y cualitativos sobre los mecanismos que contribuyen a la ocurrencia de inundaciones en este sector.

Las crecidas del RN en su cuenca hidrográfica inferior son provocadas por mecanismos de diversa naturaleza. Los desbordes del río se encuentran condicionados por la existencia de los dos regímenes hidrológicos. El régimen del RN es fluvio - marino influenciado por la onda de la marea astronómica desde su desembocadura en el océano Atlántico hasta la localidad de San Javier, localizada a 65 km de la boca del RN. En este tramo, la columna de agua presenta variaciones de su altura de manera semidiurna (cada 6 horas). Este efecto tiende a disminuir aguas arriba de la desembocadura hasta convertirse en nulo en San Javier donde el régimen se convierte en netamente fluvial.

La ocurrencia de procesos no lineales, asociados a la transferencia de energía de armónicos lineales de marea hacia los de alto orden, varía la altura de la columna de agua y produce asimetrías en el ciclo de la marea. La conjunción de mareas altas, altos caudales, cese del drenaje del río hacia el mar por efectos de la fricción tangencial del viento en conjunción con las características geomorfológicas del terreno donde se asienta el curso de agua provocan la ocurrencia de interacciones entre frecuencias de naturaleza no lineal. Para el área de estudio, la producción de procesos no lineales fue hallada en zonas aledañas a los limnógrafos localizados en Toma de Agua El Cóndor y Prefectura de Carmen de Patagones.

El paso de eventos extremos, como es el caso de las sudestadas, o la liberación de grandes caudales aguas arriba provocan la ocurrencia de procesos no lineales que incentiven la ocurrencia de severas inundaciones en el área de estudio. A través del análisis biespectral fue posible visualizar que este tipo de fenómenos ocurre con mayor intensidad en PCP que en TAC. La transferencia de energía se realiza a través de la frecuencia semidiurna (en este caso  $M_2$ ) hacia armónicos de alto orden ( $M_4$ ,  $M_6$  y  $M_8$ ). La consecuencia directa de la ocurrencia de este tipo de fenómenos es la producción de severas inundaciones, fundamentalmente en la costanera de la ciudad de Viedma.

Las crecidas del RN en su cuenca hidrográfica inferior también dependen del régimen hidrológico combinado de los ríos Limay y Neuquén. La superposición de máximos caudales procedentes de los ríos anteriormente mencionados promueve que el RN tenga dos crecidas máximas anuales. La primera y más intensa se reporta entre junio, julio y agosto, mientras la época durante la cual se produce el segundo máximo se ha desplazado desde 1930 hasta 2021, sucediendo en los últimos tiempos entre los meses abril, mayo y junio. La variabilidad registrada puede asociarse a la conjunción de varios factores como es la construcción de represas en los ríos Limay y Neuquén (ver Figura 1.1a en Capítulo 1) las cuales modulan los aumentos de caudal del RN, la

presencia de diferentes canales de riego los cuales extraen agua del sistema hidrográfico conformado por los ríos Limay, Neuquén y Negro, además de la influencia de una intensa sequía.

Aunque no se ha detectado una clara tendencia en el régimen fluvial del RN, la amenaza de ocurrencia de inundaciones debido a la liberación de grandes volúmenes de agua procedentes de aguas arriba y al paso de eventos meteorológicos extremos sigue estando implícita. Existe la probabilidad de que ocurran inundaciones relacionadas con caudales superiores a los  $2800 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  cada 10 años. Históricamente, estos eventos se han producido principalmente en los meses de mayo, junio, julio, agosto y, en menor medida, diciembre.

## CAPÍTULO 6

### SUSCEPTIBILIDAD ANTE LA OCURRENCIA INUNDACIONES \*\*\*

#### 6.1. Introducción

El análisis de susceptibilidad de una inundación, el cual implica la delimitación de su zona de afectación, se basa en la evaluación espacial de los factores que determinan la sensibilidad de un área ante la ocurrencia de este fenómeno, según ciertos criterios establecidos (Liendro Moncada y Ojeda, 2018). La topografía, junto con las características, la cobertura y el uso del suelo, influyen en la propagación de las aguas tierra adentro durante la manifestación de la amenaza (Renda et al., 2017). Por lo tanto, el estudio de la influencia de las características del terreno en la distribución espacial de las inundaciones es fundamental para analizar el riesgo asociado a estos eventos (Renda et al., 2017).

En el caso de inundaciones provocadas por crecidas fluviales, las características de suelo (orden, drenaje, contenido de humedad y textura) (Zepeda González, 2011) y topografía (relieve y pendiente del terreno) (Nahiduzzaman et al., 2015) favorecen su ocurrencia. Otro factor determinante al realizar análisis de susceptibilidad ante inundaciones es la cobertura y uso del suelo (Olivera Acosta et al., 2011). Los desastres asociados a inundaciones tienden a ser más severos en zonas con un manejo inapropiado de los suelos (Camilloni et al., 2020). La modificación de la cobertura del suelo, el vertimiento de desechos y escombros, la deforestación, urbanización y el entubamiento de los cursos de agua provocan una disminución de la capacidad de infiltración del terreno y de la evacuación de los ríos (Ciurean et al., 2013).

A nivel internacional se ha realizado la delimitación exitosa de sectores susceptibles a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, de acuerdo a las características físico - geográficas del medio del terreno, utilizando jerarquización de variables y Evaluación Multicriterio (EMC) (Villamizar et al., 2019; Lawal Dano et al., 2019; Melo Cuellar y Pinzón, 2020; Vergara Noriega, 2020). Un ejemplo de ello es la

\*\*\* *El trabajo que se presenta en este capítulo es parte del siguiente artículo: García Bucogen, G., Piccolo, M. C., Bohn, V. Y. (2021). Estimación de la susceptibilidad a inundaciones en la cuenca inferior de Río Negro, Argentina. FINISTERRA, LVI (118), pp. 51 – 70. doi: 10.18055/Finis21647Artigo*

aplicación de una metodología basada en criterios de influencia integrada y la correlación existente entre factores físico-geográficos y antropogénicos (Montecelos Zamora et al., 2010). El empleo de este método permitió la delimitación de las zonas susceptibles a las crecidas del río Cauto en Granma (Cuba). Por otro lado, fueron obtenidos exitosamente mediante el método de Evaluación Multicriterio (EMC) y funciones SIG diferentes escenarios de peligro ante los desbordes del río Cabañas (Holguín, Cuba) (Igarza Sánchez, 2019). Los resultados de esta investigación demostraron que los mayores niveles de susceptibilidad se asociaron a zonas de pendiente reducida del terreno. En Sudamérica, la modificación de la cobertura del suelo en el sector costero de la ciudad de La Serena Chile) (de características semiáridas) incentivó la generación de desastres (Soto et al., 2015).

En Argentina, la cartografía de áreas de riesgo ante inundaciones y anegamientos ha sido realizada en base al uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), EMC y herramientas de teledetección. El análisis de modelos digitales de elevación del terreno (DEM, del inglés Digital Elevation Model) mostraron que, las características físico - naturales de la ciudad de General José de San Martín (Provincia del Chaco) favorecen su susceptibilidad ante crecidas fluviales e intensas precipitaciones (Meza et al., 2017). La evolución espacio - temporal del régimen de desbordes de lagunas permanentes y semipermanentes de la pampa Argentina ha sido también estudiada a través del uso de SIG. La susceptibilidad de la zona de drenaje indefinido occidental peripampeano (localizada en el S de la llanura pampeana) fue alta en aquellos sectores con una gran densidad de cuerpos de agua y relieve llano (Carrascal et al., 2018). La recurrencia de anegamientos en las cuencas de río Arrecifes, el arroyo de Las Flores y del río Quequén Salado (pertenecientes a la llanura pampeana) fue alta en zonas caracterizadas por la presencia de numerosos cuerpos de agua y suelos arcillosos (Bohn y Piccolo, 2019).

El número de trabajos publicados en los que se analiza la susceptibilidad de la chiRN ante la ocurrencia de inundaciones es limitado. La zonificación del litoral del área de estudio, sobre la base de sus características geomorfológicas, indicó que la zona presentó una vulnerabilidad media y alta ante un aumento del nivel del mar (Kokot et al., 2004). La porción del área de estudio correspondiente al Valle inferior del RN (desde la desembocadura del río hasta la localidad de Primera Angostura) fue zonificada acorde a su susceptibilidad natural ante los desbordes del río Negro (RN) según la delimitación de la cuenca hidrográfica propuesta por SSRH-INA (2002) (García Bu Bucogen et al., 2021). Los resultados del trabajo mostraron que el 46,7 % del área analizada presentó susceptibilidad media y alta ante crecidas fluviales.

Los trabajos publicados por Kokot et al. (2004) y García Bu Bucogen et al. (2021) demuestran que la chiRN se encuentra localizada en una zona donde las características del terreno favorecen la ocurrencia de inundaciones. Dada la necesidad de delimitar en el área de estudio aquellas zonas donde las características del terreno favorecen la concreción de inundaciones, el objetivo del presente capítulo es delimitar el área de afectación de inundaciones en la chiRN acorde a sus niveles de susceptibilidad para periodos extremadamente húmedos.

## 6.2. Método de trabajo

La detección de la zona de afectación de inundaciones fue realizada en base al análisis del mapa de susceptibilidad (MS). El MS fue obtenido a través de la delimitación de la máxima extensión de la cobertura de agua (MECA) y estudio de las características físico - geográficas del terreno. La MECA fue calculada tras diferenciar períodos de condiciones húmedas acorde al Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés) (Vicente-Serrano et al., 2010) ([spei.csic.es](http://spei.csic.es)). El SPEI evalúa la desviación del déficit de humedad calculada como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial. Su resolución espacial es 1° y la escala temporal empleada fue 12 meses (Vicente-Serrano et al., 2010). En este caso, se optó por utilizar el SPEI debido a su capacidad para ofrecer una evaluación completa de las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua en el área de estudio. Además la elección se relaciona al hecho de que condiciones más húmedas, reflejadas en valores positivos del SPEI, se traducen en una mayor probabilidad de inundaciones debido a un aumento en la acumulación de agua y a la saturación del terreno. La adquisición de la serie de tiempo fue realizada de manera puntual para la coordenada geográfica 40°45'00" S y 63°15'00" O (cercañas de Viedma). La selección de imágenes satelitales factibles a emplear para calcular la MECA correspondieron a períodos donde el valor del índice SPEI indicó valores extremadamente húmedos ( $SPEI \geq 2,00$ ) y muy húmedo ( $1,99 \geq SPEI \geq 1,50$ ) (Tabla 6.1).

<b>Categorías del índice SPEI</b>	<b>Valor</b>
Extremadamente húmedo	$\geq 2,00$
Muy húmedo	1,99 a 1,50
Moderadamente húmedo	1,49 a 1,00
Normal	0,99 a -0,99
Moderadamente seco	-1,00 a -1,49

Muy seco	-1,50 a -1,99
Extremadamente seco	≤ -2,00

Tabla 6.1. Categorías del índice SPEI. Elaboración sobre la base de criterios publicados por Vicente-Serrano et al. (2010).

Debido a su alta resolución espacial (30 metros) y temporal (1998-2021), las imágenes satelitales procesadas correspondieron al producto Landsat 8 OLI/TIRS de nivel 2, las cuales se encuentran corregidas atmosféricamente (Figura 6.1). De la colección fueron seleccionadas imágenes con coberturas nubosas inferiores al 10%. Las imágenes satelitales fueron obtenidas de la base de datos de libre acceso del USGS (2021) perteneciente al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

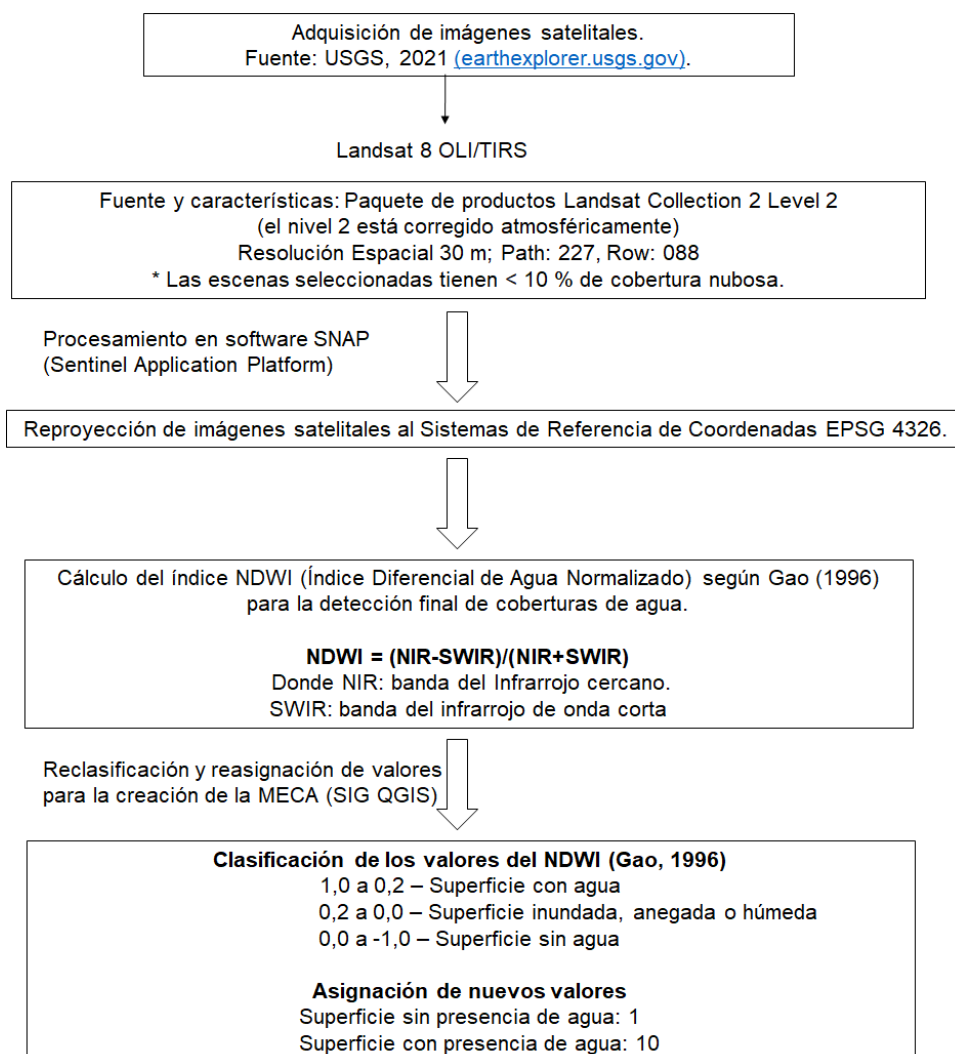


Figura 6.1. Metodología utilizada para la obtención de la serie de cobertura de agua.

La delimitación de los cuerpos y cursos de agua, en imágenes correspondientes a períodos muy y extremadamente húmedos en el área de estudio, fue realizada a través del cálculo del índice NDWI (del inglés Normalized Difference Water Index) (McFeeters, 1996; McFeeters, 2013). El NDWI fue calculado con la combinación de las bandas del infrarrojo cercano (B5) y de onda corta (B6) del producto Landsat 8 OLI/TIRS (Gao, 1996) a través del software de uso gratuito SNAP (del inglés Sentinels Application Plataform). La delimitación de masas de agua se realizó para valores del NDWI superiores a 0,0 en el SIG QGIS. Los detalles del cálculo de la MECA a través del uso del índice NDWI se encuentran resumidos en la Figura 6.1

Tras calcular la MECA, el MS se realizó con la ponderación de las variables: unidades geomorfológicas, tipo y drenaje del suelo (Tabla 6.2). Las bases de datos empleadas fueron obtenidas de los siguientes organismos oficiales:

- Unidades Geomorfológicas (E: 1:500 000), Drenaje del suelo (E: 1:500 000), Textura del suelo (E: 1:500 000): Carta de Suelos de la República Argentina del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (SAGyP-INTA, 1990) (<http://www.geointa.inta.gob.ar/2013/05/26/suelos-de-la-republica-argentina/>).
- Cobertura del Suelo de la República Argentina (E 1:500.000) (Volante et al., 2009) (<http://www.geointa.inta.gob.ar/2013/05/19/cobertura-del-suelo-de-la-republica-argentina/>).
- Relieve (E: 1:250 000) y Cursos de agua (E: 1: 250 000) del IGN (2022) (<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>).
- Delimitación de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro 1:250.000 del Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la Argentinas (SSRH, 2010). Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) (AIC, 2022).

Las unidades geomorfológicas, drenaje y textura de suelo fueron obtenidas a partir de los mapas de suelos provinciales que integran el Atlas de Suelos de la República Argentina digitalizados en el Instituto de Suelos en formato vectorial (SAGyP-INTA, 1990). La cartografía digital relativa a la cobertura del suelo fue obtenida del mapa de Cobertura del Suelo de la República Argentina entre 2006 y 2007 calculado sobre la base del sistema de clasificación de ocupación de tierras “Land Cover Classification System - LCCS” de Di Gregorio et al. (1998) (Volante et.al., 2009). La capa relativa a la delimitación de la cuenca hidrográfica fue proporcionada por la AIC.

El método empleado para determinar la delimitación de zonas susceptibles ante inundaciones (MS) fue la realización de una Evaluación Multicriterio (EMC). La EMC se basa en la utilización de variables cartográficas como datos de partida y permite trabajar bajo criterios previamente justificados para la obtención de escenarios de peligro, riesgo



y búsqueda de mejores alternativas de manejo territorial (Principi, 2015). La asignación de pesos y jerarquización de variables para la chiRN fue obtenida sobre la base de criterios previamente publicados en García Bu Bucogen et al. (2021) y readaptados a la nueva delimitación de la MECA (Tabla 6.2).

Criterios	Característica del terreno	Posición Jerárquica	Peso Ponderado
Cobertura y usos del suelo (Volante et.al., 2009)	Arenal	1	0.03
	Suelo desnudo	3	
	Planta Urbana	5	
	Bosques	6	
	Plantas Perennes	7	
	Herbáceas	8	
	Paleocauce	9	
Drenaje del suelo (INTA, 1990)	Humedal y curso de agua	10	0.17
	Excesivo	1	
	Algo excesivo	3	
	Bien drenado	5	
	Muy pobremente drenado	9	
Pendiente del terreno (INTA, 1990)	Influido por el río	10	0.22
	>3 %	7	
	2 %	8	
	1 %°	9	
Presencia de agua (MECA)	0 %	10	0.25
	Sin presencia de agua	1	
Textura (INTA, 1990)	Con presencia de agua	10	0.12
	Arenosa	1	
	Areno franca	3	
	Franco arenosa	5	
	Franca	7	
Clasificación del suelo (INTA, 1990)	Influido por el río	10	0.14
	Aridisoles	1	
	Entisoles	3	
Geomorfología (INTA, 1990)	Influido por el río	9	0.07
	Pendiente	1	
	Loma	2	
	Duna	3	
	Meseta con tosca	5	
	Llanura	9	
	Bajo	10	

Tabla 6.2. Criterios y ponderaciones utilizados en el procesamiento en la Evaluación Multicriterio. Elaboración sobre la base de criterios publicados por Carrascal et al. (2018), Olivera Acosta et al. (2011) y García Bu Bucogen et al. (2021).

En primera instancia fue realizada la asignación de peso y jerarquización para cada característica del terreno. Posteriormente, el MS fue obtenido a través de la suma algebraica de cada criterio acorde a la expresión propuesta por Olivera Acosta (2011) y publicada en García Bu Bucogen et al. (2021) (Ecuación 6.1):

$$\text{SUSCEPTIBILIDAD}(S) = (\text{Peso}(P)_1 * (\text{Variable}(V)_1) + (P_2 * V_2) + \dots + (P_n * V_n))$$

(Ecuación 6.1)

donde los P ponderados fueron multiplicados por las ponderaciones correspondientes a las variables (V) de drenaje, textura y tipo de suelo; presencia de agua (MECA); pendiente y coberturas del terreno, correspondientes al área de estudio (Olivera Acosta et al., 2011; Carrascal et al., 2018; García et al., 2021). Sobre la base de los resultados obtenidos, el área de estudio fue subzonificada acorde a su susceptibilidad ante inundaciones en: no susceptible, baja, media y alta (Tabla 6.3).

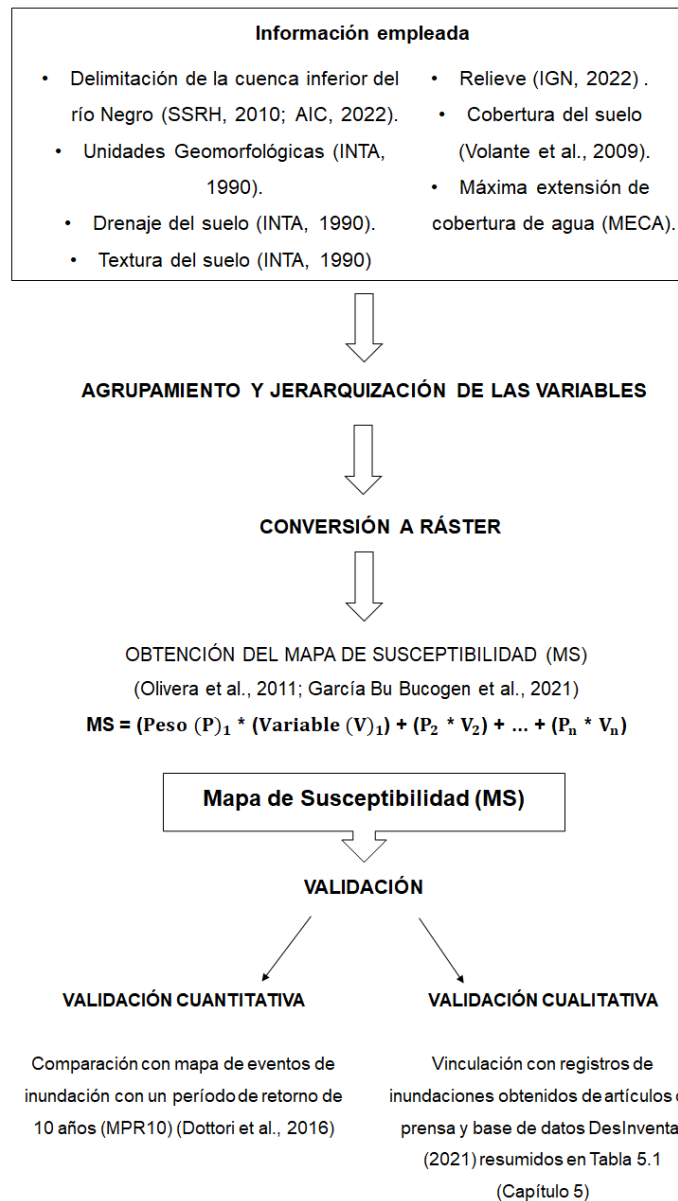


Figura 6.2. Esquema de trabajo empleado para la estimación de la susceptibilidad a inundaciones en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro. Elaboración sobre la base de metodología publicada por García Bu Bucogen et al. (2021).

<b>Clases de susceptibilidad</b>	<b>Rango de valores</b>
No susceptible	0 – 3
Baja	3.1 – 5
Media	5.1 - 8
Alta	≥ 8.1

Tabla 6.3. Clases de susceptibilidad obtenidas de la Evaluación Multicriterio.

La sensibilidad de los resultados hallados en el MS se evaluó a nivel cuantitativo y cualitativo (Figura 6.2). Para la validación cuantitativa, se compararon los resultados con el mapa global de áreas susceptibles a inundaciones con un período de retorno de 10 años (MPR10). Este mapa se elaboró mediante simulaciones de caudal a largo plazo realizadas entre 1980 y 2013 publicado por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (Dottori et al., 2016). La resolución espacial del MPR10 es de alrededor de 1 km cuyas celdas contienen información sobre la profundidad de la lámina de agua (en metros). Esta base de datos ha sido validada mediante mapas oficiales de diferentes partes del mundo y mediante análisis de huellas de inundación obtenidas a partir de imágenes satelitales desarrolladas por el Observatorio de Inundaciones de Dartmouth. Por otro lado, se vincularon los resultados del estudio a nivel cualitativo con registros de inundaciones reportados en diferentes medios de prensa y con la base de datos Desinventar (2021). Estos datos se resumen en la Tabla 5.1 (ver Capítulo 5).

Tras la validación del MS, el mismo análisis resumido en la Figura 6.2 fue realizado a nivel trimestral para determinar las épocas del año durante las cuales la susceptibilidad ante inundaciones fue mayor. Los trimestres analizados correspondieron a enero-febrero-marzo (1er trimestre), abril-mayo-junio (2do trimestre), julio-agosto-septiembre (3er trimestre) y octubre-noviembre-diciembre (4to trimestre) de 2015, el cual fue indica por el SPEI, como un año de condiciones excepcionalmente húmedas.

### **6.3. Resultados**

#### **6.3.1. Selección de imágenes satelitales según el SPEI**

El período seleccionado como caso representativo de condiciones muy y extremadamente húmedas fue el año 2015 (Figura 6.3). La selección se realizó sobre la base de la serie de datos del SPEI a escala temporal 12 meses, dado que el objetivo fue vincular la climatología con el desarrollo de aguas superficiales o anegamiento. El índice SPEI se categorizó como extremadamente húmedo desde enero hasta agosto,

inclusive. Para los meses desde septiembre hasta diciembre su categoría fue muy húmedo.

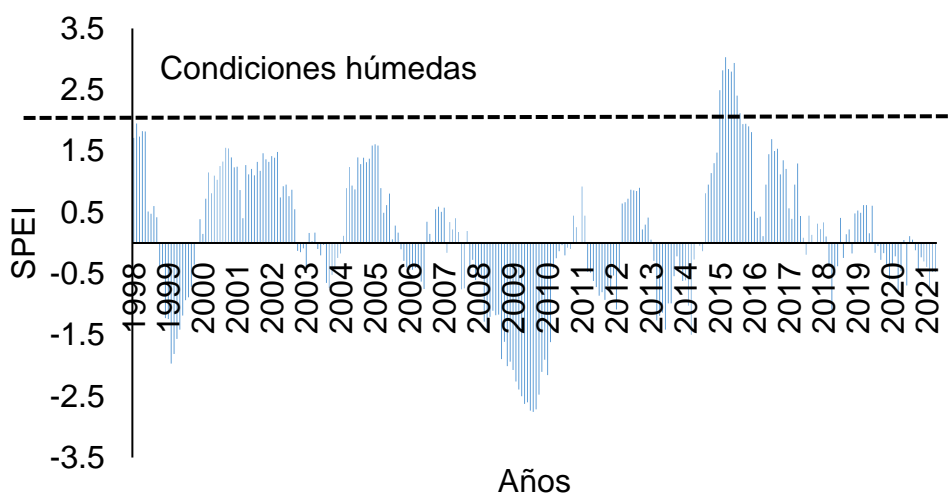


Figura 6.3. Valores del SPEI en Viedma (período 1998 – 2021). Elaboración sobre la base de los datos publicados por Vicente-Serrano et al. (2010) e información de POWER NASA Project (2021).

Fecha de adquisición de la imagen	Trimestre	Situación hídrica (según SPEI)
28/01/2015	Ene/Feb/Mar	Extremadamente húmedo
23/03/2015	Abr/May/Jun	Extremadamente húmedo
13/07/2015	Jul/Ago/Sep	Extremadamente húmedo
17/10/2015	Ocy/Nov/Dic	Muy húmedo

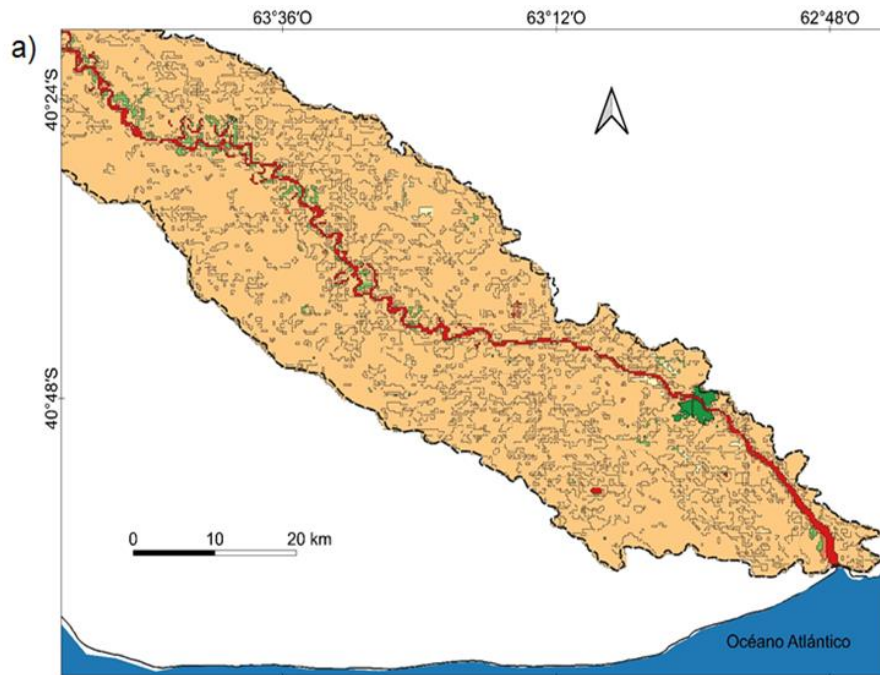
Tabla 6.4. Listado de imágenes satelitales disponibles para el área de estudio durante los períodos muy y extremadamente húmedos indicados por el SPEI (período 1998 – 2021). Elaboración sobre la base de productos del USGS (2021).

Como resultado de la definición de períodos con condiciones muy y extremadamente húmedas, acorde a los datos reportados por el SPEI y la disponibilidad de datos satelitales fueron tomadas las imágenes correspondientes al 18 de enero, 23 de marzo, 13 de julio y 17 de octubre para el cálculo de la máxima extensión de la cubierta de agua (MECA) (Tabla 6.4). Las imágenes anteriormente mencionadas fueron promediadas para obtener la MECA reportada durante el período 1998 – 2021.

### 6.3.2. Estimación del Mapa de Susceptibilidad (MS)

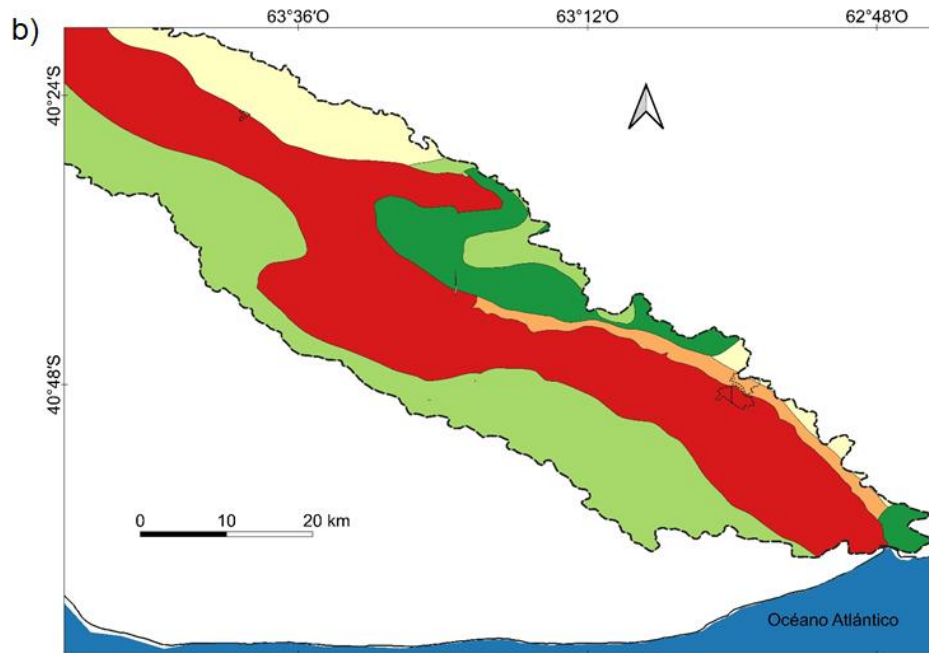
La jerarquización de las variables empleadas (Tabla 6.2) mostró que el sector aledaño a la ribera de RN tiene características del terreno que favorecen la ocurrencia

de inundaciones y anegamientos (Figura 6.4). El análisis determinó que el valor de los pesos asignados a cada variable (Olivera Acosta et al., 2011) y su distribución geográfica fueron los elementos determinantes al categorizar sectores con susceptibilidades medias y altas. Suelos con problema de drenaje (Figura 6.4b), pendientes topográficas inferiores al 1% (Figura 6.4c) y relieves llanos (6.4d) determinaron la distribución de áreas mediana y altamente susceptibles. De esta manera, los factores físicos más influyentes para delimitar las áreas de alta susceptibilidad fueron la pendiente topográfica, el drenaje y el relieve.



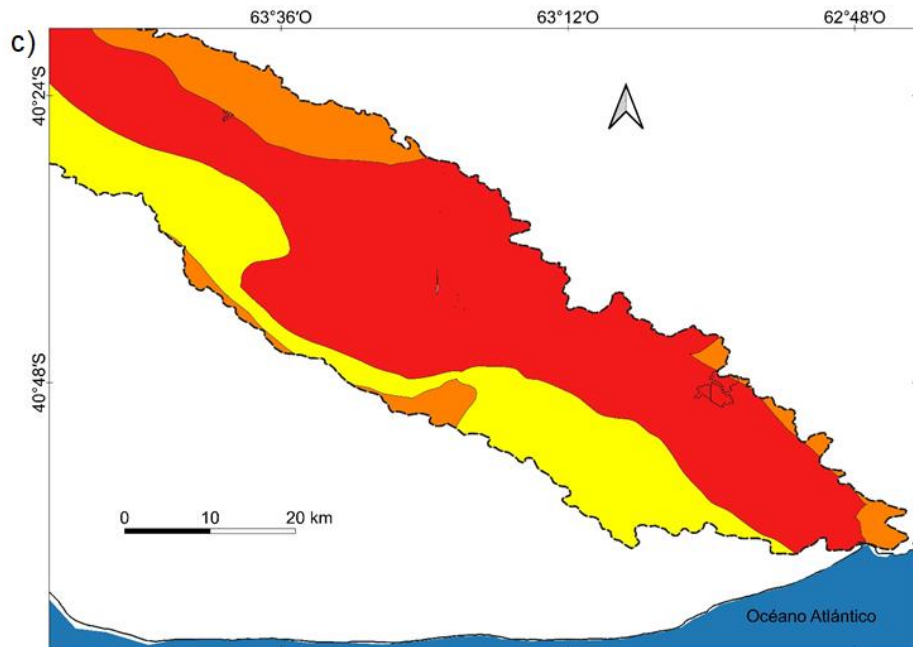
Referencias

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
  - Localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (INDEC, 2010)
  - Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Jerarquización de las características del terreno en base a su cobertura (Volante et al., 2013; García et al., 2021)
- |                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| ■ 3 (Suelo desnudo)    | ■ 8 (Herbácea)                  |
| ■ 5 (Planta urbana)    | ■ 9 (Paleocauce)                |
| ■ 6 (Bosques)          | ■ 10 (Humedal y cursos de agua) |
| ■ 7 (Plantas Perennes) |                                 |



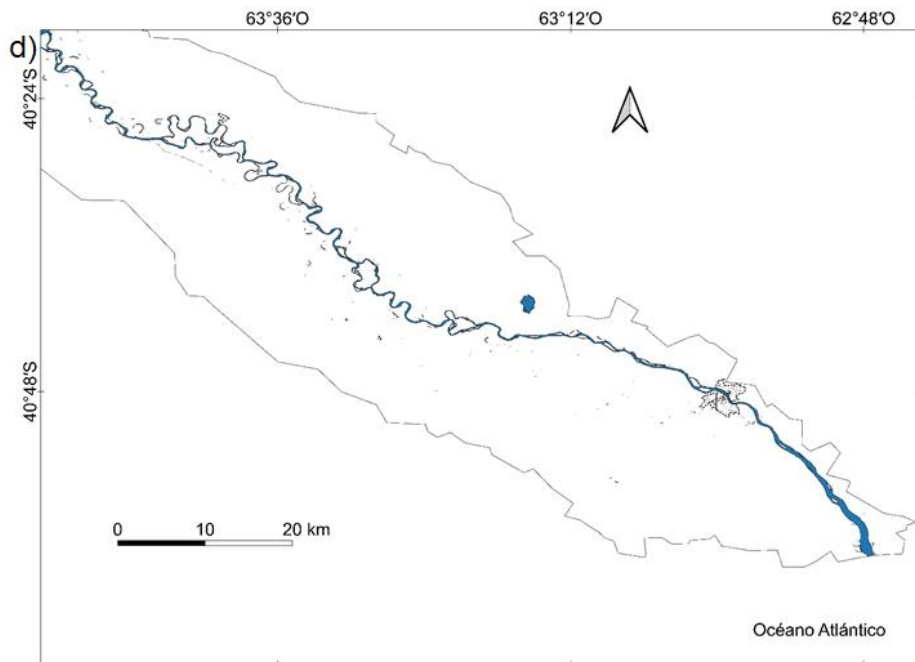
Referencias

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
  - ▭ Localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (INDEC, 2010)
  - ▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Jerarquización de las características del terreno en base a su drenaje (INTA, 1990; García et al., 2021)
- 1 (Excesivo)
  - 3 (Algo excesivo)
  - 5 (Bien drenado)
  - 9 (Muy pobremente drenado)
  - 10 (Influido por el río)



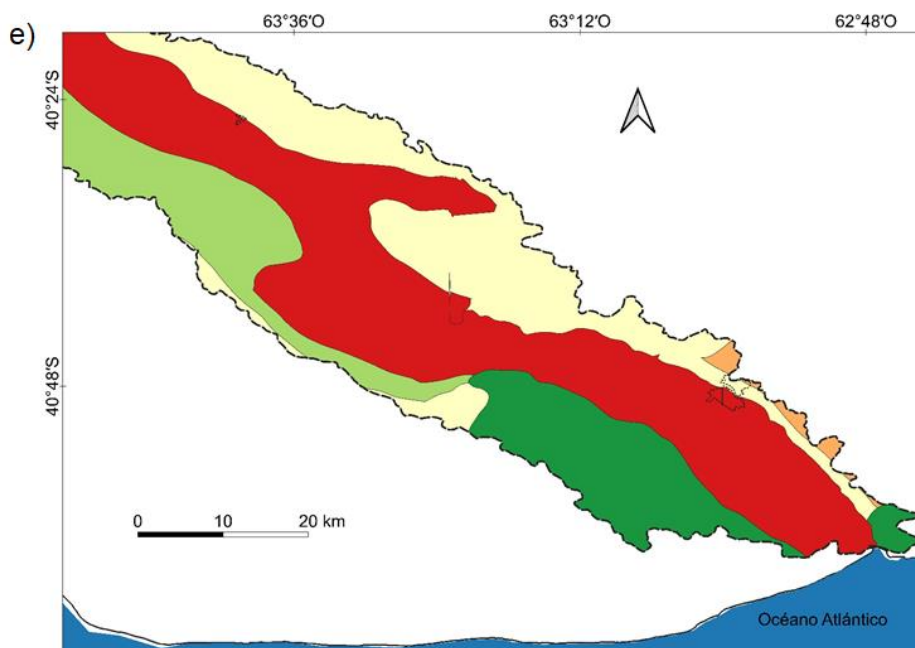
Referencias

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
  - ▭ Localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (INDEC, 2010)
  - ▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Jerarquización de las características del terreno en base a su pendiente (INTA, 1990; García et al., 2021)
- 7 (>3%)
  - 9 (1%)
  - 10 (0%)



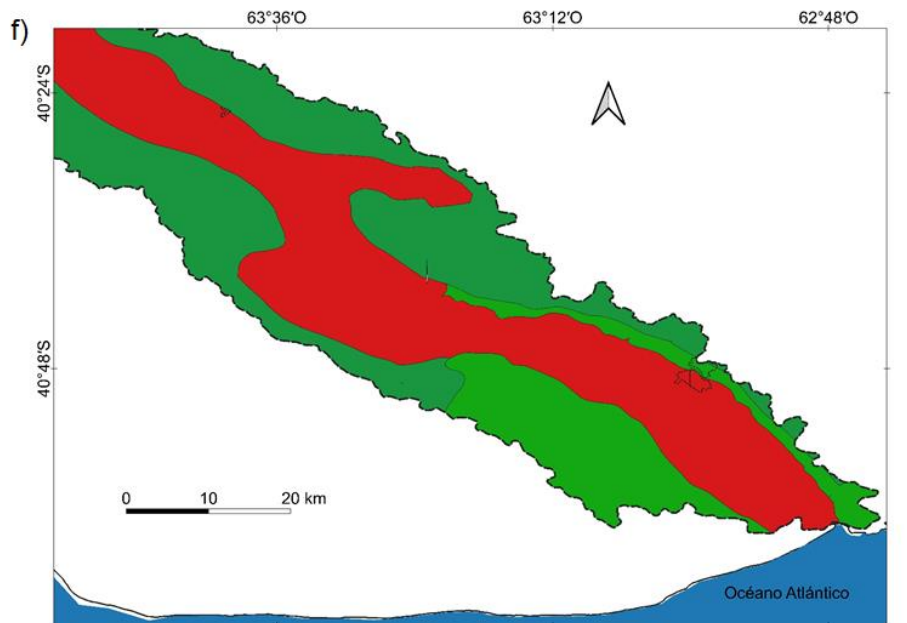
#### Referencias

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
- Localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (INDEC, 2010)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Máxima extensión de cobertura de agua (MECA)
  - 1 (Sin presencia de agua)
  - 10 (Con presencia de agua)



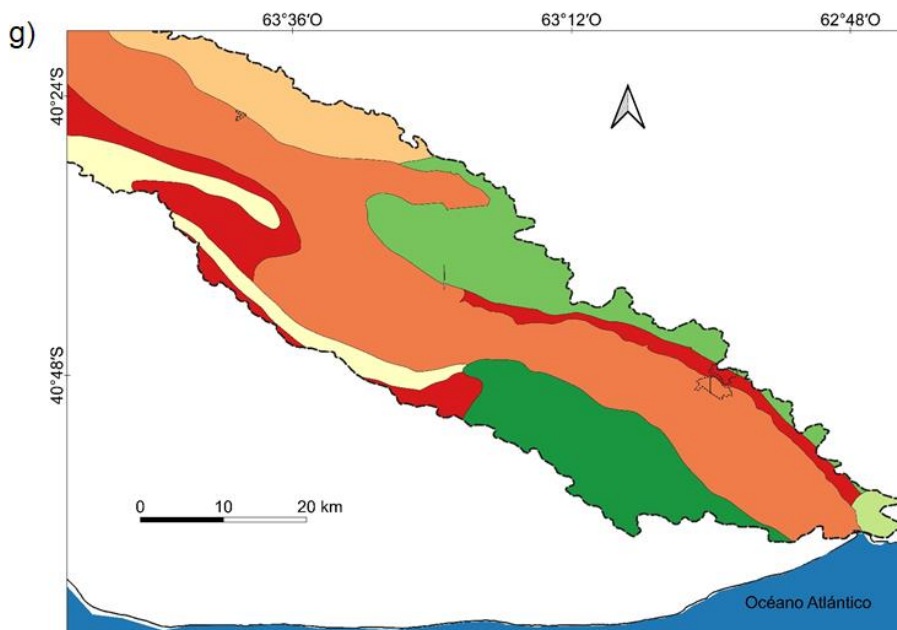
#### Referencias

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
- Localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (INDEC, 2010)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Jerarquización de las características del terreno en base a su textura (INTA, 1990; García et al., 2021)
  - 1 (Arenosa)
  - 3 (Areno franca)
  - 5 (Franco arenosa)
  - 7 (Franca)
  - 10 (Influido por el río)



Referencias

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
- ▭ Localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (INDEC, 2010)
- ▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Jerarquización de las características del terreno en base a la clasificación del suelo (INTA, 1990; García et al., 2021)
- 1 (Aridisoles)
- 3 (Entisoles)
- 10 (Influído por el río)



Referencias

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
- ▭ Localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (INDEC, 2010)
- ▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Jerarquización de las características del terreno en base a su geomorfología (INTA, 1990; García et al., 2021)
- 1 (Pendiente)
- 2 (Loma)
- 3 (Duna)
- 4 (Meseta con tosca)
- 5 (Meseta)
- 9 (Llanura)
- 10 (Bajo)

Figura 6.4. Jerarquización de las características del terreno sobre la base de diferentes criterios de evaluación resumidos en la Tabla 6.2: a) cobertura del suelo, b) drenaje del suelo, c) pendiente del terreno, d) máxima extensión de la cobertura de agua, e) textura del suelo, f) clasificación del



orden de suelo, g) geomorfología. Elaboración sobre la base de datos provistos por Volante et.al. (2013) e INTA (1990).

Tras la ponderación de criterios realizados sobre la base de la Tabla 6.2, las clases de susceptibilidad ante inundaciones obtenidos fueron: no susceptible, susceptibilidad baja, media y alta (Tabla 6.4). El área de estudio fue heterogénea en cuanto a la distribución de la susceptibilidad a inundaciones (Figura 6.5). Desde la desembocadura hasta San Javier (ver Figura 1.1b en Capítulo 1), el sector norte de la cuenca hidrográfica mostró mayor grado de susceptibilidad que el S. En cambio, desde San Javier hasta Segunda Angostura, la distribución de las subzonas de susceptibilidad fue desigual.

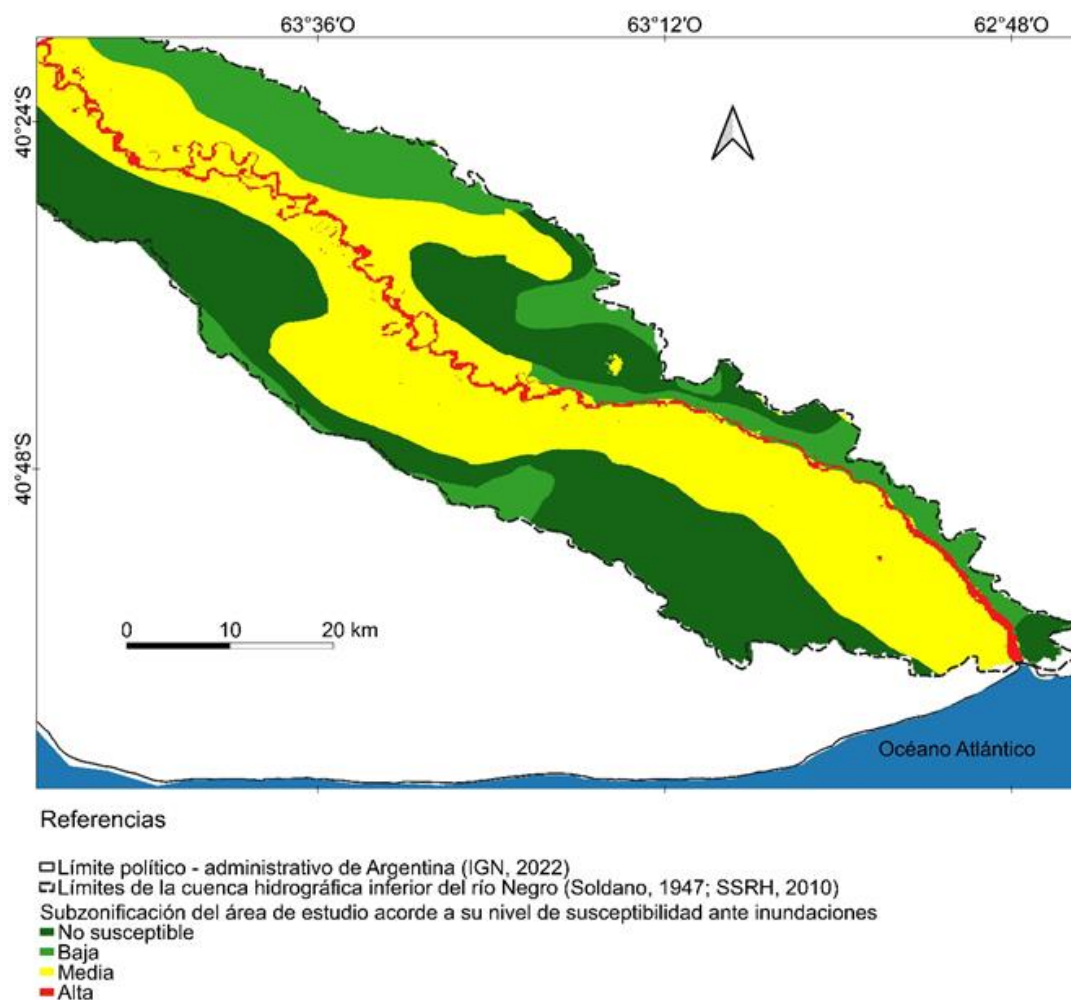


Figura 6.5. Subzonas de susceptibilidad ante inundaciones, estimadas sobre la base del análisis de características físicas, en la cuenca inferior hidrográfica del río Negro.

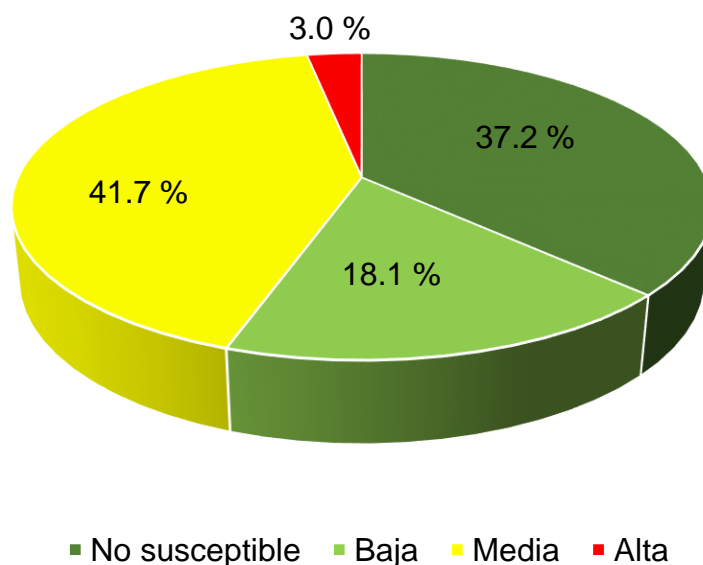
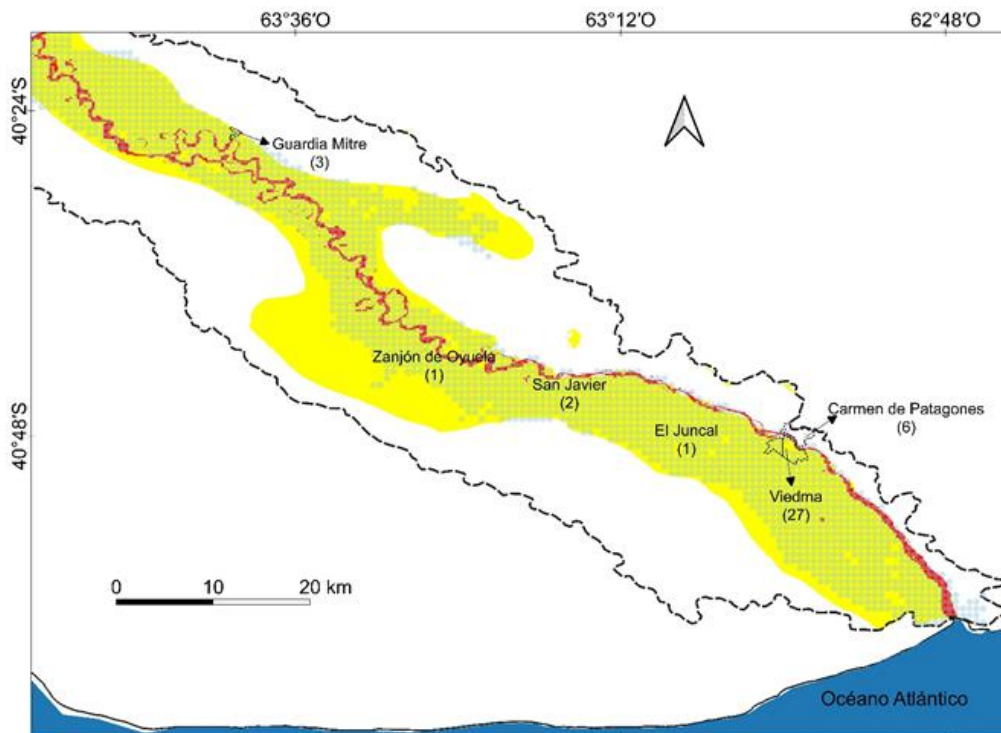


Figura 6.6. Representatividad superficial (%) de cada una de las clases de susceptibilidad estimada en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro.

En total, el 44,7 % del área de estudio presentó una susceptibilidad media-alta ante inundaciones (Figuras 6.6). Las subzonas de susceptibilidad media ocuparon 1.396,5 km<sup>2</sup>, lo cual representó el 41,7 % de la superficie del área de estudio. El área de alta susceptibilidad se extendió por 101,2 km<sup>2</sup> (3,0 %) en sectores aledaños al río y con desarrollo de lagunas, paleocauces, relieve deprimido y drenaje pobre. Las subzonas no susceptibles y de susceptibilidad baja abarcaron 1.847,3 km<sup>2</sup> (55,3 % del área total de estudio).

### 6.3.3. Validación cuantitativa y cualitativa de los resultados del Mapa de Susceptibilidad (MS)

La validación cuantitativa se realizó sobre la base de la intersección, en formato ráster y mediante un SIG, entre el MS obtenido en el presente estudio y el MPR10 (Dottori et al., 2016) (Figura 6.7). El área total intersectada entre ambos fue 1.222,5 km<sup>2</sup> aproximadamente (36,5 % de la chiRN). La diferencia superficial entre el MS y MPR10 se asoció a que la capa de validación sólo mostró aquellos sectores del territorio propensos a inundarse, mientras en el MS se muestran tanto sectores susceptibles como no susceptibles a inundaciones. Del total del área intersectada entre el MS y MPR10, el 7,7 % (94,1 km<sup>2</sup>) y el 87,7 % (1.971,9 km<sup>2</sup>) correspondieron a subzonas de susceptibilidad alta y media del MS, respectivamente (Figura 6.8). En tanto, el 2,9 % correspondió a la categoría baja. Finalmente, el 1,7 % del área intersectada fue considerada no susceptible.



Referencias

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
- Localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (INDEC, 2010)
- Mapa de áreas propensas a inundarse con un período de retorno de 10 años (Dottori et al., 2016)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano, 1947; SSRH, 2010)
- Zonas del área de estudio cuyo con mediano y alto nivel de susceptibilidad ante inundaciones
- Medio
- Alto

Figura 6.7. Validación cuantitativa y cualitativa del mapa de susceptibilidad (MS). Elaborado sobre la base de los datos publicados por Dottori et al. (2016), DesInventar (2021) y los distintos reportes de inundaciones resumidos en Tabla 5.1 (ver Capítulo 5).

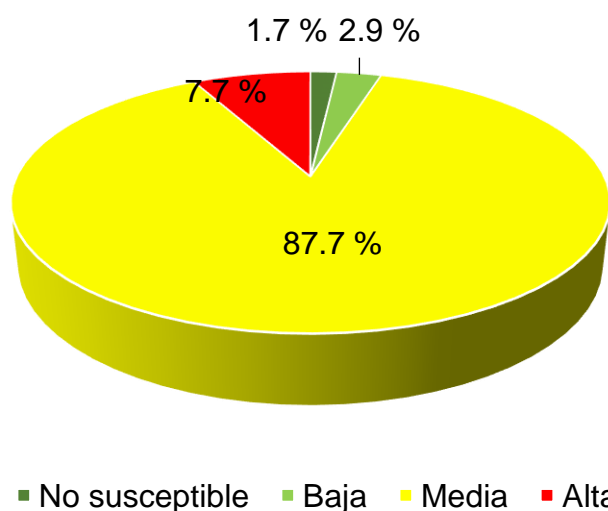


Figura 6.8. Comprobación cuantitativa de las subzonas de susceptibilidad estimadas para el área de estudio: porcentajes de intersección con respecto al mapa PR10.

Tras el análisis cualitativo, se compararon los resultados del MS con la existencia de reportes de eventos de inundación conseguidos a través de análisis bibliográfico y la base de datos DesInventar (2021) resumidos en la Tabla 1.1. Del total de registros de inundación observados, el 67,5 % de estos fueron registrados en la ciudad de Viedma (Figura 6.6). El 15 % del total de registros de inundación del área de estudio fueron reportados para la costanera de la localidad de Carmen de Patagones. La susceptibilidad en dicho sector fue alta mientras que, a mayor distancia de la costa, la susceptibilidad fue baja. Otros reportes fueron localizados en zonas categorizadas como medianamente susceptibles. Dada la distribución espacial de los reportes, la validación cualitativa confirma los resultados hallados en el MS (Figura 6.5).

#### 6.3.4. Estimación de la susceptibilidad hídrica (2015)

La extensión superficial de zonas susceptibles a inundarse fue hallada para cada trimestre del 2015, año durante el cual el SPEI registró condiciones extremadamente húmedas y muy húmedas (Tabla 6.1). Los resultados indicaron que la extensión superficial de cada clase de susceptibilidad no presentó grandes variaciones trimestrales (Figura 6.9). En total, 1498,5 km<sup>2</sup> del área de estudio poseen características físicas que favorecen el anegamiento del terreno durante los últimos tres trimestres del 2015.

La máxima extensión de las subzonas con susceptibilidades media y alta fue estimada para el 2° (44,8 % del área de estudio) y 3er trimestres (44,7 %). En el segundo, tercer y cuarto trimestres, las subzonas con susceptibilidad media y alta ocuparon mayores extensiones superficiales. En promedio, la subzona categorizada con alta susceptibilidad fue ~1,7% (56,6 km<sup>2</sup>), mientras para la susceptibilidad media fue ~43,1 % (1441,9 km<sup>2</sup>). En cambio, durante el primer trimestre de 2015 fue hallada la mínima extensión de subzonas de alta y mediana susceptibilidad.

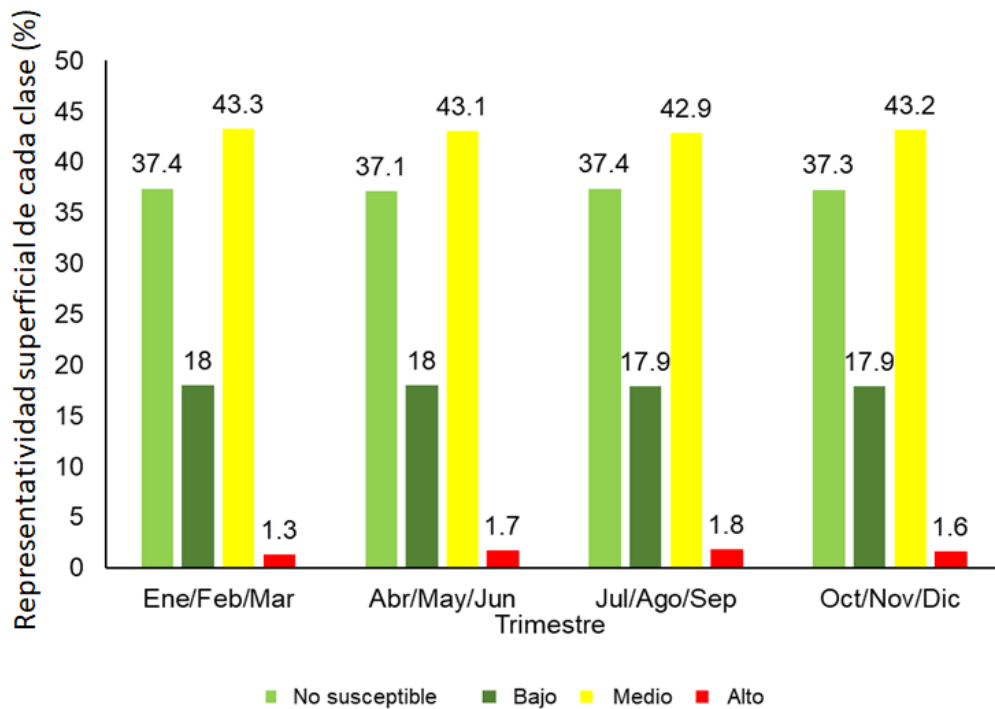


Figura 6.9. Representatividad areal (%) trimestral de cada clase de susceptibilidad.

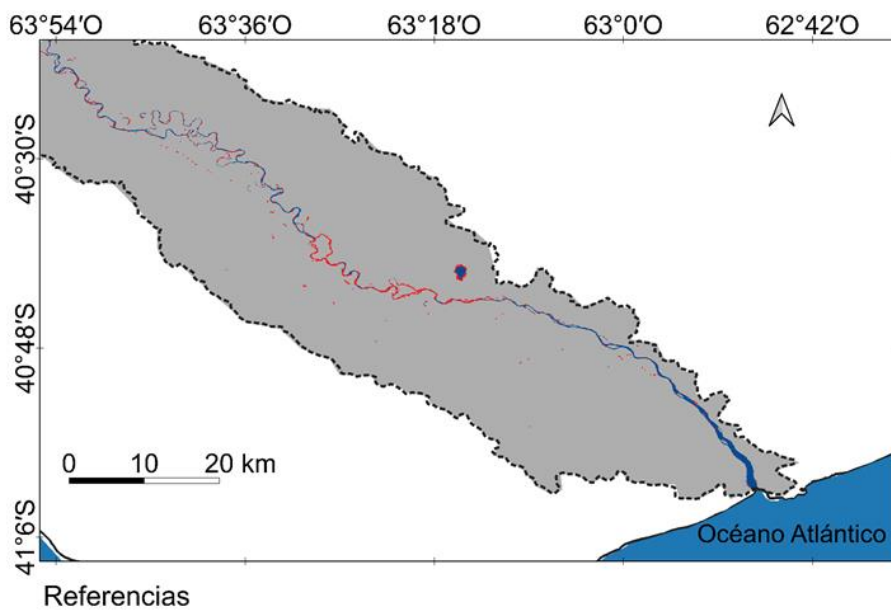


Figura 6.10. Expansión de la máxima extensión de la cubierta de agua (MECA) registrada durante el segundo semestre del 2015.

Las mayores diferencias espaciales en cuanto a zonas susceptibles a inundarse fueron observadas entre el primer trimestre (menor expansión de zonas susceptibles a

inundarse) y segundo (mayor expansión de zonas susceptibles a inundarse) (Figura 6.9). La expansión de áreas con niveles medios y altos de susceptibilidad estuvo dada por la expansión de lagunas, activación de paleocauces y ramificaciones del RN (ver zonas en color rojo en la Figura 6.10). En cambio, durante el primer trimestre, la reducción de estos cuerpos de agua favoreció una menor extensión de zonas susceptibles a inundarse.

#### **6.4. Discusión de resultados**

Actualmente los estudios referidos a la susceptibilidad ante inundaciones y los factores que los incentivan se han convertido en pilares del manejo territorial (Madruga de Brito et al., 2018). En el caso de zonas susceptibles a inundaciones, la realización de este tipo de trabajos a partir de la delimitación de la zona de afectación de inundaciones permite a los tomadores de decisión mantener una supervisión adecuada sobre sectores sensibles a estas amenazas (Montecelos Zamora et al., 2010). Además, la obtención de mapas de susceptibilidad contribuye a la implementación de medidas adecuadas de mitigación de daños y de planeamiento urbano (Olivera et al., 2001).

Consecuentemente en muchas investigaciones se han cartografiado las zonas de afectación de inundaciones (Igarza Sánchez, 2019; Bohn y Piccolo, 2019). Para ello, las características del medio natural son tomadas en consideración para zonificar cuáles son los sectores que son más propensos a la ocurrencia de desastre (Bohn y Piccolo, 2018; Villamizar et al., 2019; Melo Cuellar y Pinzón, 2020; Vergara Noriega, 2020). La susceptibilidad reportada en zonas aledañas a cursos y cuerpos de agua se debe a bajos relieves cuyas pendientes no superan el 1% y suelos con escaso nivel de drenaje (Montecelos Zamora et al., 2010; Olivera Acosta et al., 2011).

Teniendo en cuenta sus características físico – geográficas, el sector litoral de la cuenca hidrográfica presentó una vulnerabilidad media y alta ante el aumento del nivel del mar (Kokot et al., 2004). Las resoluciones del Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (2012) fijaron las líneas de ribera, evacuación y la franja de evacuación de las crecidas (Anexo B). Si bien, actualmente se dispone de estas resoluciones, se debe considerar que la resolución espacial de este recurso podría presentar ciertas limitaciones para llevar a cabo estudios de susceptibilidad con una alta escala espacial. García Bu Bucogen et al. (2021) demostraron que el 46,7% del área perteneciente al valle inferior del RN (desde la desembocadura del río en el océano Atlántico hasta Primera Angostura) mostró una susceptibilidad media - alta ante inundaciones (. En ese

caso, la delimitación de la cuenca hidrográfica correspondió a la propuesta por SSRH-INA (2002).

Los resultados del presente capítulo de tesis mostraron que el 44,7% de la chiRN tiene susceptibilidad media y alta ante inundaciones (Figura 6.6). El valor obtenido fue similar al presentado por García Bu Bucogen et al. (2021) para el sector perteneciente al Valle inferior del RN y la variación del porcentaje del área categorizada con susceptibilidad media y alta fue resultado de las diferencias entre criterios de delimitación empleados en ambos trabajos. En ambas investigaciones, las características del terreno que incentivaron la producción de inundaciones fueron pendientes topográficas inferiores al 1% (Figura 6.4c), presencia de suelos con problema de drenaje (Figura 6.4b) y bajos relieves (Figura 6.4f).

La validación de los resultados obtenidos a través de métodos basados en indicadores ha sido exitosa en muchas ocasiones (Montecelos Zamora et al. 2010; García et al. 2021). En este sentido, la delimitación de la cuenca hidrográfica del río Guanabo (La Habana, Cuba) realizada con la aplicación de una evaluación multicriterio por Olivera Acosta et al. (2011) fue correcta tras comparar el límite histórico de inundación con sus resultados. Montecelos Zamora et al. (2010) y Carrascal et al. (2018) compararon sus mapas de anegamiento del terreno con estudios anteriores, recorridos de campo y entrevistas a los pobladores de la zona.

Los resultados del presente estudio demostraron que la metodología usada captura un contexto de condiciones húmedas excepcionales en la región. A través del cálculo de la máxima extensión de agua utilizando el NDWI y la aplicación de la evaluación multicriterio basada en las características del terreno, fue posible delimitar exitosamente el área de afectación de inundaciones. Además, el método usado permitió una subzonificación basada en las respuestas del suelo y los sistemas hídricos frente a excesos de precipitación prolongados, aspecto que incide en la capacidad de absorción del suelo y la susceptibilidad a inundaciones en etapas subsiguientes.

Los análisis revelaron una concordancia espacial significativa entre las áreas propensas a inundaciones en la chiRN y las identificadas por Dottori et al. (2016), como se observa en la Figura 6.7. De igual manera, se constató que los reportes de inundaciones documentados en la Tabla 5.1 (consultar Capítulo 5) se localizaron en zonas categorizadas con niveles de susceptibilidad media y alta. Este hallazgo resalta la eficacia de la metodología aplicada en identificar áreas con mayor propensión a inundaciones y proporciona un enfoque sólido para futuros análisis de vulnerabilidad y planificación de mitigación.

Desde abril hasta diciembre del 2015, año durante el cual los valores del SPEI indicaron condiciones excepcionalmente húmedas, fue observada la expansión de las

zonas categorizadas con niveles medios y altos de susceptibilidad (Figura 6.9). Este fenómeno fue asociado a la aparición y/o ampliación de lagunas, activación de paliocauces y ramificaciones del RN durante esta temporada (Figura 6.10). En cambio, desde enero hasta marzo, el tamaño de estos cuerpos de agua disminuye y por ello la susceptibilidad del área de estudio.

## **6.5. Conclusiones**

Si bien, las inundaciones en la chiRN son fenómenos recurrentes, actualmente la zona no dispone de una subzonificación adecuada acorde a su susceptibilidad ante estos fenómenos. Por ello, el principal aporte del presente capítulo radicó en delimitar (desde la desembocadura del RN hasta la localidad de Segunda Angostura (SSRH, 2010) la zona de afectación de inundaciones. En este caso, los resultados obtenidos son útiles y aptos para ser empleados por entidades gubernamentales para delinear políticas públicas y de ordenamiento territorial en el área de estudio.

El uso de una evaluación multicriterio basada en la superposición de diferentes características del terreno con datos de organismos oficiales permitió subzonificar la chiRN ante la ocurrencia de desbordes fluviales. El 44,7 % del área de estudio presentó niveles medio y alto de susceptibilidad ante inundaciones. El análisis espacial realizado en la zona de estudio permitió comprender la influencia de los rasgos físicos, así como también los efectos de la acción de la sociedad frente a la ocurrencia de inundaciones. La ponderación de las variables delimitó que las características físico-geográficas que posibilitan el avance de las aguas hacia el continente durante una crecida fluvial son las pendientes del terreno que no superan el 1% (relieve llano) y la presencia de suelos de escaso drenaje.

La eficacia de la evaluación multicriterio sobre la base de la jerarquización de variables físico – geográficas fue buena dado que la comparación con datos relativos a eventos de inundación específicos del área de estudio y mapas publicados internacionalmente coincidieron con el mapa de susceptibilidad. Además, se estableció que la amenaza de ocurrencia de inundaciones es mayor entre los meses de abril a diciembre. Los factores que promueven este fenómeno son la mayor extensión superficial de pequeñas lagunas, cursos de agua y activación de paleocauces presentes en el área. La situación antes descrita cesa entre enero y marzo.



## CAPÍTULO 7

### VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIONES

#### 7.1. Introducción

La vulnerabilidad es un concepto central en los estudios sobre cómo los eventos extremos afectan a la sociedad (Cardona, 1993; Cardona, 2001; Blaikie et al., 1996; Barrenechea et al., 2000; Natenzon y González, 2010; Cardona et al., 2012). En este sentido, se entiende que la vulnerabilidad es una construcción social que condiciona los desastres (Cardoso, 2019). Por lo tanto, el análisis de su distribución espacial complementa los estudios sobre la amenaza, que se enfocan en las causas del peligro, sus características, predicción y cuantificación.

La vulnerabilidad no es estática, evoluciona en el tiempo, es socialmente acumulativa y desigual (Balica et al., 2009; Divakar y Pande, 2014; Koks et al., 2015; Beevers et al., 2016; Cajigal Molina y Maldonado-González, 2019). La respuesta de la sociedad, o de una parte de la misma, ante la ocurrencia de un evento adverso, varía en dependencia de las condiciones socioeconómicas de los grupos que la integran (Proag, 2014). La vulnerabilidad es directamente proporcional al contexto socioeconómico previo al paso de un evento extremo (Barrenechea, 2000; Delmónico et al., 2018). La consecuencia directa de la articulación negativa entre amenaza y vulnerabilidad es la ocurrencia de un desastre (Cáceres, 2019).

Las diferentes dimensiones que se relacionan entre sí en el concepto de vulnerabilidad son: social, física, económica, ambiental, institucional, cultural, y política (Renda et al., 2017). La probabilidad de ocurrencia de un desastre aumenta en regiones donde un alto porcentaje de la población posee bajos niveles de escolarización y elevadas tasas de pobreza y desempleo (Renda et al., 2017; Cáceres, 2019). Las zonas con bajo acceso a servicios públicos y viviendas edificadas con materiales inadecuados son sensibles ante un evento extremo.

Las inundaciones generan daños tanto de orden social como económico, especialmente en la población de menos recursos (Benjamín, 2008; Hernández Uribe et al., 2017). La vulnerabilidad ante estos eventos se define como el grado de susceptibilidad del sistema debido a su exposición y perturbación (Olín Fabela, 2017). La incapacidad para hacer frente, recuperarse o adaptarse contribuye al nivel de gravedad e impide una respuesta efectiva ante la amenaza (Anderson y Woodrow, 1989;

Balica et al., 2009). Según Renda et al. (2017), el análisis de vulnerabilidad considera, primordialmente, dos líneas de estudio:

- Física: asociada al grado de susceptibilidad de la ubicación de los asentamientos humanos, deficiencias en infraestructura, ingresos y tecnologías.
- Social: vinculada a las condiciones de vida generales de una comunidad e incluye aspectos relacionados al nivel de escolarización, acceso a la salud, equidad social, edades, seguridad, etc.

A nivel internacional, numerosos trabajos han destacado la importancia de delimitar sectores sociales vulnerables a la ocurrencia de inundaciones (Szewrański et al., 2018; Kirby et al., 2019, Tascón González et al., 2020; Mason et al., 2021; Bucherie et al., 2022). Ante la ocurrencia de crecidas fluviales, los residentes de casas móviles y minorías raciales son los sectores socialmente vulnerables en EE.UU (Tate et al., 2021).

En diferentes ciudades de Argentina se han realizado estudios que se enfocan en la evaluación de la vulnerabilidad (Arteaga y San Juan, 2012; Andrade, 2013; Bello et al., 2018; Herrero et al., 2018; Rotger et al., 2018; Sandon, 2019; Maya, 2020; Principi, 2020). En Mar del Plata, se encontró que altos niveles de vulnerabilidad socio-ambiental ante inundaciones están relacionados con deficiencias en la red sanitaria (distancia a los centros de salud, ausencia de red cloacal y agua potable), bajo nivel educativo y convivencia de la población con actividades que generan conflictos ambientales (disposición de residuos, actividades industriales, minería y agricultura intensiva) (Daga et al., 2015).

La falta de conocimiento sobre las características físico-geográficas, necesidades básicas insatisfechas (NBI), alta densidad poblacional e inaccesibilidad a infraestructuras y equipamientos urbanos genera situaciones de vulnerabilidad para los habitantes de la región metropolitana de Gran Buenos Aires ante la crecida del río de La Plata y sus tributarios (Rotger et al., 2018). En la ciudad de Santa Fe, un estudio sobre las condiciones socioeconómicas reveló que el 22% de su población es vulnerable a la ocurrencia de inundaciones (Cardoso, 2019). Por otro lado, el crecimiento urbano desigual de Bahía Blanca ha generado grandes contrastes entre el centro y los sectores periféricos (Mastrandrea y Ángeles, 2020). La ciudad presenta un nivel moderado de vulnerabilidad ante inundaciones, los sectores más vulnerables se encuentran en el nordeste, oeste y sur de la ciudad. En cambio, los habitantes de Coronel Suárez, en la provincia de Buenos Aires, no se perciben como una comunidad vulnerable ante la producción de inundaciones, aunque lamentablemente es posible que ocurran estos fenómenos (Moretto y Gentili, 2021).

Durante la década de 1970, la construcción de represas en las cuencas hidrográficas de los ríos Limay Neuquén (tributarios del río Negro) generó una sensación de confianza que incentivó la creación y/o ampliación de asentamientos productivos y urbanos en zonas históricamente susceptibles a inundaciones (Brailovsky, 2012; Ambrosio y Suárez, 2016). La demografía regional también se vio influenciada por el proyecto de traslado de la Capital Federal a la Comarca Viedma-Carmen de Patagones durante el gobierno del presidente Raúl Alfonsín, conocido como Proyecto Patagonia en el año 1986 (Ley N° 23.512 del año 1986) (<https://www.diputados.gov.ar/proyectos/proyecto.jsp?exp=0989-D-2019>). La puesta en marcha del proyecto y la creación del ente para la Construcción de la Nueva Capital (ENTECAP) atrajo a gran cantidad de personas en busca de trabajo y nuevas oportunidades (Alonso et al., 2018). A pesar de la planificación de muchas obras de infraestructura y equipamiento, tras la disolución del ENTECAP en 1990 (Decreto 1429/1990) (<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-1429-1990-3890>) y el fracaso del proyecto, las construcciones planificadas no fueron llevadas a cabo. Esto tuvo como consecuencia el aumento de la desocupación y la precariedad en la población.

Hasta este momento se han evaluado distintos indicadores de vulnerabilidad en la chiRN. Un estudio demostró que la población de Viedma, ubicada en la provincia de Río Negro, es socialmente vulnerable debido a un deficiente planeamiento urbano (Alonso et al., 2010). A pesar de que la tasa de analfabetismo ha disminuido significativamente en los últimos años, el desempleo sigue siendo un problema (DGEyFPE, 2019; Osorio, 2019). A pesar de estas deficiencias, la calidad de vida en el área de estudio es buena en comparación con otras zonas del país (Velázquez et al., 2010).

En la actualidad, la ocupación de tierras en áreas cercanas a la comarca Viedma-Carmen de Patagones es un problema significativo (Diario Río Negro, 2020). Este tipo de ocupación puede ser tanto privada como clandestina (AIC, 2020). En el primer caso, se trata de instituciones privadas que buscan construir viviendas sin considerar los peligros asociados. En el segundo caso, debido al alto costo de la tierra y las viviendas, las personas de bajos recursos económicos construyen viviendas precarias sin autorización en zonas propensas a inundaciones. Este asentamiento informal de la población en áreas de alta susceptibilidad resulta en condiciones sociales de extrema vulnerabilidad (Pizarro, 2001). Por ello, el objetivo de este capítulo es determinar las zonas de mayor vulnerabilidad a las inundaciones en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro. Se ha establecido que los sectores más vulnerables son aquellos que

presentan condiciones socioeconómicas limitadas previas al desastre (Barrenechea et al., 2000; Renda et al., 2017; Delmónico et al., 2018).

## 7.2. Método de trabajo

La vulnerabilidad fue evaluada de forma cuantitativa, en función de indicadores físicos, materiales, sociales y organizacionales propuestos por Renda et al. (2017). Los datos relativos a la demografía, infraestructura de servicios públicos, calidad de materiales constructivos de las viviendas, hacinamiento poblacional y población con cobertura médica prepaga (obra social) y analfabetismo fueron obtenidos a partir de datos censales del INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) correspondientes al 2010. La representación de los resultados fue realizada sobre la base de datos del Censo de 2010 debido a que no han sido publicados indicadores socio-económicos (porcentaje de población con necesidades básicas insatisfechas (NBI), estado constructivo de las viviendas, hacinamiento, desempleo, etc) necesarios para realizar estudios de vulnerabilidad.

La población de la chiRN se encuentra distribuida en cuatro localidades: Loteo Costa del Río, El Juncal, San Javier, Guardia Mitre, y en el conglomerado urbano de Viedma - Carmen de Patagones. Dicha distribución espacial de la población requiere que los estudios se realicen a nivel de radio censal. Sin embargo, los datos demográficos publicados por el INDEC (2022) son a nivel departamental, partido o comuna, lo que resulta inadecuado para un área geográfica relativamente pequeña con una población concentrada en lugares específicos. Además, para la determinación de la vulnerabilidad, es esencial contar con datos clave como la población con necesidades básicas insatisfechas (NBI), el porcentaje de viviendas en mal estado constructivo, la presencia de hacinamiento y el nivel de desempleo. Lamentablemente, estos datos no están disponibles en la actualidad. Por lo tanto, en espera de la publicación oficial de los datos finales del Censo 2022 (INDEC, 2022), se consideran las condiciones socioeconómicas del año 2010 como actuales para la realización de la cartografía de la vulnerabilidad.

El mapa de vulnerabilidad (MV) fue elaborado sobre la base de información provista por el INDEC (2010) y compilada por AEROTERRA (2022): (<https://datosabiertos.aeroterra.com/datasets/522d13c4da4e4c91aa8a1529f9cafc44/ab>), mientras el acceso a calles y rutas asfaltadas fue provisto por el Portal de Transporte del IGN (2022): <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>.

La unidad de análisis empleada en el presente trabajo es el radio censal, excepto para los datos de alfabetización cuya resolución fue a nivel departamental/municipal. El índice de necesidades básicas insatisfechas (NBI) fue considerado para la realización de la cartografía de sectores vulnerables ante la ocurrencia de inundaciones. El índice permite la delimitación de grupos de pobreza estructural y enfoca la pobreza como el resultado de un cúmulo de privaciones materiales esenciales (INDEC, 2013). El INDEC considera hogares con NBI aquellos que presenten al menos uno de los cinco indicadores de privación.:

1. Vivienda inconvenientes: habitaciones de inquilinato, hotel o pensión, no destinadas a fines habitacionales.
2. Condiciones sanitarias precarias: hogares que no tienen retrete o lo tienen pero sin descarga de agua.
3. Hacinamiento: relación entre la cantidad total de miembros del hogar y la cantidad de habitaciones de uso exclusivo del hogar. Se considera hacinamiento crítico cuando hay más de tres personas por cuarto.
4. Inasistencia escolar: hogares con niños en edad escolar que no asisten a la escuela.
5. Desocupación: hogares que tienen cuatro o más personas por miembro ocupado.

Adicionalmente, sobre la base de los criterios planteados por Renda et al. (2017), fueron considerados otros indicadores de vulnerabilidad cuya información se encuentra resumida en la Tabla 7.1. La clasificación de los indicadores fue realizada en base a valores de 0 y 1, donde 0 representa condiciones no vulnerables y el 1 características de alta vulnerabilidad. En el caso del análisis de vulnerabilidad acorde a la accesibilidad a la red vial fueron empleados criterios propuestos por Daga et al. (2015).

Con el objetivo de obtener el MV ante la ocurrencia de inundaciones fue realizado un álgebra de mapas para los diferentes criterios anteriormente expuestos en la Tabla 7.1. La herramienta de procesamiento fue el SIG QGIS (QGIS.org), de acceso libre y código abierto. Los criterios empleados para la subzonificación del nivel de vulnerabilidad fueron los publicados por Delménico et al. (2018) (Tabla 7.2), cuya clasificación establece que, áreas no vulnerables son aquellas donde solo un indicador es alto, en cambio sectores con al menos dos, cuatro y cinco indicadores son clasificados como de vulnerabilidad baja, media y alta, respectivamente.

Tipo de vulnerabilidad	Tema	Indicador	Importancia	Unidad de análisis	Categorización	Fuente
Física (exposición)	Demografía	Concentración poblacional	El aislamiento o hacinamiento de la población condiciona el nivel de afectación de una amenaza	Radio censal	0: sectores medianamente poblados. 1: sectores densamente poblados y zonas de población dispersa .	INDEC (2010)
	Red de transporte	Acceso a la red vial	Incapacidad de movilidad de la población.	Departamento/municipio	0: distancia a la red vial inferior a 300 m. 1: distancia a la red vial mayor a 300 m.	Portal Transporte IGN (2022)
	Infraestructura de servicios públicos	Existencia de red cloacal, agua corriente, electricidad y gas.	Inaccesibilidad o deficiencia en el acceso a servicios básicos.	Radio censal	0: alta accesibilidad de viviendas a los servicios públicos (< 50% del total) 1: alto porcentaje de hogares con inaccesibilidad o deficiencia en el acceso a servicios públicos (< 50% del total)	INDEC (2010)
	Vivienda	Calidad de materiales.	Condiciones constructivas precarias favorecen la susceptibilidad de las viviendas ante la ocurrencia	Radio censal	0: limitado número de viviendas con fallencias constructivas (< 50 % del total)	INDEC (2010)

		de una amenaza.		1: alto número de viviendas con falencias constructivas (> 50 % del total)	
Social	Población	Estructura de la población	Radio censal	<p>La población menor de 14 años y mayor a 65 años es socialmente más vulnerable a inundaciones debido a situaciones de dependencia y dificultades para acceder a servicios esenciales como atención médica, alimentos y agua, durante y después de eventos de inundación.</p> <p>0: alto porcentaje de la población con edades entre 14 años &lt;= edad &lt;= 65 años (&gt; 30 % del total). 1: alto porcentaje de la población con edades &lt;=14 años y &gt;= 65 años (&lt; 30 % del total)</p>	INDEC (2010)
	Pobreza	Población en hogares con hacinamiento crítico.	Radio censal	<p>El nivel de hacinamiento representa una condición de fragilidad y brinda información valiosa al realizar evacuaciones.</p> <p>0: bajo porcentaje de hogares con hacinamiento crítico (&lt; 50 % del total) 1: alto porcentaje de hogares con hacinamiento</p>	INDEC (2010)

				crítico (> 50 % del total)	
Salud	Porcentaje de población que no posee obra social o plan médico.	La población que no posee cobertura médica	Radio censal	0: bajo porcentaje de la población sin obra social (< 50 % del total).	INDEC (2010)
		presenta una mayor exposición al padecimiento de enfermedades frente a la ocurrencia de amenazas.		1: alto porcentaje de la población sin obra social (> 50 % del total)	
Educación	Nivel de alfabetización (Porcentaje de la población mayor a 10 años que no sabe leer o escribir)	Altos niveles de analfabetismo implican la falta de oportunidades.	Departamento/ Municipio	0: bajas tasas de analfabetismo en la población (< 50 % del total)	INDEC (2010)
		Estas limitaciones conducen a dificultades laborales, económicas y de acceso a una vivienda digna.		1: altas tasas de analfabetismo en la población (> 50 % del total)	

Tabla 7.1. Indicadores empleados para calcular la vulnerabilidad sobre la base de criterios publicados por Renda et al. (2017). Elaborado sobre la base de los datos proporcionados por INDEC (2010) y el Portal Transporte IGN (2022).



<b>Categoría</b>	<b>Criterio de clasificación</b>
Alta	Al menos cinco indicadores son altos.
Media	Cuatro indicadores son altos.
Baja	Dos indicadores son altos.
No vulnerable	Cuando solo un indicador es alto.

Tabla 7.2. Criterios empleados para calcular el grado de vulnerabilidad. Elaboración sobre la base de los criterios empleados por Delménico et al. (2018).

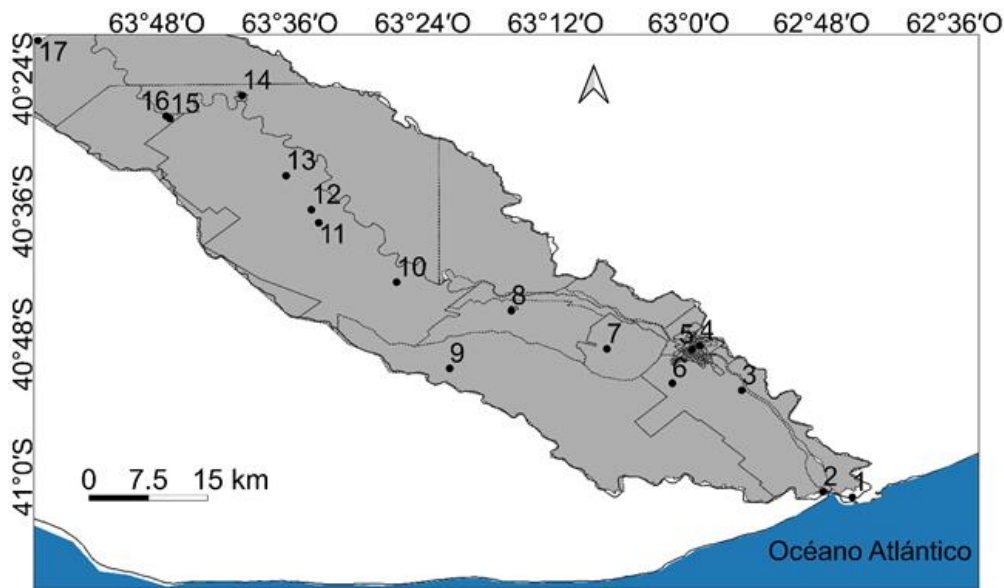
La unidad de análisis en la que se visualizaron los resultados del MV fue de radio censal. Como estudio complementario de la vulnerabilidad fueron localizadas aquellas localidades y parajes ubicados en zonas de alta vulnerabilidad ante inundaciones. Esto fue realizado sobre la base de información obtenida del INDEC (2010) y compilada por la Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina (BAHRA) (BAHRA, 2023) (<http://www.bahra.gob.ar>).

### **7.3. Resultados**

#### **7.3.1. Observaciones preliminares. Datos del INDEC (2010)**

En total fueron analizados 119 radios censales correspondientes al Censo de 2010 del INDEC (Figura 7.1). Estos correspondieron a los municipios de Adolfo Alsina, General Conesa (ambos localizados en la provincia de Río Negro) y al departamento de Carmen de Patagones (provincia de Buenos Aires). Un total de 77.910 habitantes poblaban el área de estudio según datos del Censo de 2010 (INDEC, 2010).

Las localidades fueron identificadas como zonas caracterizadas por la continuidad de áreas edificadas y no edificadas conectadas entre sí por una red de calles donde se concentra población (INDEC, 2010). En el área de estudio fueron ubicadas las localidades de: Loteo Costa de Río (665 habitantes), El Juncal (83 habitantes), San Javier (530 habitantes), Guardia Mitre (856 habitates); además de las ciudades de Viedma y Carmen de Patagones (73322 habitantes) (ver Tabla 1.1 en Capítulo 1) (Figura 7.1). Los parajes se identifican como áreas rurales cuyos límites usualmente no se encuentran definidos y la población habita de forma permanente o temporaria. Los parajes ubicados en el área de estudio fueron: Villa 7 de marzo, La Boca, El Paso, General Nicolás H. Palacios, Zanjón de Oyuela, Cubanea, La Matilde, Monte Bagual, Sauce Chico.



#### Referencias

- Localidades y parajes (INDEC, 2010)

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| 1. Villa 7 de marzo (paraje)            | 10. Zanjón de Oyuela (paraje)  |
| 2. La Boca (paraje)                     | 11. Cubanea (paraje)           |
| 3. Loteo Costa de Río (localidad)       | 12. La Matilde (paraje)        |
| 4. Carmen de Patagones (localidad)      | 13. Monte Bagual (paraje)      |
| 5. Viedma (localidad)                   | 14. Guardia Mitre (localidad)  |
| 6. El Paso (paraje)                     | 15. Primera Angostura (paraje) |
| 7. El Juncal (localidad)                | 16. Sauce Chico (paraje)       |
| 8. San Javier (localidad)               | 17. Segunda Angostura (paraje) |
| 9. General Nicolás H. Palacios (paraje) |                                |

□ Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)

□ Delimitación de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Solano, 1947; SSRH, 2010)

▣ Delimitación de los radios censales (INDEC, 2010)

Figura 7.1. Radios censales, localidades y parajes de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro Elaborado sobre la base de datos del INDEC (2010).

#### 7.3.2. Análisis de indicadores asociados a la vulnerabilidad física

La detección de sectores de alta vulnerabilidad física ante la ocurrencia de inundaciones fue realizada sobre la base de los criterios propuestos por Renda et al. (2017) y Daga et al. (2015). Los factores analizados fueron: altas y bajas concentraciones poblacionales, distancia a la red vial, el acceso de hogares a la infraestructura de servicios básicos (electricidad, gas, agua potable, cloaca) y al estado constructivo de las viviendas.

La población censada en 2010 por el INDEC (INDEC, 2010) fue de 77.910 habitantes, mientras que 23.338 hogares fueron cuantificados. Respecto al censo realizado en 2001 (INDEC, 2001), el crecimiento poblacional en la chiRN no fue alto (Ambrosio y Suárez, 2016). La variación intercensal reportada por INDEC (2010) fue del

8,1 % para Carmen de Patagones, 13,8 % en Adolfo Alsina y 12,4 % en Conesa (Figura 7.2).

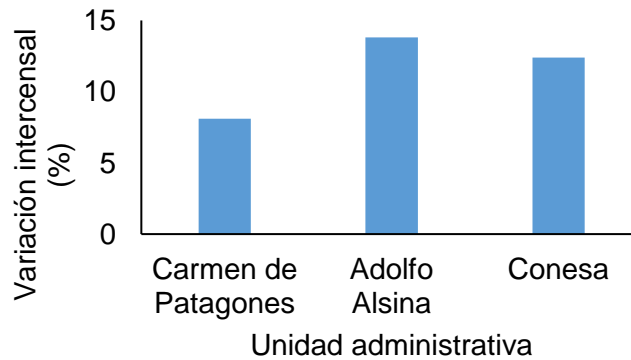
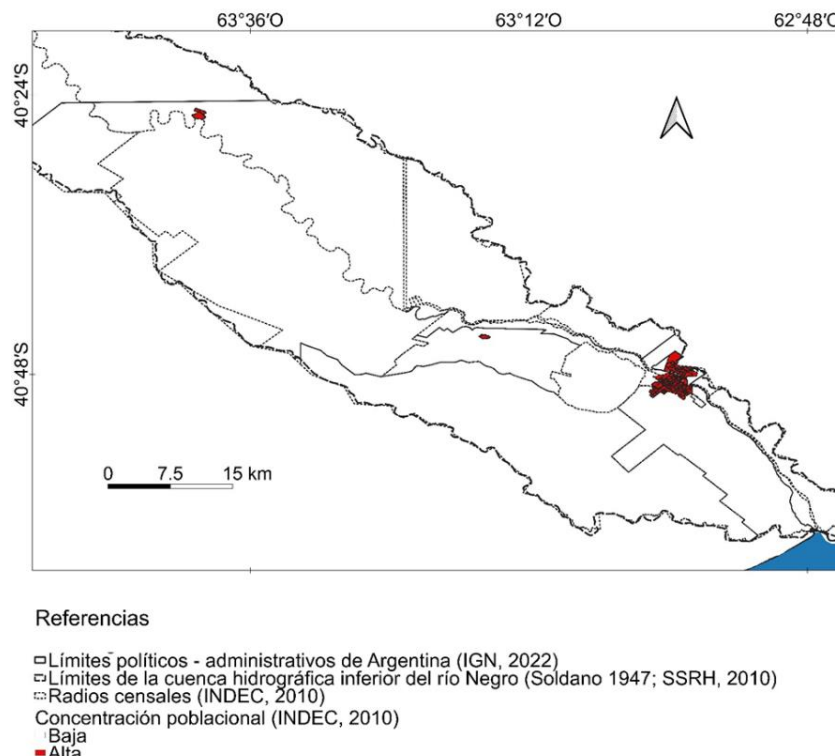
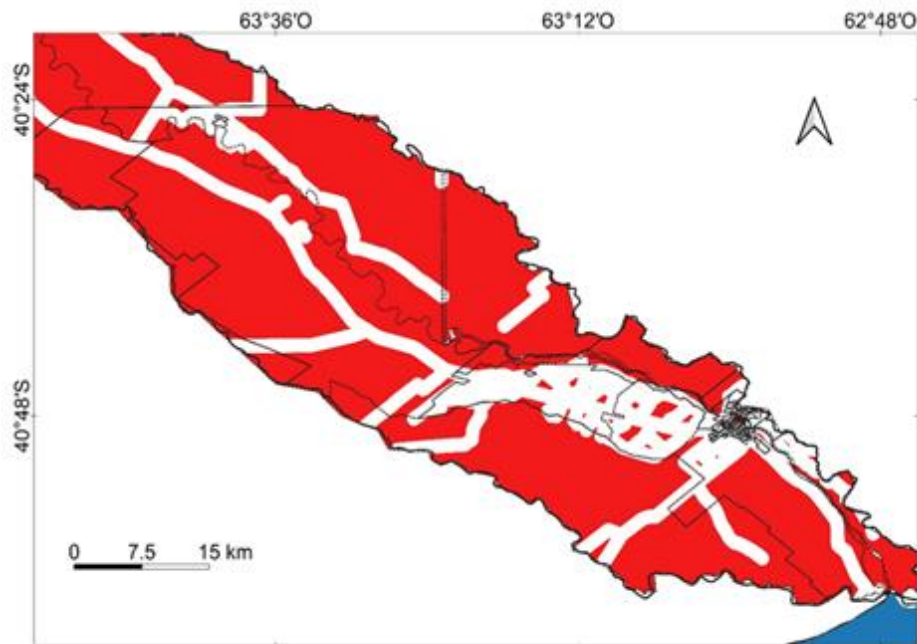


Figura 7.2. Variación de la población entre los Censos de 2001 y 2010 del parámetro de población. Elaboración sobre la base de los datos del INDEC (2001) y (2010).

La concentración poblacional es un factor determinante al realizar estudios de vulnerabilidad física, pues una alta concentración poblacional o el aislamiento elevan el grado de vulnerabilidad de la sociedad ante la ocurrencia de un desastre. En el área de estudio fueron encontrados tres sectores cuyas concentraciones poblacionales fueron relativamente altas: estas correspondieron a la comarca Viedma – Carmen de Patagones, Guardia Mitre y San Javier. En cambio, el indicador para el resto del área de estudio fue bajo (Figura 7.3a).



a)

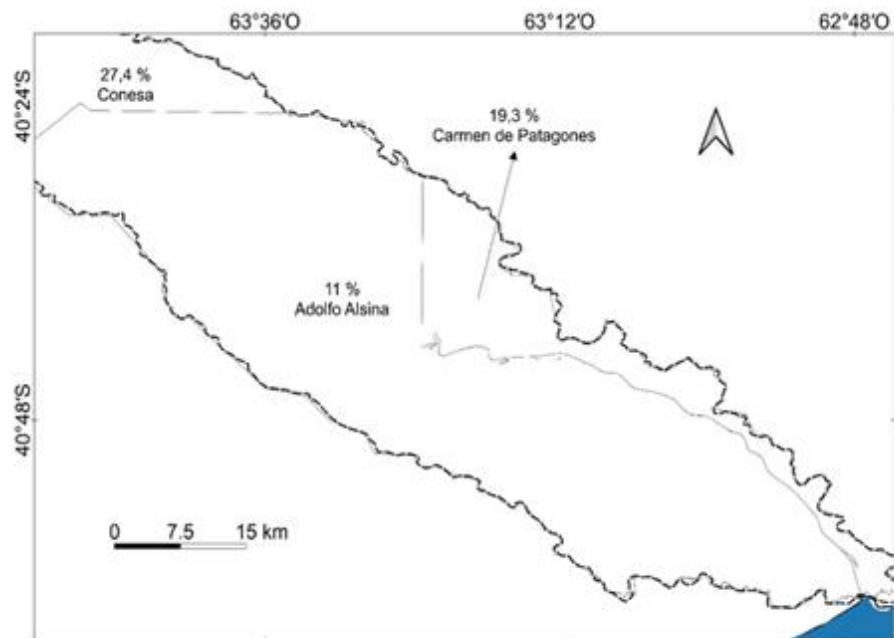


Referencias

- Radios censales (INDEC, 2010)
- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Distancia a la red vial (Portal Transporte IGN, 2022)

- > 300 metros
- < 300 metros

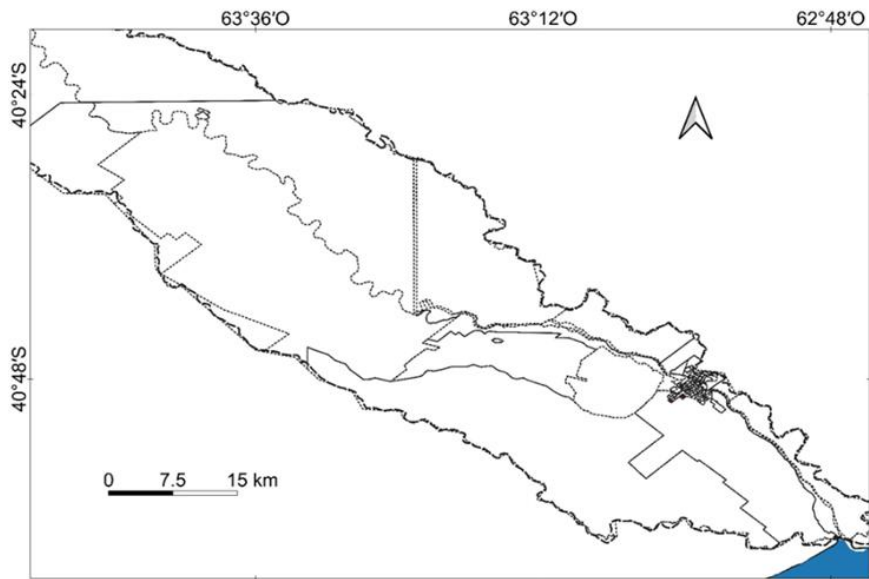
b)



Referencias

- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Porcentaje de hogares sin acceso a las redes de gas y electricidad (INDEC, 2010)

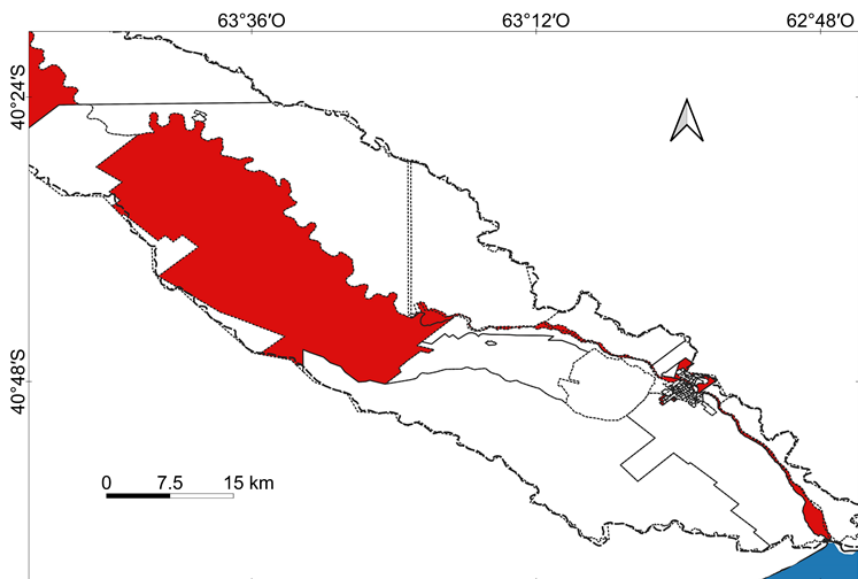
c)



Referencias

- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- ▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- ⊞ Radios censales (INDEC, 2010)
- Porcentaje de hogares construidos con materiales deficientes (INDEC, 2010)
  - Bajo
  - Alto

d)



Referencias

- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- ▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- ⊞ Radios censales (INDEC, 2010)
- Porcentaje de hogares con necesidades básicas insatisfechas (NBI) (INDEC, 2010)
  - Bajo
  - Alto

e)

Figura 7.3. Indicadores físicos usados en la detección de sectores vulnerables: a) concentración poblacional, b) distancia a la red vial, c) porcentaje de hogares con limitado acceso a servicios públicos, d) porcentaje de hogares con deficiencias en la calidad constructiva de las viviendas,

e) porcentaje de hogares con necesidades básicas insatisfechas. Elaboración sobre la base de los datos del INDEC (2010).

Las condiciones de aislamiento en estos casos son agravadas por limitaciones en cuanto al acceso a la red vial y transporte público. La distancia y la falta de rutas asfaltadas trae como consecuencia dificultades en la evacuación durante la ocurrencia de un evento extremo. La chiRN presentó baja conectividad (Figura 7.3b) en las zonas con bajas densidades poblacionales detectadas en la Figura 7.3a.

Las limitaciones en cuanto al acceso a la energía eléctrica y al gas de red condiciona la correcta información y emprendimiento de acciones de recuperación por parte de la población ante la ocurrencia de un evento extremo. Además, la inexistencia de una red de saneamiento (agua potable y cloaca) favorece la aparición de enfermedades. Los resultados encontrados para el área de estudio muestran que la conectividad a los servicios básicos fue buena (Figura 7.3c).

Durante la ocurrencia de un evento extremo, las viviendas sufren afectaciones. La altura del agua, la saturación del suelo, malas prácticas constructivas y los materiales utilizados deficientes condicionan la resistencia de las edificaciones durante el paso de una inundación fluvial. La vulnerabilidad se incrementa cuando a estas construcciones afectadas no se les ofrece un mantenimiento adecuado luego del suceso. El mayor grado de vulnerabilidad fue encontrado en las periferias de la comarca Viedma-Carmen de Patagones (Figura 7.3d).

En relación a la gestión de riesgos, el NBI permite identificar sectores poblacionales frente a los cuales se deben tomar las estrategias de prevención, rehabilitación y reconstrucción más urgentes (Andrade et al., 2013). Para el área de estudio fueron localizados hogares con NBI en los límites de la comarca de Viedma – Carmen de Patagones y S centro del departamento de Adolfo Alsina (Figura 7.3f). En total, 1684 hogares presentaron NBI (7,22 % del total de hogares del área de estudio).

### 7.3.3. Análisis de indicadores asociados a la vulnerabilidad social

Los factores analizados en la delimitación de sectores socialmente vulnerables ante la ocurrencia de inundaciones fueron: la estructura demográfica, el nivel de hacinamiento y el inaccesso a servicios de salud. De acuerdo a la información proporcionada por el Censo 2010, la población infantil (desde 0 hasta 14 años) cuantificada fue de 19.713 habitantes (Figura 7.4), mientras que la cantidad de adultos con edades superiores a los 65 años fue de 7.509. El 34,94 % de los habitantes del área de estudio censados en 2010 se encontraba en un rango etario susceptible a la

ocurrencia de desastres (Figura 7.5a). El mayor número de habitantes menores de 14 años y mayores de 65 años se concentró en la unidad administrativa de Adolfo Alsina y la comarca Viedma-Carmen de Patagones. El indicador también obtuvo altos valores en el sector SO del área de estudio.

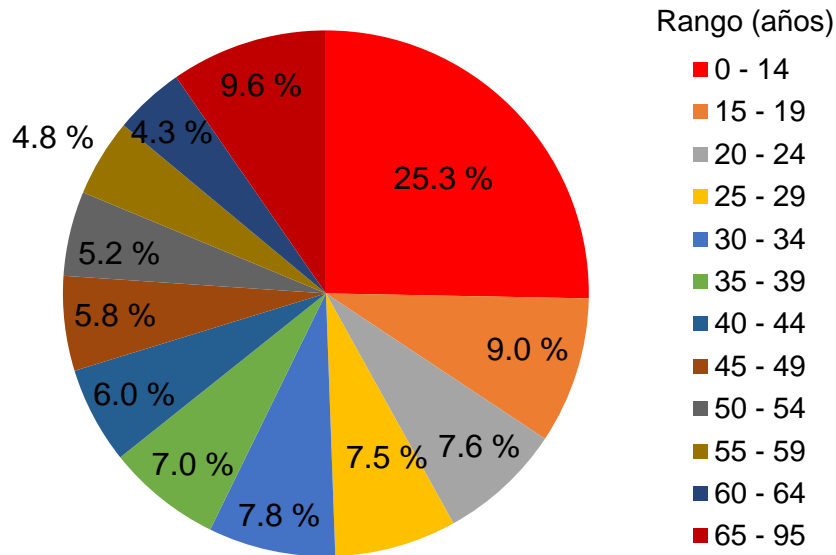
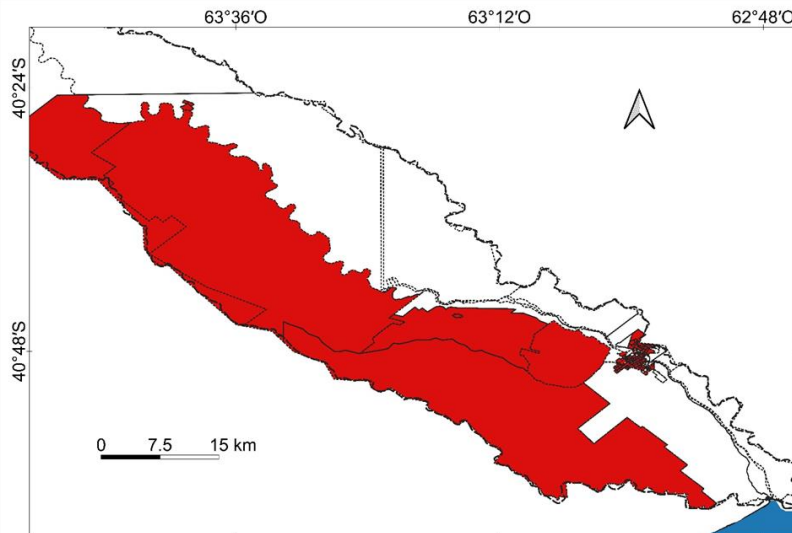


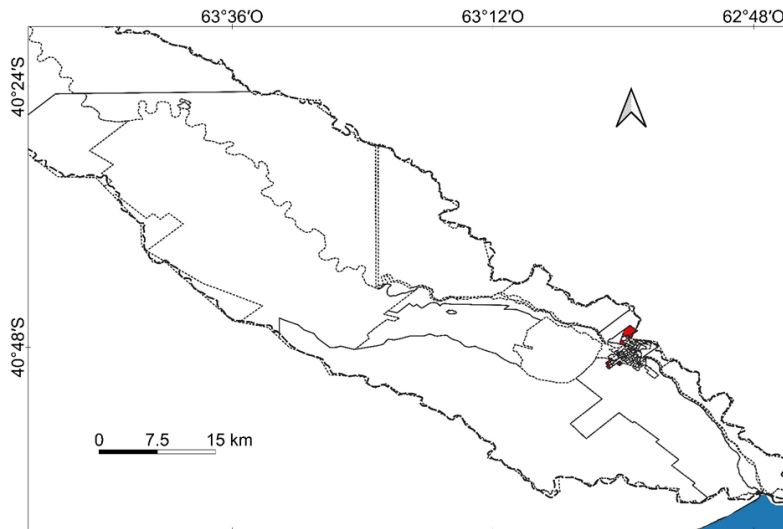
Figura 7.4. Porcentaje de la población según rango de edad. Elaboración sobre la base de los datos del INDEC (2010).



Referencias

- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- ▣ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- ⊞ Radios censales (INDEC, 2010)
- Porcentaje de personas vulnerables acorde a su edad a la ocurrencia de inundaciones (INDEC, 2010)
- Bajo
- Alto

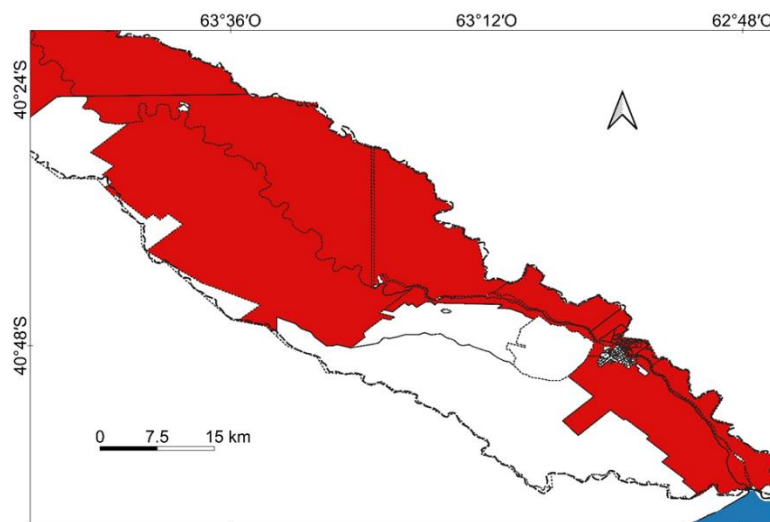
a)



Referencias

- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- ⊞ Radios censales (INDEC, 2010)
- Porcentaje de hogares con hacinamiento moderado y crítico (INDEC, 2010)
- Bajo
- Medio

b)

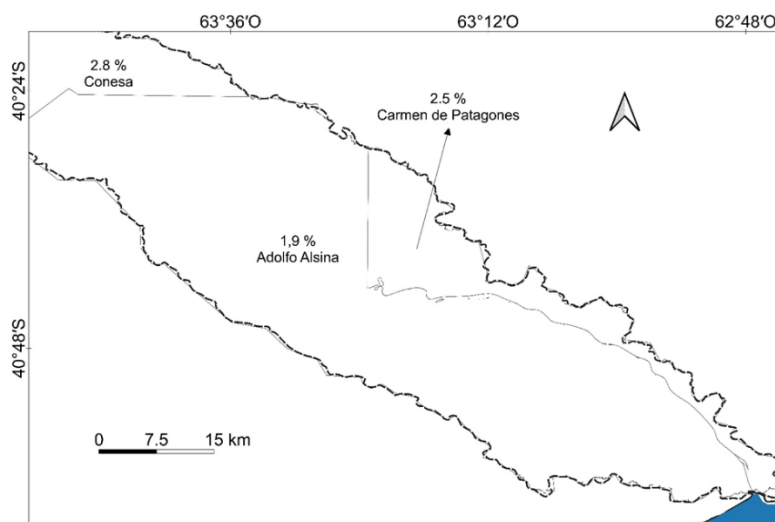


Referencias

- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- ⊞ Radios censales (INDEC, 2010)
- Porcentaje de personas sin cobertura de salud (INDEC, 2010)
- Bajo
- Alto

c)





#### Referencias

- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Porcentaje de personas analfabetas (INDEC, 2010)

d)

Figura 7.5. Indicadores sociales usados en la detección de sectores vulnerables: a) concentración poblacional, b) porcentaje de personas que viven en condiciones de hacinamiento, c) porcentaje de población sin acceso a una obra social, d) Tasa de analfabetismo. Elaboración sobre la base de los datos del INDEC (2010).

Los mayores niveles de hacinamiento fueron reportados en las zonas periféricas de la comarca Viedma-Carmen de Patagones (Figura 7.5b). En el resto del área de estudio el nivel de vulnerabilidad debido al parámetro fue bajo. El número de hogares con hacinamiento crítico fue de 975 (4,18 % del total).

La exposición a enfermedades después de un evento extremo es mayor en la población que carece de una cobertura médica adecuada. Aunque en Argentina el sistema de salud es público, tener una obra social prepagada ofrece más posibilidades para la prevención y tratamiento de las enfermedades. Las obras sociales permiten tratar de manera eficiente los daños físicos y psicológicos después de un desastre. De acuerdo con los datos del Censo 2010, el 34.62 % de los habitantes de la cuenca inferior no tiene obra social. En particular, las zonas de Carmen de Patagones y el sector norte del área de estudio (Figura 7.5c) presentaron una mayor cantidad de habitantes sin obra social.

El analfabetismo implica una baja capacidad de la población de tomar buenas decisiones durante la ocurrencia o en forma posterior a un desastre (Renda, 2017). Ante un bajo nivel escolar, el acceso a la información brindada por la prensa y medios

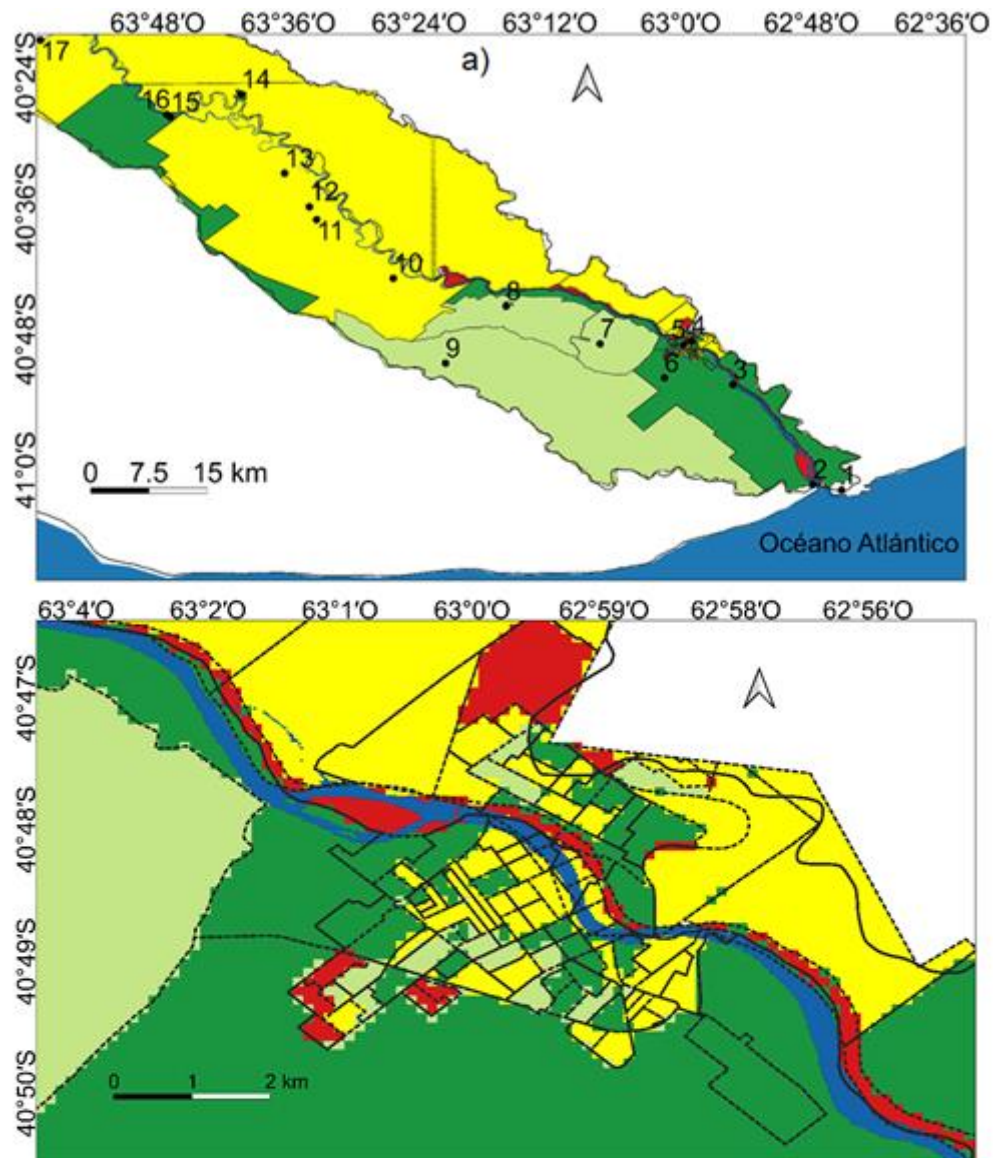
digitales es limitado. En relación a este indicador, la cuenca inferior registra una baja vulnerabilidad (Figura 7.5d).

#### 7.3.4. Mapa de Vulnerabilidad (MV)

En función de los criterios de evaluación planteados por Daga et al. (2015), Renda et al. (2017) y Delmónico et al. (2018) se realizó la zonificación de la chiRN acorde a su vulnerabilidad. La evaluación consideró las condiciones socioeconómicas previas a la ocurrencia de un evento extremo para el entorno socioeconómico de 2010. En este caso, el concepto determinó cuan vulnerable era la población local ante la ocurrencia de la crecida del RN con un nivel de resolución espacial de 122 x 149 m.

La distribución espacial de la vulnerabilidad fue descentralizada (Figura 7.6a). En zonas aledañas a la ribera del RN, la vulnerabilidad fue alta (Figura 7.6b). En las periferias de la comarca Viedma-Carmen de Patagones fueron localizadas zonas de alta vulnerabilidad. La ciudad de Carmen de Patagones presentó un nivel de vulnerabilidad nula y media, mientras en sectores cercanos a la ribera del río tuvo una vulnerabilidad media y alta. En los sectores SO y NO fueron encontrados sectores de medianamente vulnerables.

En el SO y NO del área de estudio se localizaron dos sectores de alta vulnerabilidad (Figura 7.6a). El principal factor que contribuyó a estos resultados fue la desconexión de los asentamientos rurales ante una amenaza (Figura 7.4a). La baja densidad poblacional y las limitaciones en cuanto al acceso al transporte público posibilitaron el incremento de la vulnerabilidad de la población que habita estas zonas (Figura 7.4b).



#### Referencias

##### • Localidades y parajes (INDEC, 2010)

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| 1. Villa 7 de marzo (paraje)            | 10. Zanjón de Oyuela (paraje)  |
| 2. La Boca (paraje)                     | 11. Cubanea (paraje)           |
| 3. Loteo Costa de Río (localidad)       | 12. La Matilde (paraje)        |
| 4. Carmen de Patagones (localidad)      | 13. Monte Bagual (paraje)      |
| 5. Viedma (localidad)                   | 14. Guardia Mitre (localidad)  |
| 6. El Paso (paraje)                     | 15. Primera Angostura (paraje) |
| 7. El Juncal (localidad)                | 16. Sauce Chico (paraje)       |
| 8. San Javier (localidad)               | 17. Segunda Angostura (paraje) |
| 9. General Nicolás H. Palacios (paraje) |                                |

- Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)
  - Delimitación de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Solano, 1947; SSRH, 2010)
  - Delimitación de los radios censales (INDEC, 2010)
  - Cursos y cuerpos de agua permanentes (Portal de Hidrografía y Oceanografía IGN, 2018)
- Nivel de vulnerabilidad asociada a la ocurrencia de inundaciones
- No vulnerable
  - Bajo
  - Medio
  - Alto

Figura 7.6. Mapa de vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones fluviales en el área de estudio: a) cuenca hidrográfica inferior del río Negro, b) comarca Viedma – Carmen de Patagones.

La alta vulnerabilidad reportada en las periferias de la comarca de Viedma – Carmen de Patagones (Figura 7.6b) fue producto de las condiciones socioeconómicas imperantes. En este sentido, un alto porcentaje de población con edades inferiores de 14 años y mayores de 65 años (Figura 6.4a), hacinamiento poblacional (Figura 7.4a), limitaciones en el acceso a la red de transporte urbano (Figura 7.3b), uso de materiales inadecuados en la construcción de viviendas (Figura 7.4d), necesidades básicas insatisfechas (Figura 7.4f) y baja cantidad de personas con obra social (Figura 7.5c) son factores que aumentan la vulnerabilidad ante la ocurrencia de una inundación. En el caso del sector periférico O de Carmen de Patagones, la vulnerabilidad de las viviendas el fue media (Figura 7.5b) debido a un alto hacinamiento (INDEC, 2010).

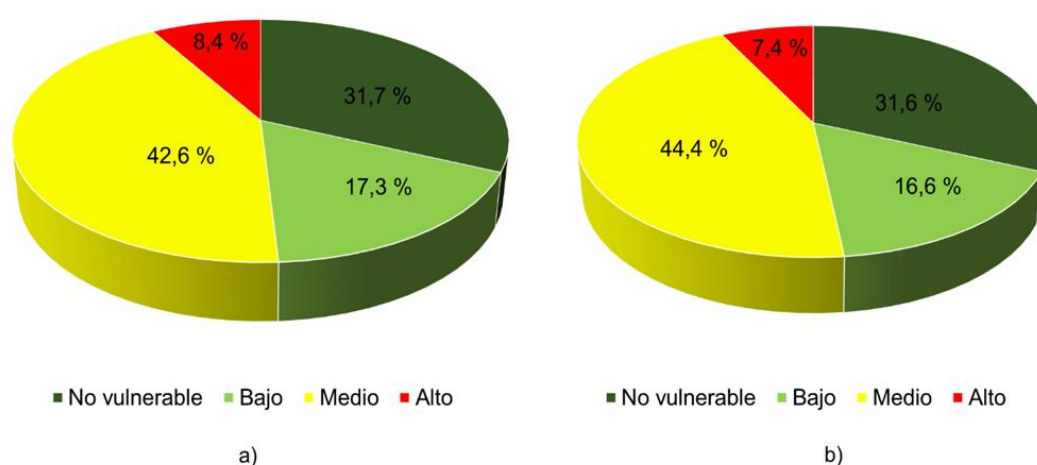


Figura 7.7. Porcentaje de personas y hogares localizados en cada una de los niveles de vulnerabilidad en el área de estudio: a) personas, b) hogares. Elaboración sobre la base de los datos del INDEC (2010).

Los datos del INDEC (2010) mostraron que, el 51,0 % (33.636 habitantes) de la población del área de estudio se encuentra expuesta socialmente a la ocurrencia de un desastre (Figura 7.7a). El 51,8 % (11.163) de hogares localizados en la chiRN presentaron una vulnerabilidad entre media y alta ante la ocurrencia de eventos extremos (Figura 7.7b). El 49,0 % (44.274 habitantes) del total de la población, mientras el 43,2 % de los hogares (13.859) tuvo una vulnerabilidad entre baja y nula.

#### 7.4. Discusión de resultados

Si bien las catástrofes ocurren en todo el planeta, sus efectos difieren según el contexto y realidad territorial implicadas (Herin, 2006). La vulnerabilidad es resultado del patrón de desarrollo vigente y expresa la incapacidad de los grupos más débiles de la sociedad para enfrentar o neutralizar la ocurrencia de desastres (Pizzarro, 2001). La

chiRN sufre el impacto de la ocurrencia de eventos de inundación y anegamiento (Kokot et al., 2004; García et al., 2021). Si bien estos eventos no son altamente destructivos, traen consecuencias económicas y sociales negativas, fundamentalmente para la comarca Viedma - Carmen de Patagones que es la zona más poblada del área de estudio (AIC, 2020).

La Municipalidad de Carmen de Patagones (2019) identificó en la ciudad altos niveles de vulnerabilidad en las áreas periféricas del núcleo urbano. Por otro lado, en el centro de la localidad y en la mayor parte de la margen norte del RN, la vulnerabilidad fue baja y muy baja. En contraste, en las áreas rurales contiguas al núcleo urbano, prevalece una vulnerabilidad de nivel medio.

Los resultados del presente capítulo mostraron que la población más vulnerable se localizó en zonas con baja densidad poblacional tales como áreas aledañas a la ribera del RN y en la periferia de la comarca Viedma – Carmen de Patagones (Figura 7.4a). La vulnerabilidad en este último sector fue dada por una alta concentración poblacional. Otros factores que influyeron fueron hogares con NBI (7.4e), mal estado constructivo de viviendas (7.4d) y escasa cantidad de personas con obra social (Figura 7.5c). En las periferias de la comarca Viedma-Carmen de Patagones, se observaron niveles de vulnerabilidad medio y alto (Figuras 7.6b), lo cual concuerda con los resultados presentados por la Municipalidad de Carmen de Patagones en 2019.

El estudio de las principales necesidades sociales de las comunidades es necesario para determinar la vulnerabilidad de la población ante la ocurrencia de eventos extremos y emprender acciones que contribuyan a mitigar el impacto de estos. Según los datos del INDEC para el primer semestre de 2020, el 43,5% de la población del conglomerado Viedma – Carmen de Patagones fueron categorizados como en situación de pobreza. Esto significó que 6712 hogares y 26.097 habitantes de estas ciudades no cubren sus necesidades básicas (Noticias Rio Negro, 2022). Los problemas sociales usualmente reportados fueron la falta de trabajo, escasez de viviendas y el estado de las calles (Noticiasnet, 2019).

Particularmente, la ocupación informal de las tierras en sectores aledaños a la ribera del RN y zonas susceptibles a anegarse es un gran problema (AIC, 2020). El asentamiento informal de la población en zonas propensas a inundarse revela un problema estructural de la sociedad donde el desempleo en conjunto a un deficiente acceso a la tierra y vivienda generan condiciones sociales de extrema vulnerabilidad (Pizarro, 2001). Si bien la apropiación ilegal del espacio permite a algunos sectores poblacionales el acceso a la ciudad, el resultado directo es la configuración de un espacio donde las condiciones de vida son precarias y los habitantes de estas zonas se hallan expuestos a amenazas naturales y antrópicas (Giaretto, 2009). Un claro ejemplo

de lo anterior ha sucedido en sectores aledaños a Viedma (SE de la chiRN) (Diario Río Negro, 2020).

## **7.5. Conclusiones**

Las circunstancias socioeconómicas previas son claves para anticipar las consecuencias de una inundación. En la chiRN, la población más vulnerable se localizó en el SO y NO del área de estudio, en la ribera del RN y en la periferia de la comarca Viedma - Carmen de Patagones. Los indicadores que contribuyeron a la ampliación de la vulnerabilidad en el conglomerado urbano fueron la alta concentración poblacional, limitaciones en el acceso a servicios básicos, mal estado constructivo de viviendas y baja cantidad de personas con obra social. Mientras, el aislamiento y el difícil acceso al transporte público amplificaron el grado de vulnerabilidad en zonas limítrofes del área de estudio.

El 51 % de la población del área de estudio se encuentra expuesta socialmente a la ocurrencia de un desastre. Viedma fue la localidad socialmente más vulnerable. En cambio, Carmen de Patagones fue clasificada con una vulnerabilidad baja a excepción de sus periferias clasificadas con vulnerabilidad media y alta. La realización de este tipo de estudios es de gran importancia para la chiRN, fundamentalmente para la comarca Viedma – Carmen de Patagones, debido a que es la urbanización más densamente poblada del área de estudio.

El amplio número de personas expuestas socialmente ante la ocurrencia de un evento extremo es el reflejo de una desigualdad en el acceso al trabajo y la vivienda. Particularmente, esta situación es más agravante en el conglomerado urbano de Viedma - Carmen de Patagones. Esta situación ocasiona que aquellos sectores de la población con bajo nivel adquisitivo se apropien de espacios de manera ilegal y se originen asentamientos precarios.

## CAPÍTULO 8

### RIESGO ASOCIADO A LA OCURRENCIA DE INUNDACIONES

#### 8.1. Introducción

El riesgo se define como la probabilidad de que una amenaza produzca daños al incidir sobre una población vulnerable (Ayala-Carcedo, 2000; Ribas y Saurí, 2006, Ríos y Natenzon, 2015; Renda et al., 2017; Zapperi y Olcina 2021). La ocurrencia de un desastre es la consecuencia directa del paso de un evento extremo (amenaza) en un territorio particularmente vulnerable a la misma (Cardoso, 2019). La magnitud del desastre dependerá del grado de vulnerabilidad de la población, así como su capacidad de respuesta y recuperación (Wilches Chaux, 1993; Foschiatti, 2009).

El crecimiento poblacional y el asentamiento en zonas susceptibles a inundarse conllevan que la población quede expuesta a la ocurrencia de desastres (de Mattos, 2010, Koks et al., 2015; Rojas et al., 2017; Zapperi y Olcina 2021). La ineficiencia de políticas económicas y sociales ante crisis económicas, desastres naturales, antrópicos o una combinación de ambos sitúa a la población en una posición de vulnerabilidad frente a ciertos peligros (Cardoso 2019). En este contexto, el análisis de la percepción del riesgo constituye una herramienta fundamental ya que permite encauzar acciones, intervenciones y proyectos orientados a disminuir los niveles de vulnerabilidad de la población (Mastrandrea y Olavarría, 2020; Escamilla Rivera et al., 2020; Moretto y Gentili, 2021).

Las limitaciones y/o desconocimiento de áreas de alto riesgo contribuye a que la cultura de prevención ante una amenaza sea limitada. Numerosos trabajos a nivel internacional delimitaron sectores de alto riesgo ante inundaciones fluviales (Szewrański et al., 2018; Kirby et al., 2019, Tascón-González et al., 2020). Una evaluación del riesgo ante los desbordes del río Dianbao fue realizada por Liu et al., (2021) en la ciudad de Kaohsiung (S de Taiwan). La investigación formulada sobre la base de la susceptibilidad ante inundaciones y los niveles de vulnerabilidad social permitieron delimitar áreas de alto riesgo y proponer a los responsables de la toma de decisiones estrategias de mitigación. En Marrickville (Australia), la propuesta de un índice de vulnerabilidad que combina modelos hidrológicos e hidráulicos de alta resolución con indicadores socioeconómicos, permitió delinear diferentes políticas de adaptación ante la ocurrencia de inundaciones (El-Zein et al., 2021). En este caso, los tomadores de decisión

resaltaron la utilidad potencial del conocimiento generado por la evaluación, especialmente para los servicios de emergencia.

En Argentina se han llevado a cabo estudios que abordan la estimación de la vulnerabilidad y exposición a amenazas. La evaluación de la vulnerabilidad y exposición a la amenaza, considerando factores como la ocurrencia de precipitaciones intensas, la vulnerabilidad física y social, y los resultados del balance hidrológico, permitió establecer que La Cava de Villa Itatí presenta un alto riesgo de inundación (Angheben, 2012). Las consecuencias de estas inundaciones sobre asentamientos marginales y pobres tienen gran impacto debido a que empeoran la situación de vulnerabilidad pre-existente. El riesgo encontrado para las cuencas hidrográficas de Matanza Riachuelo, Reconquista y Luján (Gran Buenos Aires) fue alto debido a la presencia de población con niveles muy altos de vulnerabilidad social asentadas en zonas de alta susceptibilidad ante inundaciones (Herrero et al., 2018).

La ciudad de Bahía Blanca, de acuerdo con Zapperi et al. (2012), posee características topográficas y geomorfológicas que propician la ocurrencia de inundaciones y anegamientos. En particular, se reportaron mayores índices de anegamientos en zonas residenciales, especialmente en áreas con calles sin pavimentar, lo que genera problemas para la circulación y problemas ambientales a raíz de la erosión causada por las lluvias intensas. Investigaciones posteriores han demostrado que la expansión de la zona urbana e industrial de Bahía Blanca ha llevado a un aumento en las áreas inundables debido a cambios en la red de drenaje (Zapperi et al., 2016; Mastrandrea, 2019; González et al., 2020).

En 1899, una inundación de proporciones catastróficas marcó un hecho trascendental en la historia de la chiRN, según Brailovsky (2012). Durante los meses de mayo y junio de ese año, las fuertes lluvias en la cuenca hidrográfica del río Limay provocaron un aumento del caudal del río Negro (RN), que arrasó todo a su paso. La noticia de la destrucción total de Fuerte Pringles (hoy Guardia Mitre) y San Javier llegó a Viedma el mismo día 20 (Aula Austral, 2022). A las ocho de la mañana del 21 de julio, las aguas inundaron las ciudades de Viedma y Carmen de Patagones, dejando solo las zonas altas de esta última localidad intactas (Livigni, 2022). En algunos sectores de Viedma, las aguas del RN llegaron a una altura superior a 4 metros el 27 de julio, lo que provocó el colapso de la mayoría de los edificios de la ciudad, que tenía ya 120 años de historia (UNL-DPA Río Negro, 2004; Diario Río Negro, 2006). Las aguas no comenzaron a retroceder hasta 3 días después (Noticiasnet, 2022).

Aunque en la chiRN no se han registrado inundaciones de la magnitud de la ocurrida en 1899 desde el siglo pasado, condiciones meteorológicas extremas pueden provocar aumentos de caudal fuera de lo habitual (UNL-DPA Río Negro, 2004; D'Onofrio



et al., 2010), lo que aumenta el riesgo a inundaciones (Kokot et al., 2004; García et al., 2021). Esta situación se agrava debido a la ocupación de las planicies de inundación en la chiRN, favorecida por la construcción de presas de embalse aguas arriba en las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén, lo que ha generado una falsa sensación de seguridad (AIC, 2022).

En particular, se ha afirmado que la represa de El Chocón (Figura 1.1) puede regular las crecidas del río Negro (RN) (Brailovsky, 2012). Si bien es cierto que la represa tiene cierta capacidad de controlar el caudal del río, su principal función es la generación de energía hidroeléctrica para abastecer a una gran parte del territorio argentino (AIC, 2013). Para cumplir con esta tarea, la represa requiere almacenar grandes volúmenes de agua, lo que dificulta su uso exclusivo para la regulación de las crecidas. Si bien El Chocón ha logrado desempeñar ambas funciones, en algunas ocasiones, ante la presencia de grandes caudales de agua, han ocurrido erogaciones que han afectado a algunas áreas de la chiRN (La Nueva, 2006; Río Negro, 2018; AIC, 2020).

A pesar de que la chiRN se encuentra en una zona de alta calidad de vida (Velázquez et al., 2019), se han reportado problemas sociales en el área de estudio, como desempleo, escasez de viviendas y mal estado de las calles, según el diario Noticiasnet (2020) y Noticias Río Negro (2022). Se han detectado condiciones socioeconómicas desfavorables en el conglomerado Viedma-Carmen de Patagones, donde los datos del INDEC indican que en el primer semestre de 2020 cerca del 43,5% de la población vivía en situación de pobreza. Además, el asentamiento informal y precario de sectores populares en zonas susceptibles agrava el nivel de vulnerabilidad (Ambrosio y Suárez, 2016).

El presente capítulo tiene como objetivo generar una cartografía del riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones en la chiRN, ya que la posibilidad de emergencias hídricas es imposible de eliminar. El aporte principal del capítulo es la obtención de un escenario estático que describe las condiciones socioeconómicas previas a la ocurrencia de un desastre en el año 2010, lo que constituye un antecedente importante para un área donde la medición y adquisición de parámetros físicos, ambientales y sociales es limitado. El trabajo se enfoca en brindar asistencia a procesos de planificación territorial en áreas con altos niveles de riesgo ante las crecidas del RN.

## 8.2. Método de trabajo

Los niveles de riesgo presentes fueron evaluados a través de la metodología propuesta por Renda et al. (2017). Los autores indicaron que la identificación del escenario de riesgo está limitado al marco geográfico donde la amenaza y la población vulnerable interaccionan. El mapa de riesgo (MR) fue realizado en base a los criterios publicados por Renda (2017), explicados en la figura 8.1:

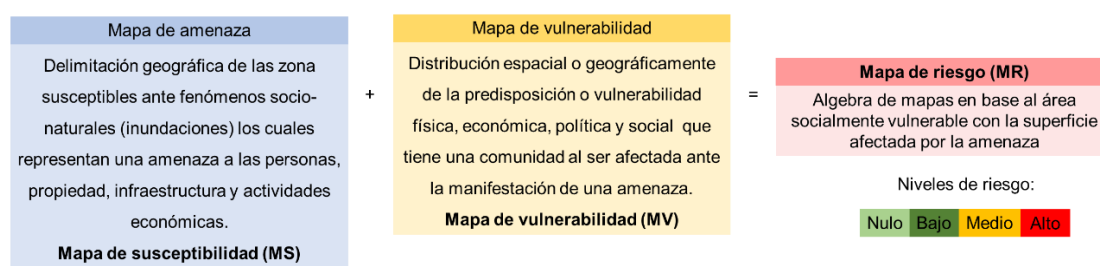


Figura 8.1. Diagrama metodológico empleado para la cartografía del riesgo ante inundaciones fluviales en el área de estudio. Elaboración sobre la base de la metodología publicada por Renda et al. (2017).

Sobre la base de los criterios planteados en la Figura 8.1, se realizó un álgebra de mapas a través del SIG QGIS. La capa fue obtenida como resultado de la suma entre el MS (Figura 6.5) obtenido como resultado en el capítulo 6 de la presente tesis y la categorización de la vulnerabilidad (MV) delimitada en el capítulo 7 (Figura 7.7). La unidad de análisis del mapa de riesgo (MR) resultante fue la de radio censal. La clasificación de niveles de riesgo fue realizada en base a los criterios identificados en la Tabla 8.1.

Suceptibilidad	Vulnerabilidad	Riesgo
<i>Nivel</i>		
Alto o Alto/Medio	Alto o Medio/Alto	Alto
Medio o Medio/Bajo	Medio o Bajo/Medio	Medio
Bajo o Bajo/Nulo	Bajo o Nulo/Bajo	Bajo
Nulo	Nulo	Nulo

Tabla 8.1. Criterios empleados para calcular el nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones.

Sobre la base de los datos proporcionados por el INDEC (2010) fueron detectados el número de viviendas y habitantes que en 2010 residían en zonas de alto y mediano riesgo. Finalmente, en función del MR, fueron localizadas instalaciones de

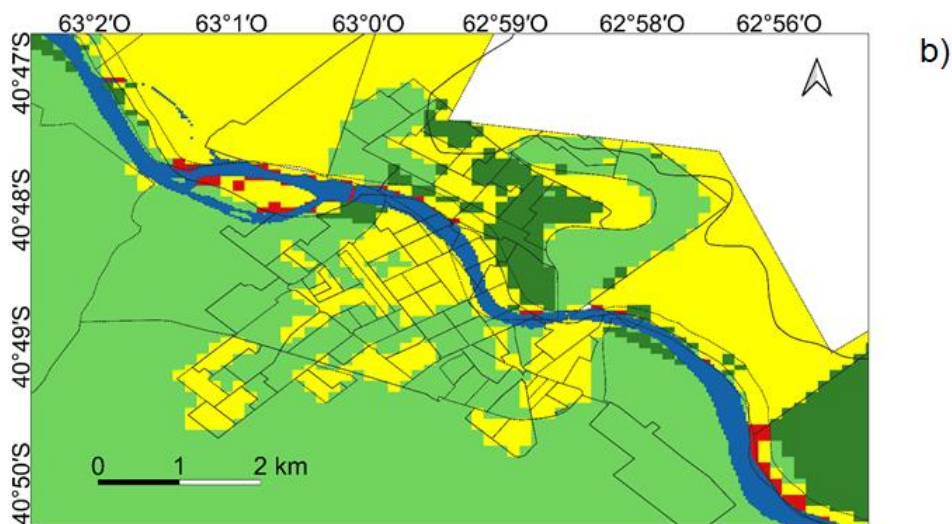
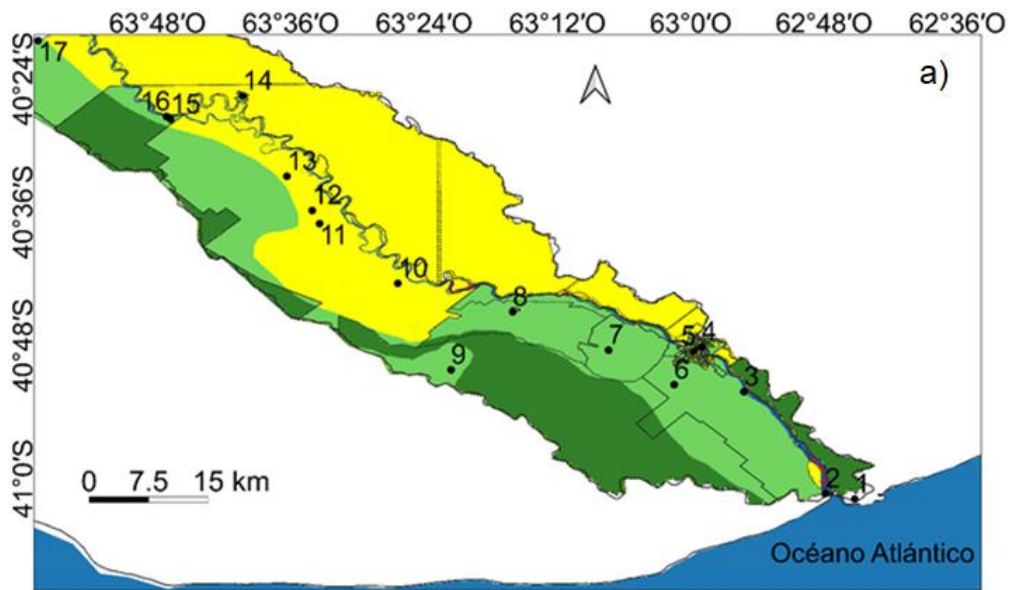
uso normal, esencial, de concentración pública, de uso especial, sitios de interés, infraestructura vital, áreas de uso agrícola y pecuario.

### **8.3. Resultados**

Se utilizó la metodología propuesta por Renda et al. (2017) (Figura 8.1) y los criterios descritos en la Tabla 8.1 para generar el mapa de riesgo (MR) asociado a la ocurrencia de inundaciones en la chiRN. La evaluación se basó en las condiciones socioeconómicas anteriores a las inundaciones de 2010 (INDEC, 2010) y la susceptibilidad natural del terreno a anegarse. El MR se elaboró considerando una resolución espacial de 136x176 m y analizando los niveles de riesgo asociados a una crecida del RN. Este mapa es un antecedente valioso para la planificación territorial en áreas de alto riesgo ante crecidas del río Negro.

En el MR fueron localizadas zonas de alto riesgo ante la ocurrencia de inundaciones en la ribera y desembocadura del RN (Figura 8.2a). Además, áreas con nivel medio de riesgo fueron ubicadas en las periferias de la ciudad de Viedma (Figura 8.2b). En la costanera de Viedma, el riesgo derivado de la ocurrencia de crecidas del RN fue medio y bajo para el resto de la ciudad. La distribución del riesgo en Carmen de Patagones fue heterogénea.

El 43,2 % del total de población residente en el área de estudio fue ubicada residiendo en zonas categorizadas con riesgo alto y medio en 2010 (Figura 8.3a). Los habitantes de zonas de alto riesgo fueron cuantificados en 1239 personas, mientras en sectores con riesgo medio habitaban 32397 (41,6 % del total de población de la chiRN). En total, 11.164 hogares se ubicaban en 2010 en áreas con riesgo medio y alto (Figura 8.3b).



Referencias

• Localidades y parajes (INDEC, 2010)

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| 1. Villa 7 de marzo (paraje)            | 10. Zanjón de Oyuela (paraje)  |
| 2. La Boca (paraje)                     | 11. Cubanea (paraje)           |
| 3. Loteo Costa de Río (localidad)       | 12. La Matilde (paraje)        |
| 4. Carmen de Patagones (localidad)      | 13. Monte Bagual (paraje)      |
| 5. Viedma (localidad)                   | 14. Guardia Mitre (localidad)  |
| 6. El Paso (paraje)                     | 15. Primera Angostura (paraje) |
| 7. El Juncal (localidad)                | 16. Sauce Chico (paraje)       |
| 8. San Javier (localidad)               | 17. Segunda Angostura (paraje) |
| 9. General Nicolás H. Palacios (paraje) |                                |

□ Límite político - administrativo de Argentina (IGN, 2022)

□ Delimitación de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Solano, 1947; SSRH, 2010)

□ Delimitación de los radios censales (INDEC, 2010)

■ Cursos y cuerpos de agua permanentes (Portal de Hidrografía y Oceanografía IGN, 2018)

Nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones

■ Nulo

■ Bajo

■ Medio

■ Alto

Figura 8.2. Mapa de riesgo ante la ocurrencia de inundaciones en el área de estudio: a) cuenca hidrográfica inferior del río Negro, b) comarca Viedma – Carmen de Patagones.

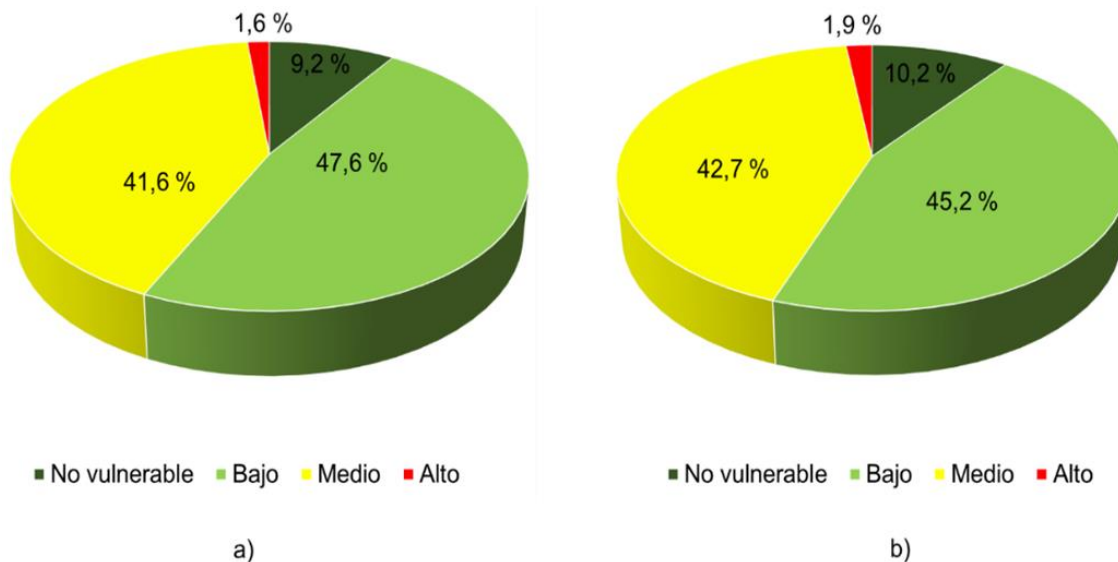
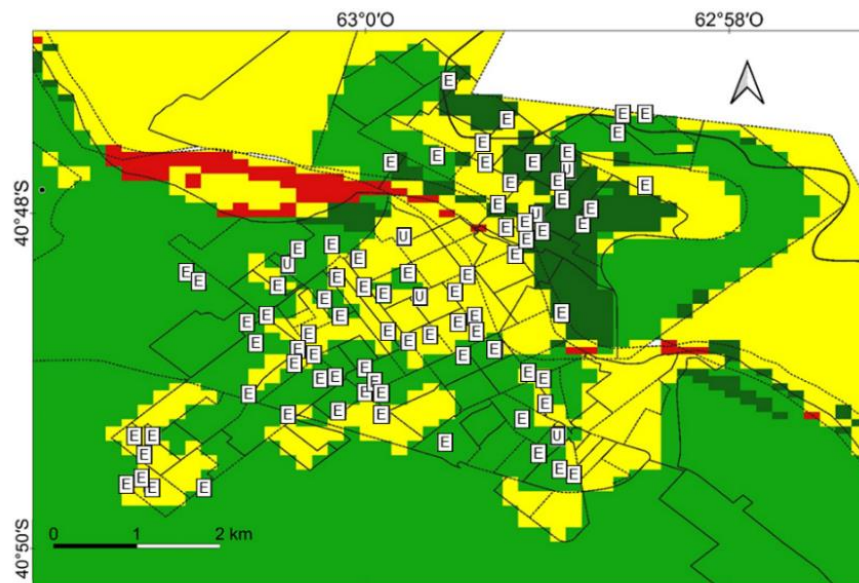


Figura 8.3. Porcentaje pobladores y hogares localizados en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro ubicados en zonas con riesgo nulo, bajo, medio y alto. a) Población, b) Hogares. Elaboración sobre la base de los datos del INDEC (2010).

Las condiciones de alto riesgo reportadas en la chiRN fueron producto de la localización de hogares con condiciones socioeconómicas desfavorables en zonas con susceptibilidad natural medio-alta a la ocurrencia de inundaciones (ver Figura 6.5 en Capítulo 6). Los factores físicos que contribuyeron al aumento del riesgo asociado a anegamientos del terreno fueron la ubicación de casas en terrenos aledaños a la ribera del río (en la llanura de inundación). Particularmente las características del terreno que favorecieron el aumento de la susceptibilidad de estos sectores fueron pendientes reducidas asociadas a bajos relieves y la presencia de suelos con deficiencias en cuanto a su drenaje (Figura 6.4b, y f). Los principales factores sociales que contribuyeron al incremento del nivel de riesgo fueron: el porcentaje de población económicamente pasiva (edad < 14 años y edad > 65 años) (ver Figura 7.4a en Capítulo 7), altos niveles de concentración poblacional (Figura 7.3a), limitaciones en el acceso a la red vial (ver Figura 7.3b en Capítulo 7), construcción de viviendas con materiales medianamente deficientes (ver Figura 7.3d en Capítulo 7), un alto porcentaje de la población con necesidades básicas insatisfechas (ver Figura 7.3e en Capítulo 7) y escaso número de personas con acceso a obra social (ver Figura 7.4c en Capítulo 7). Todos estos elementos afectan la capacidad que tiene la población de hacer frente a la ocurrencia de un desastre.

El caso de la comarca Viedma - Carmen de Patagones es de especial interés pues históricamente es la urbanización más densamente poblada de la chiRN (ver Tabla 1.1 en el Capítulo 1). El riesgo en este sector presentó una distribución espacialmente heterogénea (Figura 8.2b). En función del MR fueron ubicadas instalaciones de uso

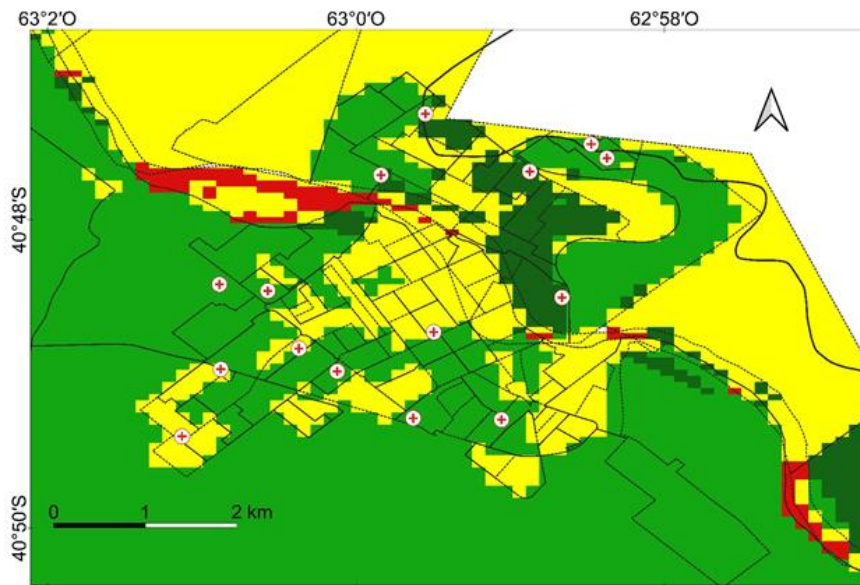
normal, esenciales, de concentración pública, de uso especial, sitios de interés y áreas de uso agrícola para la toma de medidas de mitigación y prevención ante la ocurrencia de inundaciones.



#### Referencias

- ▣ Escuelas y centros de educación (INDEC, 2010)
  - ▣ Localización de universidades (INDEC, 2010)
  - ▣ Radios censales (INDEC, 2010)
  - ▣ Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
  - ▣ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones
- ▣ Nulo
  - ▣ Bajo
  - ▣ Medio
  - ▣ Alto

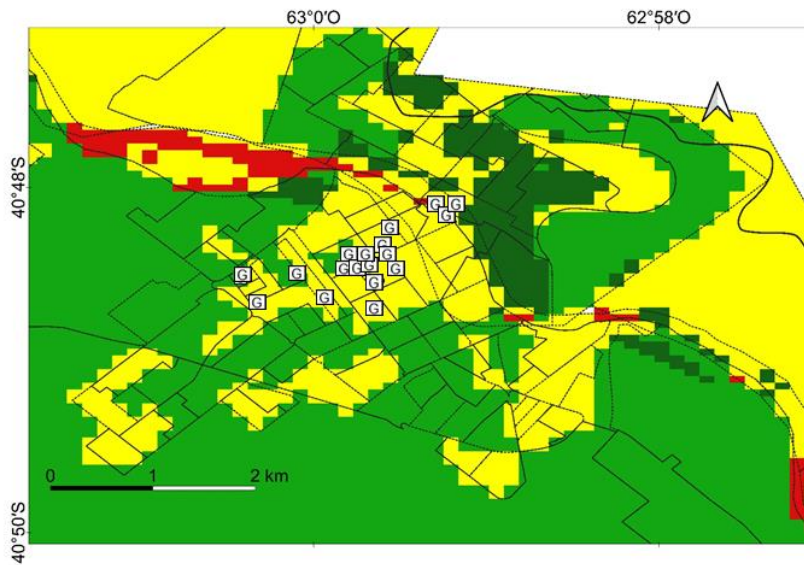
a)



**Referencias**

- ⊕ Edificios de salud (INDEC, 2010)
- ⊞ Radios censales (INDEC, 2010)
- ▭ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones
  - Nulo
  - Bajo
  - Medio
  - Alto

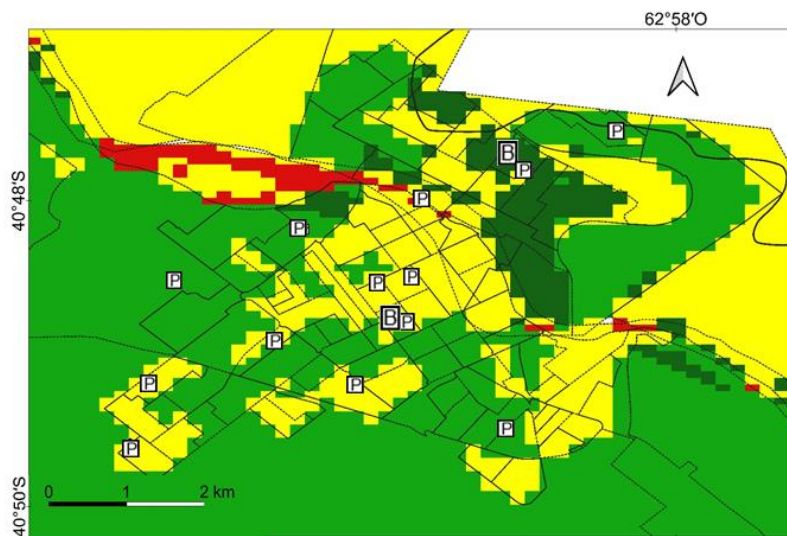
b)



Referencias

- ☐ Edificios gubernamentales (INDEC, 2010)
- ☐ Radios censales (INDEC, 2010)
- ☐ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones
  - Nulo
  - Bajo
  - Medio
  - Alto

c)

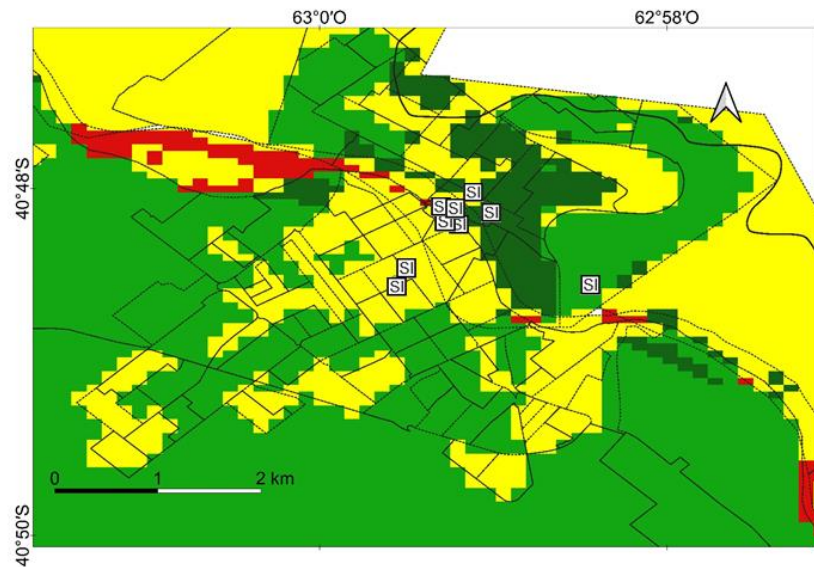


Referencias

- ☐ Cuarteles de Bomberos (Portal Defensa y seguridad IGN, 2022)
- ☐ Comisarias y estaciones de policía (Portal Defensa y seguridad IGN, 2022)
- ☐ Radios censales (INDEC, 2010)
- ☐ Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- ☐ Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones
  - Nulo
  - Bajo
  - Medio
  - Alto

d)

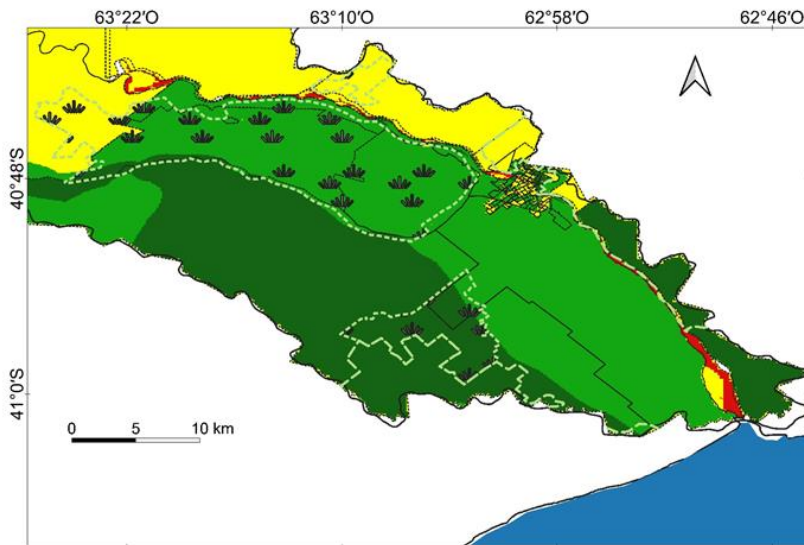




Referencias

- SI Sitios de interés (INDEC, 2010)
- Radios censales (INDEC, 2010)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones
- Nulo
- Bajo
- Medio
- Alto

e)



Referencias

- 🌿 Plantaciones permanentes y terrenos destinados a cultivos (Portal Vegetación natural y cultivos, 2022)
- Radios censales (INDEC, 2010)
- Límites políticos - administrativos de Argentina (IGN, 2022)
- Límites de la cuenca hidrográfica inferior del río Negro (Soldano 1947; SSRH, 2010)
- Nivel de riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones
- Nulo
- Bajo
- Medio
- Alto

f)

Figura 8.4. Localización de sitios esenciales, de atención a la comunidad, de concentración pública, interés y áreas de uso agrícola: a) institutos educativos, b) centros de salud, c) edificios del gobierno, d) edificios de seguridad y defensa, e) sitios de interés, f) delimitación de zonas de

plantaciones permanentes y terrenos destinados a cultivos. Elaborado sobre la base de datos del Portal IGN (2022).

Diversos institutos educativos (escuelas primarias, secundarias, técnicas y universidades) fueron localizados en sectores de riesgo medio y alto en la chiRN (Figura 8.4a) (ver Tabla C.1 en Anexo C). Este tipo de localizaciones fueron ubicadas en zonas aledañas a la ribera del río y periferias de la comarca Viedma - Carmen de Patagones. En cambio, solo un centro de salud (Mi Bandera Doctor Gustavo H. Andreni) fue ubicado en una zona de riesgo medio en la periferia de Viedma (Figura 8.4b) (ver Anexo C).

Una gran porción de los edificios gubernamentales (municipalidad, registros civiles, juzgados, etc) de Viedma fueron localizados en áreas de riesgo medio, mientras en Carmen de Patagones solo fue ubicado el juzgado de Paz adyacente a una zona de riesgo alto (Figura 8.4c) (ver Anexo C). En cuanto a los centros de defensa y seguridad (estaciones policiales, prefectura naval y bomberos), los mismos estuvieron emplazados en su mayoría en sectores de nivel de riesgo medio en Viedma (Figura 8.4d) (ver Anexo C). En Carmen de Patagones, solo su prefectura naval fue localizada en áreas cercanas a sectores de alto riesgo.

El nivel de riesgo para sitios de interés del área de estudio ubicados en sectores adyacentes a la ribera del río fue medio (Figura 8.4e) (ver Anexo C). Particularmente, uno de ellos (Casa de Mitre - Rancho de Ria) fue ubicado en zonas adyacentes a sectores de alto riesgo. Las zonas destinadas a la producción agrícola fueron localizadas en sectores de riesgo nulo y bajo en su mayoría (Figura 8.4f) (ver Anexo C), con excepción de las ubicadas en el centro – sur del área de estudio y lugares aledaños a la ribera del RN y periferias de Carmen de Patagones, las cuales se ubicaron en sectores de riesgo medio.

#### **8.4. Discusión de resultados**

La bibliografía tradicional ha abordado el análisis del riesgo desde una sola perspectiva, principalmente física (Montecelos Zamora et al., 2010; Oliveira Acosta et al., 2011; Carrascal et al., 2018, Igarza Sánchez, 2019). No obstante, otros estudios han complementado estas evaluaciones técnicas con una perspectiva social (Blaikie et al., 1996; Ferrari, 2012; Etulain y López, 2017; Olín Fabela, 2017; Jorquera Santis et al., 2019). Aunque estos trabajos son relevantes, es importante considerar que la ocurrencia de desastres depende tanto de la amenaza como del nivel de vulnerabilidad de la sociedad ante ella, por lo que ambas áreas deben ser abordadas de manera integrada (Renda et al., 2017).

A nivel internacional, diferentes autores han realizado estudios de riesgos ante eventos extremos integrando indicadores sociales, económicos y físicos (Perles Roselló, 2004; Olcina Cantos, 2011; Birkmann et al., 2013; Godfrey et al., 2015; Madruga de Brito et al., 2018). La concreción de una amenaza (dada por la ocurrencia de una inundación) en un área vulnerable avala un alto nivel de riesgo en Argentina (Angheben, 2012; Herrero et al., 2018). El efecto directo de estos fenómenos en áreas de alto riesgo es el agravamiento de la situación de vulnerabilidad pre-existente.

En la chiRN, los desbordes del río han causado inundaciones graves de forma frecuente. Algunos de estos eventos han sido auténticos desastres en el pasado, como ocurrió en 1899, cuando la inundación arrasó con todos los centros poblados aguas abajo de San Javier (Brailovsky, 2012). En años más recientes, se han reportado inundaciones en Guardia Mitre (1958 y 2001), Viedma – Carmen de Patagones (2019) que han causado daños significativos a la población y sus bienes materiales (Petri, 1992; Río Negro, 2002; La Nueva, 2006; D’Onofrio et al., 2010; Brailovsky, 2012).

Para proteger a la población residente y sus bienes materiales de los daños producidos por las crecidas del río, se han implementado medidas de protección, como la construcción de represas, terraplenes de defensa, drenado de lagunas (como Laguna El Juncal) y forestación de la ribera del RN (Reverter et al., 2005). Sin embargo, a pesar de estas medidas, el riesgo de inundaciones en la chiRN sigue siendo una preocupación, ya que estas emergencias hídricas no pueden ser completamente eliminadas (AIC, 2020).

La aparición cíclica de reportes de prensa que describen las pérdidas materiales sufridas ante las crecidas del río (ver Tabla 5.1 en Capítulo 5) muestra el nivel de riesgo que presenta la chiRN ante inundaciones. Por ello, en el presente capítulo se ha estimado el riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones para esta área. Ante la ocurrencia de fenómenos meteorológicos adversos (sudestadas y precipitaciones intensas) o erogaciones de caudal aguas arriba, el área de estudio es susceptible a la ocurrencia de inundaciones debido a las características del suelo que la conforma y su topografía (Figura 6.5). Además, la exposición de hogares con una capacidad económica débil aumenta el riesgo ante la ocurrencia de un desastre natural.

Las personas con limitaciones económicas a menudo se ven obligadas a residir en zonas cercanas a los ríos y zonas limítrofes de las urbanizaciones, ya que la tierra es más barata en comparación con zonas con bajo riesgo de inundaciones (Ambrosio y Suárez, 2016). Sin embargo, la falta de acceso a servicios básicos y redes de transporte público hace que los hogares construidos en estas zonas sean altamente vulnerables a los desastres (AIC, 2020). Esta situación se presenta en la chiRN, donde los mayores

niveles de riesgo se encuentran en sectores cercanos a la ribera del río y en las periferias de la comarca Viedma - Carmen de Patagones.

El análisis de riesgo presentado en este capítulo se ve limitado por la falta de datos del nuevo censo (INDEC, 2022) (<https://censo.gob.ar/index.php/censo-2022-resultados-provisorios/>). Por tanto, se utilizó información procedente del Censo de Población y Viviendas del 2010 (INDEC, 2010) para construir un escenario de riesgo. Es posible que los datos relativos a la vulnerabilidad de la población que habita en la chiRN hayan variado desde el 2010. Sin embargo, los resultados obtenidos en este capítulo presentan un antecedente del estudio del riesgo asociado a inundaciones en esta área. Un aspecto notable es que los resultados provisionales reportados por el Censo 2022 informan sobre un aumento poblacional en el conglomerado urbano de Viedma-Carmen de Patagones (ver Tabla 1.1 en Capítulo 1). En consecuencia, la metodología presentada en este capítulo es relevante y puede aplicarse posteriormente a estudios de subzonificación del área de estudio acorde a su nivel de riesgo ante inundaciones con la publicación de los datos del Censo 2022.

## **8.5. Conclusiones**

El desarrollo de un marco conceptual basado en la comprensión del nivel de exposición a inundaciones y vulnerabilidad de la población asociada a la ocurrencia de las mismas fue crucial para la realización de este estudio. Actualmente existen metodologías que ayudan a comprender la susceptibilidad y vulnerabilidad ante la concreción de una amenaza, pero en esta investigación se combinan y aplican por primera vez estos dos tipos de métodos para el análisis de los riesgos asociados a las crecidas del RN.

Si bien la edificación de diferentes obras defensivas ha mitigado los perjuicios asociados a las crecidas del RN, el peligro ante inundaciones sigue presente. Por ello es necesario también desarrollar trabajos donde, en conjunto con estudios físicos se incluyan indicadores sociales, para así obtener escenarios de riesgo en base a los cuales emprender acciones de mitigación ante desastres y medidas que mejoren el planeamiento urbano. En este caso la cartografía del riesgo asociada a inundaciones fluviales permitió identificar zonas donde existe un mayor riesgo de ocurrencia de un desastre en la chiRN.

El 43,2 % de la población de la chiRN reside en zonas con niveles medios y altos de riesgo asociados a inundaciones. De este total, el 1,6 % de los habitantes del área de estudio presentó un nivel alto de riesgo. Las viviendas de este sector de la población

se localizan en zonas aledañas a la ribera del río y periferias de la comarca Viedma – Carmen de Patagones. Si bien sectores aledaños al río presentaron una susceptibilidad media y alta dadas sus características geomorfológicas, la ampliación del nivel de riesgo estuvo dada por indicadores sociales. Las características socioeconómicas consideradas fueron una alta concentración y aislamiento poblacional, limitaciones en el acceso a servicios de salud, estado constructivo de viviendas y alta densidad de hogares con necesidades básicas insatisfechas (NBI).

La realización del mapa de riesgo asociado a inundaciones además permitió la detección de centros de interés social emplazados en zonas con niveles medios y altos de riesgo. En estas zonas fueron localizados numerosos institutos de educación primaria, media y superior, además del centro de salud Mi Bandera Doctor Gustavo H. Andreni. Un gran porcentaje de los edificios gubernamentales (municipalidad, registros civiles, juzgados, etc) de Viedma se encuentran emplazados en zonas de riesgo medio. En Carmen de Patagones, el juzgado de Paz y su Prefectura Naval se ubican adyacentes a áreas de alto riesgo. Finalmente, el riesgo fue medio para sitios de interés y zonas de cultivos cercanos a la ribera del RN.

## CAPÍTULO 9

### CONCLUSIONES FINALES

El objetivo general de la tesis fue estimar el riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones en la chiRN, a través del estudio de la amenaza, la susceptibilidad del área de estudio ante la ocurrencia de inundaciones y vulnerabilidad. El área de estudio fue la cuenca hidrográfica inferior del río Negro, la cual se extiende desde la desembocadura del río homónimo en el océano Atlántico hasta la localidad de Segunda Angostura. El origen de las inundaciones fue examinado a través de un análisis integral del peligro con la realización una caracterización climática e hidrológico del área de estudio. A fin de obtener la zona de afectación ante la ocurrencia de inundaciones fue realizado un estudio de susceptibilidad en el que los parámetros analizados correspondieron a las características del terreno y topografía.

Posteriormente, la investigación fue integrada a un análisis de vulnerabilidad que describió las condiciones socioeconómicas que presentaban los residentes del área de estudio a través del datos procedentes del Censo 2010 (INDEC, 2010). Si bien, el estudio estuvo limitado por la antigüedad de los indicadores sociales, en espera de la publicación de los resultados del Censo 2022 (INDEC, 2022), se brindó una primera aproximación al riesgo asociado a inundaciones en una zona donde, particularmente, la bibliografía referente al tema es muy limitada. El resultado final de la tesis fue la elaboración de una cartografía de riesgo donde fueron detectados sectores poblacionales residentes en áreas de nivel medio y alto. Además, fueron revelados aquellos sitios y edificaciones ubicados en zonas sensibles ante inundaciones. Dada la gran diversidad de temáticas abordadas en la tesis, en el Anexo C y en los próximos párrafos se resumen los principales resultados obtenidos.

Las crecidas del río Negro (RN) en su cuenca hidrográfica inferior son producidas por: fuertes vientos del S, precipitaciones intensas y aumentos de caudal procedentes de los ríos Neuquén y Limay (ríos tributarios al RN), siendo las sobreelevaciones del nivel de agua ocasionadas por el paso de tormentas las más frecuentes (D'Onofrio et al., 2010). Si bien es conocido que la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos produce inundaciones, la realización de estudios del clima y sus diferentes escalas de variabilidad es limitada en el área de estudio. Esta carencia se debe a una baja densidad de estaciones meteorológicas de medición que dificultan la realización de estudios climáticos a nivel regional y local.

Los datos meteorológicos con una resolución temporal mayor a 30 años y con series continuas fue obtenida de POWER NASA Project (2021), la cual es una base de datos meteorológicos de reanálisis. La validación de este repositorio fue realizada en base a su correlación estadística (pruebas de Pearson y Spearman al 95 % de confianza) con datos observados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El ajuste estadístico fue fuerte para la temperatura del aire (0,99) y precipitación (0,97) mientras que, para las series de velocidad del viento se encontraron inconsistencias. Las limitaciones encontradas para el repositorio POWER NASA Project (2021) fueron la subestimación de la temperatura del aire, además de sobre y subestimación de la precipitación. Por ello, si bien si es factible la utilización de datos meteorológicos de reanálisis de POWER NASA Project para estudiar la variabilidad climática y sus escalas en el área de estudio, es necesario tener en cuenta las limitaciones antes expuestas.

El clima del área de estudio está condicionado por los cambios estacionales de la circulación atmosférica, los cuales interactúan con la topografía y la influencia marítima (Prohaska, 1976; Garreaud, 2009; Bianchi, 2016; Coronato et al., 2017). La manifestación de esta variación fue analizada a través de la variabilidad climática a escala estacional de la temperatura del aire y precipitación a través de los datos meteorológicos de reanálisis de POWER NASA Project (2021). El análisis del régimen eólico como elemento detonador de aumentos de la columna de agua en la chiRN fue estudiado mediante el uso de datos procedentes de la estación Viedma Aero (SMN, 2021).

La temperatura media anual para el área de estudio fue 14°C (1981 – 2020), con máximas de 40 °C durante el verano y mínimas de -10 °C en invierno. El ciclo anual de la variable fue persistente hacia un incremento no significativo. Esta tendencia también fue observada para todos los ciclos estacionales, excepto en el verano durante el cual fue reportado un aumento persistente estadísticamente significativo. La precipitación media anual fue 335 mm/año (1981 - 2020). No fue detectada una clara delimitación entre períodos secos y húmedos. Si bien, la delimitación estacional del régimen de lluvias no fue evidente, fue observada la producción de máximos de precipitación durante el verano. Durante la época estival, la zona de estudio se halla bajo la influencia de masas de aire cálidas y cargadas de humedad procedentes del Atlántico, las cuales durante su ascenso se enfrían y generan precipitaciones intensas. En cambio, durante el otoño e invierno se producen lluvias de origen frontal asociadas al desplazamiento latitudinal de los anticiclones del Atlántico y Pacífico. Las tendencias observadas en los ciclos estacionales y anuales de la precipitación fueron decrecientes no significativas.

Aunque las tendencias de los ciclos anuales de la temperatura del aire y la precipitación no presentaron cambios estadísticamente significativos, la disminución futura en el régimen de lluvias podría aumentar los procesos erosivos en un área que ya padece estrés hidrológico. En estas zonas, las lluvias intensas en un corto período de tiempo pueden provocar inundaciones repentinas. Además, es probable que el aumento de la temperatura en verano intensifique las lluvias intensas, lo que a su vez podría desencadenar inundaciones por la saturación de la capacidad de absorción del suelo.

Se realizó el cálculo de las Precipitaciones Máximas Probables (PMP) en 24 horas para determinar los máximos de precipitaciones y sus períodos de retorno en la chiRN. Se encontró que los valores de la PMP son mayores en la zona este, con una probabilidad cada 20 años de que las precipitaciones superen los 60 mm/día. En cambio, estas cantidades podrían superar los 70 mm cada 50 años. Se sabe que, además de las precipitaciones intensas, los fuertes vientos del sur durante períodos prolongados son un factor climático que aumenta el riesgo de inundaciones. A pesar de que los resultados indican una baja frecuencia de estos vientos, todavía existe la posibilidad de que ocurran eventos de inundación debido a la presencia de vientos persistentes y fuertes.

La ocurrencia de eventos extremos de inundaciones se relaciona con valores anómalos en las series de tiempo de temperatura y precipitaciones, así como con aumentos en el caudal del RN. Estos eventos poco habituales se asocian a cambios en los patrones de circulación atmosférica y oceánica a escala interanual e interdecadal (como El Niño - Oscilación del Sur, Modo Anular del Sur, Oscilación Decadal del Pacífico, etc.). De estos patrones, se encontró que los cambios a escala interanual en la temperatura y precipitación están correlacionados con el fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENSO). Aunque las series analizadas presentan un fuerte desfase, la variación de estas series se asoció con cambios de fase de la componente oceánica del ENSO, estudiada a través del índice ONI. También se encontró una relación positiva entre la ocurrencia de inundaciones en el área de estudio y la fase cálida del índice (El Niño), lo que se relaciona con un aumento en el régimen de precipitaciones en el sector litoral de la provincia de Río Negro y en las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén.

La variabilidad a escala interanual reportada por la temperatura del aire se relacionó positivamente con las fases del Modo Anular del Sur (SAM). Particularmente, fue detectada una estrecha relación entre la fase negativa del índice y la cálida del ENSO (El Niño) como agentes promotores de la ocurrencia de inundaciones en la



chiRN. El SAM modula el efecto del ENSO sobre el área de estudio, incidiendo sobre el régimen de lluvias, las cuales en valores extremos provocan severas inundaciones.

La incidencia de cambios en las temperaturas superficiales del mar (TSM) de los océanos Atlántico y Pacífico sobre el clima y ciclo hidrológico del área de estudio se manifestaron con un alto desfase. La variabilidad de la temperatura del aire a escala interanual se relacionó al índice TNA, mientras la precipitación se correlacionó con el TSA. La ocurrencia de inundaciones fueron detectadas durante las fases positivas de ambos índices. La asociación entre anomalías del aire en la zona de estudio y cambios circulatorios oceánicos derivados de la PDO fue negativa, además no fue detectada una relación significativa entre el índice y la ocurrencia de inundaciones en la cuenca hidrográfica inferior del RN.

El estudio del régimen hidrológico del RN debe ser dividido en dos tramos para su mayor comprensión (UNL-DPA Río Negro, 2004):

- a) Fluvio – marino: desde la desembocadura del río hasta la localidad de San Javier;
- b) Fluvial: desde San Javier hasta Segunda Angostura.

A través del análisis de datos analizados procedentes de 3 limnógrafos ubicados en Toma de Agua El Cóndor (TAC), Prefectura de Carmen de Patagones (PCP), San Javier (SJ) (DPA Río Negro, 2022) y del pronóstico mareográfico de Punta Redonda (PR) (SHN, 2022) se pudo visualizar que el régimen fluvio – marino del RN fue producto de la intrusión aguas arriba de la onda de marea astronómica procedente del océano Atlántico. La influencia de la marea disminuye paulatinamente desde la desembocadura del río hasta acoplarse en San Javier con el flujo del río. El análisis armónico reveló que las mayores amplitudes registradas para los constituyentes de marea pertenecieron al orden semidiurno. Por ello, la altura de la columna de agua en este tramo presenta oscilaciones cada 6 horas.

Las inundaciones se intensifican cuando se superponen la onda de marea astronómica y altos caudales procedentes de los ríos Limay y Neuquén. La combinación de la marea alta, los vientos intensos y persistentes, y otros factores, generan aumentos del nivel del agua asociados a procesos no lineales (D'Onofrio et al., 2010). Durante las tormentas o erogaciones de agua de los ríos Limay y Neuquén, se produce una transferencia de energía desde el constituyente semidiurno  $M_2$  hacia sus armónicos de alto orden ( $M_4$ ,  $M_6$  y  $M_8$ ), lo que también provoca procesos no lineales y variaciones poco comunes en la altura de la columna de agua. La amplitud de los armónicos de alto orden es mayor en los sectores cercanos a Carmen de Patagones. La ubicación geográfica particular de Viedma y su costanera, en la parte baja de la barranca entre 3,5 y 4,5 m s.n.m en el valle de inundación del RN (Merg et al., 1998), los expone a un gran peligro debido a la generación de incrementos en la altura del nivel del agua

incentivados por procesos no lineales. Además, otro efecto observado es el retraso de la fase de reflujos de la marea, lo que ocasiona una demora en el tiempo que el río vuelve a su nivel de agua habitual.

El RN, aguas arriba de San Javier, tiene un régimen hidrológico fluvial, y los incrementos de los niveles de agua son causados por aumentos de caudal procedentes de los ríos Limay y Neuquén (Brieva, 2018). Se estudiaron las crecidas del Río Negro en esta sección a través del procesamiento de series de caudal de la estación Primera Angostura desde 1930 hasta 2021 (92 años) (SNIH, 2022). Los resultados muestran que se presentan dos crecidas máximas anuales, siendo la primera (la más intensa) reportada entre los meses de julio, agosto y septiembre. La ocurrencia del segundo máximo se ha desplazado temporalmente desde 1930 (ocurría durante la primavera) hasta 2021, registrándose entre abril y junio (otoño) entre 2010 y 2021. La variabilidad observada podría estar relacionada con varios factores, como la construcción de represas en los ríos Limay y Neuquén, que pueden modular los aumentos de caudal del Río Negro, la presencia de diferentes canales de riego que extraen agua del curso de agua y la influencia de una intensa sequía.

La TRF reportó que la mayor variabilidad del caudal del agua del RN fue registrada en sus ciclos anuales y estacionales. Además, fue observada la ocurrencia de cambios cíclicos cada 2 y 4,5 años, los cuales fueron asociados a cambios de fase del evento ENSO. Si bien la tendencia del caudal del RN no fue estadísticamente significativa, el riesgo asociado a la ocurrencia de crecidas sigue vigente. Cada 10 años es factible que se produzcan crecidas asociadas a caudales superiores a  $2800 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  en Primera Angostura. Este valor supera el caudal mínimo para el que la cuenca inferior es susceptible a inundarse ( $2700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) (UNL-DPA Río Negro, 2004). Los meses del año durante los cuales se han reportado frecuentemente la ocurrencia de caudales superiores a los  $2700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  son mayo, junio, julio, agosto, octubre y diciembre.

Se realizó la delimitación de la zona de afectación de inundaciones en base a las características físicas y geográficas del área de estudio en condiciones climáticas húmedas, debido a que durante este período la cubierta de agua alcanza su máxima extensión y la susceptibilidad ante eventos de inundación es mayor. La selección del año 2015 como período húmedo se fundamentó en el estudio del índice SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010). Se zonificó la chiRN en cuatro sectores según su susceptibilidad ante inundaciones (no susceptible, baja, media y alta), teniendo en cuenta variables geomorfológicas y topográficas. El 41,7% ( $1.396,5 \text{ km}^2$ ) del área de estudio presentó una susceptibilidad media y alta ante inundaciones, siendo los sectores de alta susceptibilidad el 3% del área de estudio ( $101,2 \text{ km}^2$ ), ubicados cerca del río y con presencia de lagunas, paleocauces, relieve deprimido y drenaje pobre. La máxima

extensión de las subzonas con susceptibilidad entre mediana y alta fue reportada entre junio y diciembre, debido a la aparición y/o extensión de pequeñas lagunas y cursos de agua intermitentes, además de la activación de paleocauces.

La ocurrencia de una inundación no es suficiente para que se produzca un desastre, sino que es necesario que afecte a una comunidad vulnerable para que se convierta en tal. Es importante considerar las circunstancias socioeconómicas para anticipar las consecuencias de una inundación. Los indicadores utilizados para identificar los sectores de la población más vulnerables se obtuvieron del Censo de 2010 (INDEC, 2010). Aunque esto puede presentar una limitación debido a la antigüedad de los datos, se consideran como actuales en el presente estudio hasta que los resultados finales del Censo 2022 sean publicados. Una vez disponibles los datos del Censo 2022, este trabajo podría ser utilizado como antecedente para investigaciones futuras y la metodología empleada en el análisis podría ser implementada nuevamente.

Según los datos del Censo del año 2010 (INDEC, 2010), más de la mitad (51,0%) de la población del área de estudio se encontraba socialmente expuesta a la ocurrencia de un desastre. De todas las localidades, Viedma fue la más vulnerable desde el punto de vista social. Por el contrario, Carmen de Patagones fue clasificada con una vulnerabilidad baja, excepto en sus periferias, donde se clasificó como de vulnerabilidad media y alta. La población más vulnerable se localizó en las periferias de la comarca Viedma-Carmen de Patagones. Entre los indicadores que contribuyeron al aumento del nivel de vulnerabilidad en el conglomerado urbano se encontraron la alta concentración poblacional, la falta de acceso a servicios básicos, el mal estado constructivo de las viviendas y el bajo porcentaje de personas con obra social. También se ubicaron sectores con alto porcentaje de aislamiento, con difícil acceso al transporte público y a obras sociales como vulnerables a inundaciones (SO y NO del área de estudio).

Finalmente, la integración entre los niveles de susceptibilidad y de vulnerabilidad asociadas a inundaciones fluviales permitió identificar zonas donde existe un mayor riesgo ante la ocurrencia de inundaciones en la chiRN. Los resultados relativos al análisis demostraron que el 43,2% de la población del área de estudio se encontraba residiendo en zonas de riesgo medio y alto en 2010. Del total, el 1,6 % de los habitantes del área de estudio presentó un nivel alto de riesgo siendo localizadas las viviendas de este sector de la población en zonas aledañas a la ribera del río y periferias de la comarca Viedma – Carmen de Patagones.

En relación a la chiRN, se puede afirmar que la exposición a las inundaciones es una realidad inherente a las condiciones climáticas, hidrológicas y topográficas del área de estudio. Sin embargo, la presencia de factores socioeconómicos negativos amplificó el riesgo ante la ocurrencia de inundaciones, especialmente en los sectores cercanos a

la ribera del río. Los principales indicadores socioeconómicos que contribuyeron a agravar la situación fueron: alta concentración y aislamiento de la población, limitaciones en el acceso a servicios de salud, mal estado constructivo de viviendas y alta densidad de hogares con necesidades básicas insatisfechas (NBI). Adicionalmente, se identificaron múltiples centros de interés comunal ubicados en zonas de riesgo medio y alto, tales como centros educativos, un edificio de salud (Mi Bandera Doctor Gustavo H. Andreni), oficinas gubernamentales (municipalidad, registros civiles, juzgados, etc.), lugares de interés turístico y áreas de cultivo.

Se concluye a partir del análisis desarrollado, la importancia de considerar la realización de un plan de manejo integral para la chiRN, centrándose en particular en la comarca Viedma-Carmen de Patagones y sus áreas aledañas. La comprensión del nivel de exposición a inundaciones y vulnerabilidad de la población relacionada con la ocurrencia de las mismas es fundamental para la realización de este estudio. Por lo tanto, se sugiere la implementación de medidas de planificación territorial y mitigación de los daños causados por las crecidas del RN, no solo basadas en políticas que mejoren las obras preestablecidas de modulación del caudal del río, sino también que tiendan a mejorar la calidad de vida de la población residente, especialmente aquellos que viven en sectores cercanos a la ribera del río.

La hipótesis planteada al inicio de la tesis fue aprobada tras el análisis de resultados. Se encontró que la cuenca hidrográfica inferior del río Negro presenta un riesgo medio y alto ante inundaciones, debido al asentamiento de poblaciones socialmente vulnerables en áreas físicamente susceptibles a inundaciones. Este fenómeno se observó principalmente en la comarca Viedma - Carmen de Patagones. Los resultados obtenidos pueden ser de gran utilidad para la elaboración de un Plan de Manejo del Riesgo ante Crecidas del RN por las autoridades locales y podrían implementarse para futuras investigaciones y planes en diferentes escalas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Monthly Weather Review*, 116, 505-524.
- Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K. R., Kirschbaum, D. B., Gourley, J., Adler, R., Brakenridge, G. (2010). A digitized global flood inventory (1998-2008): compilation and preliminary results. *Natural Hazards*, 55, 405-422. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9537-2>
- ADN ([Abril 9, 2018](#)). Construirán la defensa del río en costanera sur de Viedma. <https://www.adnrionegro.com.ar/2018/04/construiran-la-defensa-del-rio-en-costanera-sur-de-viedma/>
- ADN (Febrero 23, 2019). Alertan por crecidas extraordinarias en el río y el mar. <https://www.adnrionegro.com.ar/2019/02/alertan-por-crecidas-extraordinarias-en-el-rio-y-el-mar/>
- AEROTERRA. (2021). Índice de Vulnerabilidad por Radio Censal. [https://datosabiertos.aeroterra.com/datasets/522d13c4da4e4c91aa8a1529f9cafc44\\_0/about](https://datosabiertos.aeroterra.com/datasets/522d13c4da4e4c91aa8a1529f9cafc44_0/about)
- AIC. (2013). Control bacteriológico de balnearios. Informe temporada 2012 – 2013. [http://www.aic.gob.ar/Sitio/archivos/201803/informe%20balnearios%202012\\_2013.pdf](http://www.aic.gob.ar/Sitio/archivos/201803/informe%20balnearios%202012_2013.pdf)
- AIC. (2020). El control de las crecidas. Sistema de Emergencias Hídricas y Mitigación del Riesgo. (4ta edición). Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro.
- AIC. (2022). Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro. <http://www.aic.gob.ar/sitio/laaic>
- Al Kilani, M. R., Rahbeh, M., Al-Bakri, J., Tadesse, T. y Knutson, C. (2021). Evaluation of Remotely Sensed Precipitation Estimates from the POWER NASA Project for Drought Detection over Jordan. *Earth Systems and Environment*, 5. DOI: 10.1007/s41748-021-00245-2
- Allaby, M. (2008). *A Dictionary of Earth Sciences*. Oxford University PressPrint. ISBN-13: 9780199211944. DOI: 10.1093/acref/9780199211944.001.0001. <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/acref/9780199211944.001.0001/acref-9780199211944>
- Allende, G. (1971). *Derecho de aguas, con acotaciones hidrológicas*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires.

- Alifu, H., Hirabayashi, Y., Imada, Y., Shiogama, H. (2022). Enhancement of river flooding due to global warming. *Sci Rep*, 12(1), 20687. doi: 10.1038/s41598-022-25182-6.
- Alonso, O. A., Miranda, D. L., Molinari, M. C., Spigariol, M. J., Suárez, G. N. (2018). Desarrollo Local, Políticas Públicas y Matriz Sociopolítica en la Norpatagonia. Del libro *Políticas sociales y cuestión social en la Argentina del siglo XXI* / Rebeca Cena [et al.]; compilado por Rebeca Cena. 1a edición. Buenos Aires: Estudios Sociológicos Editora, 2018. 83-108. ISBN 978-987-3713-33-0
- Alves, T. L. B., Azevedo, P. V., Farias, A. A. (2015). Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(6), 1601-1614.
- Ambrosio, M. B., Suarez, M. I. (2016). La Patagonia norte y la organización territorial del valle del Río Negro. *Revista El Ojo del Cóndor*, 7, 4 - 9. ISSN 1853 9505.
- Anderson, M. B., Woodrow, P. (1989). *Rising from the ashes. Development strategies in times of disaster*. Colorado: Westview Press-Organización.
- Angheben, E. (2012). Estudio Ecohidrológico de la Cuenca Urbana de La Cava de Villa Itatí. Quilmes, Provincia de Buenos Aires. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/25864>
- Andrade, M. I. (Octubre, 2013). Ocurrencia de inundaciones en el Gran La Plata Abril de 2013. Mendoza: Actas IV Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas y XI Jornadas Cuyanas de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo.
- Aneas de Castro, S. D. (2000). Scripta Nova. Riesgos y peligros : una visión desde la Geografía. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 60. ISSN 1138-9788. <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>
- Andreoli, R. V., Kayano, M. T. (2005). ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. *International Journal of Climatology*, 25 (15), 2017-2030. <https://doi.org/10.1002/joc.1222>
- Aramayo, V., Cremona, M. V., Fernández, R. J., Nosetto, M. D. (2022). Características de las precipitaciones en zonas áridas de la Patagonia norte, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM*, 28, 43-58. e-ISSN 2683-8168.
- Araneo, D., Compagnucci, R. (2007). El Niño as a predictor of Argentine Andean riverflows. *Ingeniería Hidráulica en México*, 22. 23-35.
- Aravena, J. C., Luckman, B. H. (2009). Spatio-temporal rainfall patterns in southern South America. *International Journal of Climatology*, 29(14), 2106-2120.

- Arguello Murillo, F. P., González Santiago, S. M., Silva Rondón, M. M. (2016). Variabilidad climática estacional e interanual de la precipitación y la temperatura de la cuenca del Río de Oro, área metropolitana de Bucaramanga, Santander. [Tesis de grado Ingeniería]. Unidades Tecnológicas De Santander.  
[https://www.academia.edu/39644536/VARIABILIDAD\\_CLIMÁTICA\\_ESTACIONAL\\_E\\_INTERANUAL\\_DE\\_LA\\_PRECIPITACIÓN\\_Y\\_LA\\_TEMPERATURA\\_DE\\_LA\\_CUENCA\\_DEL\\_RÍO\\_DE\\_ORO\\_ÁREA\\_METROPOLITANA\\_DE\\_BUCARAMANGA\\_SANTANDER](https://www.academia.edu/39644536/VARIABILIDAD_CLIMÁTICA_ESTACIONAL_E_INTERANUAL_DE_LA_PRECIPITACIÓN_Y_LA_TEMPERATURA_DE_LA_CUENCA_DEL_RÍO_DE_ORO_ÁREA_METROPOLITANA_DE_BUCARAMANGA_SANTANDER)
- Arouxet, M. B., Pastor, V. E. (2018). Caracterización de series climáticas usando el exponente de Hurst. *Mecánica Computacional*, XXXVI, 411-419. ISSN 2591-3522
- Arteaga, A., San Juan, G. (2012). Metodología para obtener un índice de vulnerabilidad social. El caso del municipio de La Plata. *Avances en Energías Renovables y Medio ambiente*, 16, 129-137. ISSN 0329-5184.
- Ashok, K., Behera, S. K., Rao, S. A., Weng, H., Yamagata, T. (2007). El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res.*, 112, C11007, doi: 10.1029/2006JC003798.
- Aubrey, D. G., Speer, P. E. (1985). A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine system. Part I: Observations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 21, 185-205.
- Aula Austral. (Noviembre, 2022). 1899 – Inundación en Río Negro. <https://aulaaustral.com.ar/1899-inundacion-en-rio-negro-2226>
- Ávila Diaz, A., Cardona Guerrero, F., Escobar, Y., Justino, F. (2019). Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes. *Water*. 11. 22. 10.3390/w11020379.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2000). La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30, 37-49.
- BARHA. (2023). Base de Asentamientos Humanos de la República de la Argentina. <http://www.bahra.gob.ar>
- Bai, J., Chen, X., Dobermann, A., Yang, H., Cassman, K. G., Zhanget K. (2010). Evaluation of NASA Satellite- and Model-Derived Weather Data for Simulation of Maize Yield Potential in China. *Agronomy Journal*, 102 (1), 9–16. DOI:[10.2134/agronj2009.0085](https://doi.org/10.2134/agronj2009.0085)
- Balica, S., Douben, N., Wright N. G. (2009). Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water Science y Technology*, 60 (10), 2571-2580.
- Banco Mundial. (2014). Argentina debe aprender a convivir con las inundaciones y adquirir capacidades para enfrentarlas. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/10/01/entrevista-experto-inundaciones>.

- Baranowski P, Krzyszczak J, Sławinski C, Hoffmann H, Kozyra J, Nieróbca, A., Siwek, K., Gluza, A. (2015). Multifractal analysis of meteorological time series to assess climate impacts. *Clim. Res.*, 65, 39–52. <https://doi.org/10.3354/cr01321>.
- Baranowski, P., Gos, M., Krzyszczak, J., Siwek, K., Kieliszek, A., Tkaczyk, P. (2019). Multifractality of meteorological time series for Poland on the base of MERRA-2 data. *Chaos Solitons y Fractals*, 127, 318-333. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.07.008>
- Barnston, A. G., Livezey, R. E. (1987). Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review*, 115(6), 1083–1126.  
DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2)
- Barrenechea, J., Gentile, E., González, S., Natenzon, C. (Noviembre, 2000). Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la Teoría Social del Riesgo. Buenos Aires: Actas IV Jornadas de Sociología.
- Bazzano, F. (2019). Predicción de lluvias máximas para diseño hidrológico. Desarrollo experimental en la provincia de Tucumán. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de Tucumán
- Beevers, L., Walker, G., Strathie, A. (2016). A systems approach to flood vulnerability”, *Civil Engineering and Environmental Systems* 33 (3), 1-15.
- Bello, O. D., Ballesteros, J., Buitrago, M., González, M., Velasco, O. (2018). Análisis retrospectivo de las inundaciones: lecciones y recomendaciones Argentina. Buenos Aires: Naciones Unidas.  
[https://www.cepal.org/sites/default/files/static/files/lcarts2018\\_1-final.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/static/files/lcarts2018_1-final.pdf)
- Benjamín, M. (2008). Investigating physical and social dimensions. [Tesis en opción a Magister]. University of Cape Town.
- Berger, A. (1986). Annual and saesonal climatic variations the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*. Vol. 4 (B4), pp. 385-400.
- Bianchi, A. R., Cravero, S. A. C. (2010). Atlas Climático Digital de la República Argentina. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Bianchi, E. (2016). Dinámica espacio – temporal de la relación entre el clima y el funcionamiento de los ecosistemas de Patagonia Norte. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de COMAHUE. Centro Regional Universitario Bariloche.
- Birkmann, J., Cardona, O., Tibaduiza, M., Barbat, A., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses. *Natural Hazards*, 67, 193-211. DOI:10.1007/s11069-013-0558-5.



- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B. (1996). Vulnerability: the social, political and economic environment of disasters. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Blanton, J., Lin, G., Elston, S. (2002). Tidal current asymmetry in shallow estuaries and tidal creeks. *Continental Shelf Research*, 22, 1731-1743. DOI:10.1016/S0278-4343(02)00035-3.
- Bluestein (1993). *Synoptic-Dynamic Meteorology in mid-latitudes*. Vol. II. New York, Oxford University Press, 594 pág
- Brailovsky, A. E. (2012). Viedma, la capital inundable (primera parte). <http://noqueremosinundarnos.blogspot.com/2012/08/viedma-la-capital-inundable-primera.html>
- Brendel, A. S., del Barrio, R. A., Mora, F., Orrego León, E. A., Rosales Flores, J. y Camoy, J. A. (2020). Potencial agroclimático actual de la Patagonia moldeado por patrones térmicos e hídricos. *Theoretical and Applied Climatology*, 142, 855–868. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03350-w>
- Brieva, C. (2018). Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológicas en cuencas. CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS. Proyecto Específico 1133022 Versión 1. PROGRAMA NACIONAL AGUA – PNAGUA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion\\_de\\_cuencas\\_0.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf)
- Bruniard, E.D. (1982). La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia de México, 95, 5–19.
- Bohn, V. Y., Piccolo, M. C. (2018). Propuesta metodológica para el análisis de inundaciones en cuencas hidrográficas de llanura (Buenos Aires, Argentina). *Párrafos Geográficos*, 17(2), 1-16. ISSN 1853-9424
- Bohn, V. Y., Piccolo, M. C. (2019). Estimation of hydrological vulnerability in river basins of Argentinean plains. Taylor y Francis, *International Journal of River Basin Management*, 17 (4), 1 – 13. <http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2019.1683855>
- Bucherie, A., Hultquist, C., Adamo, S., Neely, C., Ayala, F., Bazo, J., Kruczkiewicz, A. (2022). A comparison of social vulnerability indices specific to flooding in Ecuador: principal component analysis (PCA) and expert knowledge. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 73, 102897. ISSN 2212-4209. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102897>.
- Buis, A. (Febrero 8, 2022). Steamy Relationships: How Atmospheric Water Vapor Amplifies Earth's Greenhouse Effect. Ask Nasa Climate. [HTTPS://CLIMATE.NASA.GOV/ASK-NASA-CLIMATE/3143/STEAMY-RELATIONSHIPS-HOW-ATMOSPHERIC-WATER-VAPOR-AMPLIFIES-EARTHS-GREENHOUSE-EFFECT/](https://climate.nasa.gov/ask-nasa-climate/3143/steamy-relationships-how-atmospheric-water-vapor-amplifies-earths-greenhouse-effect/)

- Buschman, F. A., Hoitink, A. J. F., van der Vegt, M., Hoekstra, P. (2009). Subtidal water level variation controlled by river flow and tides. *Water Resour. Res.*, 45, W10420, doi:[10.1029/2009WR008167](https://doi.org/10.1029/2009WR008167).
- Bustos, M. L., Ferrelli, F., Piccolo, M. C. (2017). Estudio comparativo de tres modelos climáticos en Argentina. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40, 34-43. [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_1\\_34\\_43](http://dx.doi.org/10.11137/2017_1_34_43)
- Cáceres, A. P., Ampuero, C., Frias, P., Ambuena, C. M., Melgarejo, G. (2019). Vulnerabilidad ante precipitaciones extraordinarias, en una ciudad intermedia de la Patagonia Austral Argentina. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 11(1), 82–105. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v11i1.775>
- Cajigal Molina, E., Maldonado-González, A. L. (2019). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. Un ejercicio emergente ante el cambio climático. *Economía, sociedad y territorio*, XIX (61), 543-574. <https://www.redalyc.org/journal/111/11162841009/html/>
- Callau Poduje, A. C., Seoane, R. (2013). Effect of ENSO-based climate variability in the estimation of flood events in Argentina. En Jensen, J. (ed.), *Proceedings of the 1st International Short Conference on Advances in Extreme Value Analysis and Application to Natural Hazards* (pp. 124-136). Siegen, Alemania. Recuperado de: [https://www.uni-siegen.de/evan2013/home/proceedings/evan2013\\_proceedings.pdf](https://www.uni-siegen.de/evan2013/home/proceedings/evan2013_proceedings.pdf)
- Calvo García-Tornel, F. (1984). La geografía de los riesgos. *Geo Crítica: cuadernos críticos de geografía humana*. <https://raco.cat/index.php/GeoCritica/article/view/59869>.
- Camilloni, I. (2018). Argentina y el cambio climático. *Ciencia e investigación*, 68 (5). <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/11/1-Camilloni-cei68-5-2.pdf>
- Camilloni, I., Barros, V., Moreiras, S., Poveda, G., Tomasella, J. (2020). Inundaciones y sequías [Floods and droughts]. In J. M., Moreno, C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo Buendía, J. A. Marengo, y U. Oswald Spring (Eds.), *Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT [Adaptation to the risks of climate change in Ibero-American countries - RIOCCADAPT Report]* (pp. 391-417). McGraw Hill.
- Campo de Ferreras, A.M., Capelli de Steffens, A.M., Diez, G.P. (2004). *El Clima del Suroeste Bonaerense*. EdiUns, Argentina.
- Cardona, O. D. (1993). Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo. En Maskrey, A. (Ed.). *Los desastres no son naturales* (45-65). Bogotá: La Red. Tercer Mundo Editores. <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/>
- Cardona, O. D. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: una crítica y una revisión necesaria para la gestión. *Wegeningen: International work-conference of vulnerability in disaster theory and practice*.

- Cardona, O. D., Van Aalst, M. K., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., Pulwarty, R. S., Schipper, E. L. F., Sinh, B. T. (2012). Determinants of risk: exposure and vulnerability. En: *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 65-108. Cambridge University Press.
- Cardoso, M. M. (2019). Estudio de la vulnerabilidad y la resiliencia en la ciudad de Santa Fe, Argentina: El rol de los servicios urbanos en general y del transporte de pasajeros en particular. *Revista de Geografía Norte Grande*, (73), 133-159. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022019000200133>
- Carignano, C. A. (2017). Inundaciones en Córdoba: ¿Son realmente eventos extraordinarios y extremos? *Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. CICTERRANEA*, 7, 12-17.
- CARRA. (2023). Copernicus Arctic Regional Reanalysis. <https://climate.copernicus.eu/copernicus-arctic-regional-reanalysis-service>
- Carrascal, C. N., Bohn, V. Y., Piccolo, M. C., Perillo, G. M. E. (2018). Análisis de la susceptibilidad hídrica en una cuenca de llanura (Buenos Aires, Argentina). [Presentación póster]. XII Jornadas Nacionales de Geografía Física Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco - Red Argentina de Geografía Física, Trelew, Argentina.
- Castaño, J.P., Baethgen, W., Gimenez, A., Magrin, G., Travasso, M.I., Olivera, L., Rocca da Cunha, G., Cunha Fernandes, J.M. (2007). Evolución del clima observado durante el período 1931-2000 en la región sureste de América del Sur. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Proyecto AIACC TWAS, Canelones, Uruguay, 9 pp
- Castillo, D. A., Gaitán, J. J., Villagra, E. S. (2021). Direct and indirect effects of climate and vegetation on sheep production across Patagonian rangelands (Argentina). *Ecological Indicators*, 124, 107417.
- Cavalcanti, I., Carril, A., Penalba, O., Grimm, A., Menéndez, C., Sanchez, E., Cherchi, A., Sörensson, A., Robledo, F., Rivera, J. A., Pántano, V., Bettolli, M. L., Zaninelli, P., Zamboni, L., Tedeschi, R., Dominguez, M., Ruscica, R., Flach, R. (2015). Precipitation extremes over La Plata Basin - Review and new results from observations and climate simulations. *Journal Of Hydrology*, 523, 211 – 230.
- Celemín, A. (1984). *Meteorología práctica*. Mar del Plata: Edición del autor. 314.
- Chachero, M. J. (2012). Estudio de precipitaciones en la ciudad de Trelew, análisis estadístico y ecuación de lluvia. *Cuadernos del CURIHAM*, 18, 23–37. <https://doi.org/10.35305/curiham.v18i0.47>

- Chen, D., Chen, H. W. (2013). Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. *Environmental Development*, 6, 69-79, doi:10.1016/j.envdev.2013.03.007.
- Chai, T., Kim, H.-C., Lee, P., Tong, D., Pan, L., Tang, Y., Huang, J., McQueen, J., Tsidulko, M., and Stajner, I. (2013). Evaluation of the United States National Air Quality Forecast Capability experimental real-time predictions in 2010 using Air Quality System ozone and NO<sub>2</sub> measurements, *Geosci. Model Dev.*, 6, 1831– 1850, doi:10.5194/gmd-6-1831-2013.
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero Gutiérrez, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., Bergesio, L. (2012). *Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo*. Buenos Aires: Editorial Orientación Gráfica.
- Ciurean, R. L., Schröter, D., Glade, T. (2013). Conceptual frameworks of vulnerability assessments for natural disasters reduction. In J. P. Tiefenbacher (Ed.), *Approaches to Disaster Management – Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters* (3-32). InTech Open. <https://doi.org/10.5772/55538>
- Copernicus. (Enero 12, 2023). Climate reanalysis. <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>
- Coronato, A., Mazzoni, E., Vazquez, M., Coronato, F. (2017). *Patagonia. Una síntesis de su Geografía Física*. Río Gallegos: Ediciones Universidad Nacional de la Patagonia Austral. ISBN | 978-987-3714-40-5.
- Daga, D., Zulaica, M. L., Vázquez, P. (2015). Evaluación de la vulnerabilidad socio-ambiental del periurbano de Mar del Plata. *Estudios Socioterritoriales*, 18. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-43922015000200004&lng=es&tying=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-43922015000200004&lng=es&tying=es)
- Daniels, L. D., Veblen, T. T. (2000). ENSO effects on temperature and precipitation of the Patagonian-Andean region: implications for biogeography. *Physical Geography*, 3, 223-243.
- Dankers, R., Feyen, L. (2008). Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high resolution climate simulations. *Journal of Geophysical Research*, 113, D19105, doi :10.1029/2007JD009719.
- Dave, R., Subramanian, S. S., Bhatia, U. (2021). Extreme precipitation induced concurrent events trigger prolonged disruptions in regional road networks. *Environmental Research Letters*, 16 (10), 104050. DOI 10.1088/1748-9326/ac2d67
- De Diego, M. (Marzo 10, 2018). Un mundo en movimiento. Servicio Meteorológico Nacional. <https://www.smn.gob.ar/revista-meteoros/oscilaciones-el-mundo-en-movimiento>
- Delménico, A., Villarosa, G., Beigt, D., Outes, V., Andrade, M. I., Manzoni, C. (2018). Los indicadores censales como herramienta para evaluar la vulnerabilidad social frente a la

caída de ceniza volcánica: el caso de Villa La Angostura (Argentina) durante la erupción del Cordón Caulle, 2011. Revista univestitaria de Geografía, 27(2), 11-42. ISSN 0326-8373.

de Mattos, C. A. (2010). Globalización y metamorfosis metropolitana en América Latina: de la ciudad a lo urbano generalizado. Revista de Geografía Norte Grande, 47, 81-104. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n47/art05.pdf>.

De Porras, M. E., Maldonado, A. (2018). R. Prieto (Ed.), Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío. En: A.R Prieto (Ed), Metodologías y estrategias de análisis palinológico del Cuaternario tardío. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina, 18 (2), 18 – 38.

<http://dx.doi.org/10.5710/PEPAPA.08.07.2018.255>

DesInventar. (2021). Inventario de desastres. <https://www.desinventar.org/es/desinventar.html>

DGEyFPE. (2019). Informe de diagnóstico laboral. Provincia de Río Negro. Ministerio Trabajo, Empleo y Seguridad Social. Subsecretaría de Planificación, Estudios y Estadísticas. [https://www.trabajo.gob.ar/downloads/estadisticas/informesprovinciales/InfDiagLab\\_20201ENE\\_RioNegro.pdf](https://www.trabajo.gob.ar/downloads/estadisticas/informesprovinciales/InfDiagLab_20201ENE_RioNegro.pdf)

Diario la Palabra. (Julio 22, 2009). Inusual e inesperada crecida del río Negro en Viedma y Patagones. <https://infostroeder.blogia.com/2009/072204-inusual-e-inesperada-crecida-del-r-o-negro-en-viedma-y-patagones.php>

Diario río Negro. (Febrero 21, 2003). La sudestada encendió todas las alertas en Viedma. <http://www1.rionegro.com.ar/arch200108/s07s17b.html>

Diario Río Negro. (Agosto 5, 2006). 1899: otros detalles de la gran inundación. 1899: otros detalles de la gran inundación. [https://www.rionegro.com.ar/una-marea-extraordinaria-afecto-viedma-y-el-condor-DURN\\_1445163/](https://www.rionegro.com.ar/una-marea-extraordinaria-afecto-viedma-y-el-condor-DURN_1445163/)

Diario Río Negro. (Enero 4, 2014). Una marea extraordinaria afectó Viedma y el Cóndor. [https://www.rionegro.com.ar/una-marea-extraordinaria-afecto-viedma-y-el-condor-DURN\\_1445163/](https://www.rionegro.com.ar/una-marea-extraordinaria-afecto-viedma-y-el-condor-DURN_1445163/)

Diario Río Negro. (Junio 21, 2018a). El desborde del río Negro <https://www.rionegro.com.ar/el-desborde-del-rio-negro-KF5250408/>

Diario Río Negro. (Junio 24, 2018b). Daños materiales inundaciones y preocupación por la sudestada. <https://www.rionegro.com.ar/danos-materiales-inundaciones-y-preocupacion-por-la-sudestada-YY5274818/>

Diario Río Negro. (Septiembre 4, 2019). Video: la sudestada destruyó la pasarela de El Espigón. <https://www.rionegro.com.ar/video-la-sudestada-destruyo-la-pasarela-de-el-espigon-1097672/>

Diario Río Negro. (Agosto 22, 2020). Continúa la toma de tierras en Viedma. <https://www.rionegro.com.ar/continua-la-toma-de-tierras-en-viedma-1472674/>

- Diario Río Negro (Mayo 27, 2021). La crecida del rio negro se hizo notar en la costa de Viedma. <https://www.rionegro.com.ar/la-crecida-del-rio-negro-se-hizo-notar-en-la-costa-de-viedma-1833438/>
- Diario Río Negro. (Junio 4, 2022). Las cosas por su nombre: «Emergencia hídrica» es emergencia climática. <https://www.rionegro.com.ar/debates/opinion/las-cosas-por-su-nombre-emergencia-hidrica-es-emergencia-climatica-2331433/>
- Diaz, H.F., Kiladis, G.N. (1992). Atmospheric teleconnections associated with the extreme phases of the Southern Oscillation. Diaz, H.F. y Markgraf, V. (1992): El Niño. Historical 18 and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press. Cambridge. (pp. 7-28).
- Dinápoli, M. G., Simionato, C. G., Moreira, D. (2020). Nonlinear Interaction Between the Tide and the Storm Surge with the Current due to the River Flow in the Río de la Plata. *Estuaries and Coasts*, 44 (4), 939-959. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00844-8>
- Divakar, P., Pande, S. (2014), "Catastrophic Risk Assessment, Using Integrated Multi-Criteria Flood Vulnerability Index for Various Spatial and Temporal Mining Scales: A Case Study of Kosi Flood Affected Five Districts", *S-JPSET*, 6 (2), Uttar Pradesh, India, SMS Institute of Technology, pp. 135-144.
- D'Onofrio, E., Fiore, M., Di Biase, F., Grismeyer, W., Saladino, A. (2010). Influencia de la marea astronómica sobre las variaciones del nivel del Río Negro en la zona de Carmen de Patagones. *Geoacta*. Vol. 35 (2). On-line ISSN 1852-7744.
- Dottori, F., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., Aga Hirpa, F., Feyen, L. (2016). Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping. *Advances in Water Resources*, 94, 87-102. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.05.002>
- ECYT-AR. (2014). Instituto de Desarrollo del Valle Inferior del Río Negro «Comandante Luis Piedra Buena». La enciclopedia de ciencias y tecnologías en Argentina. [https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Instituto\\_de\\_Developmento\\_del\\_Valle\\_Inferior\\_del\\_Rio\\_Negro\\_«Comandante\\_Luis\\_Piedra\\_Buena»](https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Instituto_de_Developmento_del_Valle_Inferior_del_Rio_Negro_«Comandante_Luis_Piedra_Buena»)
- Enfield, D.B. (1989). El Niño, past and present». *Reviews in Geophysics*, 27, 159-187
- Enfield, D.B., Mayer, D. (1997). Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/929-945>.
- Enfield, D. B., Mestas-Nuñez, A. M., Trimble, P. J. (2001). The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 28 (10), 2077 - 2080. DOI:10.1029/2000GL012745
- El Cronista. (Enero 19, 2023). Resultados del Censo 2022: cuáles son los primeros datos y cuándo se publican completos. <https://www.cronista.com/economia-politica/resultados->

[del-censo-2022-cuales-son-los-primeros-datos-y-cuando-se-publican-completos/#:~:text=de%20viviendas%20colectivas,-.El%20próximo%2031%20de%20enero%20se%20conocerán,primeros%20datos%20del%20Censo%202022.](#)

- ERA5. (2023). ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
- El-Zein, A., Ahmed, T., Tonmoy, F. (2021). Geophysical and social vulnerability to floods at municipal scale under climate change: The case of an inner-city suburb of Sydney. *Ecological Indicators*, 121, 106988. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106988>.
- Escamilla Rivera, V. I., Castro Campos, U., Villalobos Zapata, G. J. (2020). Análisis de vulnerabilidad y gestión de riesgo por inundación en áreas de cuencas. *Boletín del Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México*, 395-412.
- Etulain, J. C., López, I. (2018). Inundaciones urbanas. Mapas de riesgo y lineamientos de ordenamiento territorial en la region del gran La Plata. *Aspectos teóricos-metodológicos y propositivos*, 15 (2). ISSN 2422-6483.
- Evarsa, (2004). Estadística hidrológica de la República Argentina. Secretaría de Recursos Hídricos. En: [www.hidricosargentina.gov.ar/estad2004/principal.htm](http://www.hidricosargentina.gov.ar/estad2004/principal.htm)
- Fabregat, E. H. (2010). La construcción de las representaciones mentales en los alumnos de nivel medio que habitan el valle inferior de Río Negro. [Tesis Doctoral]. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur.
- Falco, M., Araujo, P., Flombaum, P., Carril, A. F. (2014). Control de la precipitación en la variabilidad del ciclo del carbono en el noroeste de la Patagonia argentina. *Congreso Argentino de Meteorología*. Septiembre de 2018.
- Proyecto FAO UTF ARG 017. (2015). Informe de Diagnóstico de los principales valles y áreas con potencial agrícola de la Provincia de Río Negro. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Documento de Trabajo N° 1. Características económicas, sociales e institucionales de la provincia de Río Negro.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodríguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D. (2007) The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.*, 45 (2), 1-33. doi:10.1029/2005RG000183
- Fekete, A. (2010). Assessment of Social Vulnerability to River-Floods in Germany, in Graduate Series 2010. Bonn: United Nations University—Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS).
- Fenoglio, E. P. (2019). Inundaciones urbanas y cambio climático : recomendaciones para la gestión - 1a ed mejorada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Secretaría de Ambiente

y Desarrollo Sustentable de la Nación. ISBN 978-987-47402-6-7.  
<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manualinundaciones.pdf>

- Ferrari, M. P. (2012). Análisis de vulnerabilidad y percepción social de las inundaciones en la ciudad de Trelew, Argentina [Vulnerability analysis and social perception of floods in the city of Trelew, Argentina]. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 21(2), 99-116. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v21n2.32216>
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., Piccolo, M. C., Huamantínco Cisneros, M. A., Perillo, G. M. E. (2016). Downscaling de variables climáticas a partir del reanálisis NCEP/NCAR en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Papeles de Geografía, 62, 21-33. DOI:[10.6018/geografia/2016/239051](https://doi.org/10.6018/geografia/2016/239051)
- Ferreras, A., Ramos, M. (2008). Caracterización de estados de tiempo en el suroeste bonaerense, Argentina. Revista de Geografía, Norte Grande. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022008000200006>.
- Filgueira, C. H. (2001). Estructura de oportunidades y vulnerabilidad social, aproximaciones conceptuales recientes. Seminario Internacional. Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe. Recuperado de: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/3/8283/cfilgueira.pdf>
- Flantua, S. G. A., Hooghiemstra, H., Vuille, M., Behling, H., Carson, J. F., Gosling, W. D., Hoyos, I., Ledru, M. P., Montoya, E., Mayle, F., Maldonado, A., Rull, V., Tonello, M. S., Whitney, B. S., González-Arango, G. (2016). Climate variability and human impact in South America during the last 2000 years: synthesis and perspectives from pollen records. Clim. Past, 12, 483–523. doi:10.5194/cp-12-483-2016
- Flombaum, P., Yahdjian, L., Sala, O. (2016). Global-change drivers of ecosystem functioning modulated by natural variability and saturating responses. Global Change Biology, 23. <https://doi.org/10.1111/gcb.13441>.
- Foro Ambiental. (2017). Inundaciones: el peor desastre natural que afecta a la Argentina. <https://www.foroambiental.net/archivo/noticias-ambientales/cambio-climatico/2140-inundaciones-el-peor-desastre-natural-que-afecta-a-la-argentina>
- Foschiatti, A. M. (2009). Aportes conceptuales y empíricos de la vulnerabilidad global. Resistencia: Ed. Universitaria de la Universidad Nacional del Nordeste.
- Frangi, J., Malacalza, L. (1978) “Estudio económico para el desarrollo integral del valle del río Negro: informe ecológico de consultoría para el Ing. Conrado Bauer”, ms., disponible en el Laboratorio 3, Departamento Científico de Arqueología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata. (Inédito)
- Friedrichs, C. T., Aubrey, D. G. (1988). Non-linear tidal distortion in shallow well-mixed estuaries: a synthesis. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 27 (5), 521-545. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(88\)90082-0](https://doi.org/10.1016/0272-7714(88)90082-0).



- Frumento, O. A. (2017). Aspectos del clima. Fundación Vida Silvestre, 44-55. <https://core.ac.uk/download/pdf/323211671.pdf>
- Gallo, M.N., Vinzon, S.B. (2005). Generation of overtides and compound tides in the Amazon Estuary. *Ocean Dynamics* 55, 441-448.
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58 (3), 257-266. ISSN 0034-4257. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3).
- García, M. C. (2011). Escenario de riesgo climático por sudestadas y tormentas en Mar del Plata y Necochea - Quequén, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, 2 (2), 286-304. [10.5380/abclima.v14i1.38170](https://doi.org/10.5380/abclima.v14i1.38170)
- García Bu Bucogen, G., Piccolo, M. C., Bohn, V. Y. (2021). Estimación de la susceptibilidad a inundaciones en la cuenca inferior de Río Negro (Argentina). *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografía*, LVI (118). DOI 10.18055/Finis21647.
- García Bu Bucogen, G., Piccolo, M. C., & Bohn, V. Y. (2022). Implementación de datos meteorológicos modelados en el norte patagónico argentino (1982-2017). *Investigaciones Geográficas*, (78), 67–87. <https://doi.org/10.14198/INGEO.21449>
- García Bu Bucogen, G., Piccolo, M. C., Bohn, V. Y., Huck, G. E. (2022). Using Chaos theory fundamentals for analysing temperature, precipitation variability and trends in Northern Patagonia, Argentina. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science* 72, 179-190. <https://doi.org/10.1071/ES22009>
- Garner, A. J., Mann, M. E., Emanuel, K. A., Kopp, R. E., Lin, N., Alley, R. B., Horton, B. P., DeConto, R. M., Donnelly, J. P., Pollard, D. (2017). [Impact of climate change on New York City's coastal flood hazard: Increasing flood heights from the preindustrial to 2300 CE](https://doi.org/10.1073/pnas.1703568114). *Proc. Nat. Acad. Sci.*, doi/10.1073/pnas.1703568114.
- Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R., Marengo, J. (2009), Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 281(3–4), 180– 195. doi:10.1016/j.palaeo.2007.10.032.
- Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. *Adv. Geosci.*, 22, 3–11. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009>, 2009
- Garreaud, R., López, P., Minvielle, M., Rojas, M. (2013). Large-Scale Control on the Patagonian Climate. *American Meteorological Society*, 26, 215 – 230. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00001.1
- Gatti, I., Briche, E., Murgida, A., Partucci, H., Duville, M., Amato, B., Falco M., Robledo F. A., Moreira D., Re, M., Storto, L., Lecertua, E., Kazimierski, L., Saucedo, M., Campetella, C. (2014). Anticipando la crecida, tercer capítulo: aporte social en el sistema de alerta por inundación. IFRH, Ezeiza, 13 pages (<http://ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.37.pdf>)

- Gavilan, S., Pastore, J. I., Uranga, J., Ferral, A., Lighezzolo, A., Aceñolaza, P. (2019). Metodología operativa para la obtención de datos históricos de precipitación a partir de la misión satelital Tropical Rainfall Measuring Mission. Validación de resultados con datos de pluviómetros. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 118(1), 111-121. <https://doi.org/10.24215/16699513e011>
- Gavrilov, M. B., Tošić I., Marković S. B., Unkašević M., Petrović, P. (2016). Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann Kendall test in Vojvodina, Serbia. *Idojaras*, 120(2), 183-198.
- Gentile, E., Martin, P., Gatti, I. (2020). Argentina físico-natural: Clima en Argentina. ANIDA. Atlas Nacional Interactivo de Argentina. Instituto Geográfico Nacional. [https://static.ign.gov.ar/anida/fasciculos/fasc\\_clima\\_arg.pdf](https://static.ign.gov.ar/anida/fasciculos/fasc_clima_arg.pdf)
- Ghanem, A., Lárez, H., Ramírez, M. (2006). Estudio comparativo de los diferentes métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas de precipitación para el diseño adecuado de estructuras hidráulicas. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 18(2), 189-196. ISSN: 1315-0162.
- Gianola Otamendi, A. (2019). El Río Negro. Su uso como vía navegable. *Boletín del Centro Naval*, 851, 173 – 174. [851-GIANOLA-RIO-NEGRO.pdf \(centronaval.org.ar\)](https://centronaval.org.ar/851-GIANOLA-RIO-NEGRO.pdf)
- Giaretto, M. (2009). Las tomas de tierras urbanas y las posibilidades de una crisis del régimen de propiedad. XXVII Congreso ALAS, Buenos Aires. <http://www.scielo.org.co/pdf/unih/n70/n70a08.pdf>
- Gillett, N. P., Kell, T. D., Jones, P. D. (2006). Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L23704.
- Godfrey, A., Ciurean, R. L., Van Westen, C. J., Kingma, N. C., Glade, T. (2015). Assessing vulnerability of buildings to hydrometeorological hazards using an expert based approach – an application in Nehoiu Valley, Romania. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13, 229-241. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.06.001>
- Godin, G. (1985). Modification of river tides by the discharge. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 111(2), 257–274.
- Godin, G. (1991). Frictional effects in river tides. In: B.B. Parker (ed.), *Tidal 696 hydrodynamics*, John Wiley, Toronto, pp.379–402.
- González, M. A., Gentili, J. O., Gil, V. (2020). Cambios en la red hidrográfica en un sector del periurbano noroeste y oeste de Bahía Blanca debido a la influencia urbana. *Revista Geográfica Digital*, 17 (33), pp. 17-28. DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/geo.17334067>
- Gonzalez-Reviriego, N., Rodríguez-Puebla, C. (2010). Evaluación de los índices de teleconexión que afectan a la Península Ibérica con modelos climáticos del AR4. En: Fernández-García, F.; Galán-Gallego, E. y Cañada-Torrecilla, R. (Eds.). *Clima, ciudad*

- y ecosistemas. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, nº 7, pp. 119-128
- Grinsted, A., Moore, J. C., Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes Geophys.*, 11, 561–566, <https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004>.
- Groch, D., Cogliati, M. G., Finessi, F. G. (2020). Influencia de ENOS en la hidrometeorología de la cuenca alta del río Neuquén. *Geograficando*, 16(1), e066. <https://doi.org/10.24215/2346898Xe066>
- Guirado, S. G., López Bermúdez, F. (2011). Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del sureste peninsular semiárido. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 349 – 371. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3722509>
- Gumbel, E. (1941). The return period of flood flows. *The annals of mathematical statistics*, 12(2), 163-190.
- Guo, L., van der Wegen, M., Jay, D. A., Matte, P., Wang, Z. B., Roelvink, D., He, Q. (2015). River-tide dynamics: Exploration of nonstationary and nonlinear tidal behavior in the Yangtze River estuary. *JGR Oceans*, 120 (5), 3499 - 3521. <https://doi.org/10.1002/2014JC010491>
- Gupta, A. S., England, M. H. (2006). Coupled Ocean–Atmosphere–Ice Response to Variations in the Southern Annular Mode. *Journal of Climate*, 19(18), 4457 – 4486. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI3843.1>
- Hasselmann, K., Munk, W., MacDonald G. (1963). Bispectra of ocean waves. *Time Series Analysis*, M. Rosenblatt, Ed. New York: Wiley. 125-139.
- Haylock, M.R., Peterson, T.C., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y.M.T., Baez, J., Barros, V.R., Berlato, M.A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garcia, V.J., Grimm, A.M., Karoly, D., Marengo, J.A., Marino, M.B., Moncunill, D.F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J.L., Trebejo, I., Vincent, L.A. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate* 19(8): 1490-1512
- Heinzenknecht, G. H. (2011). Riesgo Y Seguro Agropecuario. Informe Final de Actividades de Consultor. <http://www.ora.gob.ar/informes/enso.pdf>
- Herin, R. (2006). Por una geografía social, crítica y comprometida. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 10. <https://raco.cat/index.php/ScriptaNova/article/view/58371>.
- Hernández - González, M. (2010). Variabilidad y pronóstico de la componente aperiódica del nivel del mar de origen meteorológico en el archipiélago cubano. Tesis presentada en

- opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológicas. 146 pp. Archivo Científico de los institutos de Oceanología y de Meteorología.
- Hernández – González, M. (2011). Estructura espectral de la componente aperiódica del nivel del mar de origen meteorológico en la escala sinóptica de frecuencias. *Revista Cubana de Meteorología*, 17 (1), 60-74.
- Hernández Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8 (3). <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Herrero, A. C., Natenzon, C. Y., Miño, M. L. (2018). Vulnerabilidad social, amenazas y riesgos frente al cambio climático en el Aglomerado Gran Buenos Aires. Programa de Ciudades Área de Desarrollo Económico. <https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2018/10/DT-172-CDS-Vulnerabilidad-social-amenazas-y-riesgos-frente-al-cambio-climático-Herrero-Natenzon-Miño-septiembre-2018.pdf>
- Hosking, J. R. M. (1990). L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society*, 52 (B), 105-124.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. (1997). *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. London: Cambridge University Press, 224.
- Iacovone, M. F., Pántano, V. C., Penalba, O. C. (2020). Consecutive dry and wet days over South America and their association with ENSO events, in CMIP5 simulations. *Theory and Application Climatology*, 142 (1-2), 791-804.
- IANIGLA - Inventario Nacional de Glaciares. (2018a). Informa de la subcuenca del río Neuquén Norte. Cuenca del río Neuquén. IANIGLA – CONICET, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 50. [https://www.glaciaresargentinos.gob.ar/?page\\_id=2962](https://www.glaciaresargentinos.gob.ar/?page_id=2962)
- IANIGLA - Inventario Nacional de Glaciares. (2018b). Informa de la subcuenca del río Limay Sur. Cuenca del río Limay. IANIGLA – CONICET, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 50. [https://www.glaciaresargentinos.gob.ar/?page\\_id=2962](https://www.glaciaresargentinos.gob.ar/?page_id=2962)
- IDEAM. (2019). Glosario meteorológico. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales–IDEAM.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorológico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>
- Igarza Sánchez, A. (2019). Determinación de Peligro por inundaciones en el municipio Moa: subcuenca del río Cabaña. [Tesis en Ingeniería]. Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Repositorio Nínive. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3671>
- INDEC. (2010). Mapas temáticos Censo 2010 (GEOCENSO). [https://sig.indec.gob.ar/censo2010/?\\_ga=2.224146587.1293401755.1651671405-2097421635.1647274886](https://sig.indec.gob.ar/censo2010/?_ga=2.224146587.1293401755.1651671405-2097421635.1647274886)

- INDEC (2013). Definiciones de los indicadores del Censo Nacional de Población Hogares y Viviendas 2010. Base de Datos REDATAM. <http://200.51.91.245/redarg/CENSOS/CPV2010rad/Docs/indicadores.pdf>
- INDEC. (2022). Censo 2022: resultados provisorios. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). <https://censo.gob.ar/index.php/censo-2022-resultados-provisorios/>
- IPCC. (2013) Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A. y Marcial-Pablo, M. J. (2021). Analysis of the NASA-POWER system for estimating reference evapotranspiration in the Comarca Lagunera, Mexico. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 13(2), 201-226. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050>
- Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A., Marcial-Pablo, M. J. (2021). Evaluación del sistema NASA-POWER para estimar la evapotranspiración de referencia en la Región Lagunera, México. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 13(2), 201-226. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050>
- Jongman, B., Kreibich, H., Apel, H., Barredo, J. I., Bates, P. D., Feyen, L., Gericke, A., Neal, J., Aerts, J. C. J. H., Ward, P. J. (2012). Comparative flood damage model assessment: towards a European approach, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3733–3752, <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3733-2012>.
- Jorquera Santis, F., Chacón Sandoval, S., Lavín Cornejo, N., Zúñiga Rodríguez, J., Guinard, M., Santos, A., Cea, D., Covarrubia, J., Gacitúa, M. A., Toledo, S., Varas, N., Garrido, V., Gramsch, T., Solar, V., Arévalo, J., Calderón, D., Cortés, F., Muñoz, S., Dagnino

- Brito, A., Valenzuela Estibill, J., Bórquez Azócar, E., Céspedes Escobar, N. (2013). Memorias del 1er Seminario en Desastres Socionaturales: Experiencias y Desafíos para la Psicología y las Ciencias Sociales (1<sup>ra</sup> ed). Cuadernos de crisis, 1(63), 1 – 68.
- Kalnay, E., Kanamitsur, M., Kistler, R. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of American Meteorological Society, 77, 437-470. <https://rda.ucar.edu/datasets/ds090.0/docs/bams/bams1996mar/bams1996mar.pdf>
- Kalnay, E. (2001). Calentamiento Global y Fenómenos Climáticos Extremos. 2do curso de verano, Hotel El Convento, Viejo San Juan, Puerto Rico. Disponible en: <https://www2.atmos.umd.edu/~ekalnay/pubs/PuertoRicoReanalysisKalnay.ppt.pdf>
- Kantelhardt, J. W., Zschiegner, S. A., Koscielny-Bunde, E., Havlin, S., Bunde, A., Stanley, H. E. (2002). Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. Phys Stat Mech Appl, 316 (1-4), 87–114. <https://doi.org/10.1016/S0378-4371>.
- Kantelhardt JW, Koscielny-Bunde E, Rybski D, Braun P, Bunde A., Havlin, S. (2006). Long-term persistence and multifractality of precipitation and river runoff records. Journal of Geophys Res Atmospheres, 111 (D1). <https://doi.org/10.1029/2005JD005881>.
- Kayano, M., Andreoli, R. (2007). Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. International Journal of Climatology, 27. <https://doi.org/10.1002/joc.1417>.
- Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. 4<sup>a</sup> ed. London: Charles Griffin.
- Kim, Y.C., Powers, E. J. (1979). Digital bispectral analysis and its applications to nonlinear wave Interactions. IEEE Trans. Plasma Science, 1, 120-131.
- Kirby, R. H., Reams, M. A., Lam, N. S. N., Zou, L., Dekker G. G. J. y [Fundter](#), D. Q. P. (2019). Assessing Social Vulnerability to Flood Hazards in the Dutch Province of Zeeland. International Journal Disaster Risk Science, 10, 233–243. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-0222-0>
- Kirchmeier Young, M. C., Zhang, X. (2020). Human influence has intensified extreme precipitation in North America. Earth, Atmospheric, And Planetary Sciences, 117 (24), 13308 – 13313. <https://doi.org/10.1073/pnas.1921628117>
- Kirschbaum, D., Kapnick, S. B., Stanley, T., Pascale, S. (2020). Changes in Extreme Precipitation and Landslides Over High Mountain Asia. Geophysical Research Letters, 47 (4), e2019GL085347. <https://doi.org/10.1029/2019GL085347>
- Kokot, R. R.; Codignotto, J. O., Elissondo, M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59 (3), 477-487.
- Koks, E., Jongman, B., Husby, T., Botzen, W. (2015). Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. Environmental science and policy, 1 (47), 42-52.

- Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I. (2022). Are Pluvial and Fluvial Floods on the Rise? *Water*, 14, 2612. <https://doi.org/10.3390/w14172612>
- Kurz, M. (1990). *Synoptic Meteorology. Training guidelines of the German Meteorological Service*, 200 pág.
- La Nueva. (Julio 29, 2006). El río Negro, a un metro de desbordarse. <https://www.lanueva.com/nota/2006-7-29-9-0-0-el-rio-negro-a-un-metro-de-desbordarse>.
- Lavell, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. <http://www.ceprode.org.sv/staticpages/pdf/spa/doc15036/doc15036.htm>
- Lawal Dano, U., Lateef Balogun, A., Nasir Matori, A., Wan Yusouf, K., Rimi Abubakar, I., Dijo Mohamed, M. A., Pradhan, B. (2019). Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia. *Water*, 11(3), 615. <https://doi.org/10.3390/w11030615>
- Le Provost, C. (1991). Generation of overtides and compound tides (review), in *Tidal Hydrodynamics*, edited by B. B. Parker, pp. 269–295, John Wiley, Toronto, Canada.
- Leyba, I. m. (2020). Estudio de la interacción océano-atmósfera el Atlántico Sur y su rol en la precipitación en el sur de Sudamérica. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. [https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/BDUBAFCEN\\_07cbe27c460a01915c84da43b5785da2](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/BDUBAFCEN_07cbe27c460a01915c84da43b5785da2)
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. Ingram Olkin, Harold Hotelling, et alia, Stanford University Press. 278-292.
- Liendro Moncada, J.V., Ojeda, E. C. (2018). Aproximación al mapa de susceptibilidad a inundación en la cuenca del río Boconó, Estado Trujillo, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, XXXIV (55). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72156172012>
- Liu, W.C., Hsieh, T.H., Liu, H.M. (2021). Flood Risk Assessment in Urban Areas of Southern Taiwan. *Sustainability*, 13, 3180. <https://doi.org/10.3390/su13063180>
- Livigni, O. N. (2022). A 121 años de la gran inundación que destruyó Viedma en 1899. *Nativa Radio 101.1*. [A 121 años de la gran inundación que destruyó Viedma en 1899/Por Omar N. Livigni – APP – Agencia de noticias Patagónica \(appnoticias.com.ar\)](https://www.appnoticias.com.ar/a-121-anos-de-la-gran-inundacion-que-destruyo-viedma-en-1899/).
- Loikith, P. C., Detzer, J., Mechoso, C. R., Lee, H., Barkhordarian, A. (2017). The Influence of Recurrent Modes of Climate Variability on the Occurrence of Monthly Temperature Extremes Over South America. *JGR Atmospheres*, 122 (19), 10297-10311. <https://doi.org/10.1002/2017JD027561>
- Longo, A.C., Moreira, S., Perillo, G. M. E. (2018). Estudio del impacto de la actividad de los diques de la cuenca del río Negro sobre la evolución geomorfológica de los bancos de sedimentos de su estuario inferior, Río Negro, Patagonia Argentina. [Resumen

- extendido]. Séptimo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología (GEOCUAR 2018).
- López Armero, I., Granda Maestre, R., Gómez Cantero, J. (2021). Las inundaciones en España y en Europa: un problema que sube de nivel. Segunda parte. Documento de Opinión IEEE 130/2021. [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_opinion/2021/DIEEEO130\\_2021\\_JONGOM\\_Inundaciones.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2021/DIEEEO130_2021_JONGOM_Inundaciones.pdf)
- López de la Cruz, J. (2013). Análisis estadístico y modelación del régimen de las crecidas en ríos de la España peninsular en un contexto no estacionario. [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de València.
- Lorente Casteló, J., Casas Castillo, M.C., Rodríguez Solà, R., Redaño, A. (2013). Intensidades extremas y precipitación máxima probable. In book: Fenómenos meteorológicos adversos en España (pp.142-155). Chapter: Intensidades extremas y precipitación máxima probable. Editors: AMV Ediciones. [https://www.researchgate.net/publication/257303983\\_Intensidades\\_extremas\\_y\\_precipitacion\\_maxima\\_probable/](https://www.researchgate.net/publication/257303983_Intensidades_extremas_y_precipitacion_maxima_probable/)
- Luchsinger, H. (2006) The late Quaternary landscape history of the middle rio Negro valley, Northern Patagonia, Argentina: Its impact on preservation of the archaeological record and influence on Late Holocene human settlement patterns. Tesis Doctoral, AyM Texas University, Texas. (Inédito)
- Machiwal D., Moharana P. C., Kumar S., Srivastava V., Bhandari S. L. (2021). Exploring Temporal Dynamics of Spatially - Distributed Groundwater Levels by Integrating Time Series Modeling with Geographic Information System. Geocarto International, 36 (12), 1325-1345. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1648561>
- McKeen, S. A., Wilczak, J., Grell, G., Djalalova, I., Peckham, S., Hsie, E., Gong, W., Bouchet, V., Menard, S., Moffet, R., McHenry, J., McQueen, J., Tang, Y., Carmichael, G. R., Pagowski, M., Chan, A., Dye, T., Frost, G., Lee, P., Mathur, R. (2005). Assessment of an ensemble of seven realtime ozone forecasts over eastern North America during the summer of 2004, J. Geophys. Res., 110, D21307, doi:10.1029/2005JD005858.
- Madruga de Brito, M., Evers, M., y Delos Santos Almoradi, A. (2018). Participatory flood vulnerability assessment: a multi-criteria approach. Hydrology and Earth System Science, 22, 373-390. <https://doi.org/10.5194/hess-22-373-2018>
- Mann, H. B. (1945). Non-parametric tests against trend. Econometria, 13, 246.
- Mantua, N., Hare, S., Zhang, Y., Wallace, J., Francis, R. (1997). A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 1069–1079.
- Mantua, N. J., Hare, S. R. (2002). The Pacific Decadal Oscillation. Journal of Oceanography, 58, 35-44.



- Marshall, G. J. (2003). Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *Journal of Climatology*, 16, 4134 - 4143.
- Marienhoff, M. S. (1971). Régimen y legislación de las aguas públicas y privadas, Abeledo-Perrot, Buenos Aires.
- Marizza, M. S., Rapacioli, R., Vives, L. (2010). La problemática aluvional en el Alto Valle del Río Negro, Argentina. *Tecnología, Ciencia y Agua*, 1(1), 21-34. versión On-line ISSN 2007-2422
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman. Caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8 (2). <https://www.redalyc.org/pdf/1804/180414044017.pdf>
- Marzouk, O. (2021). Assessment of Global Warming in Al Buraimi, Sultanate of Oman Based on Statistical Analysis of NASA POWER Data Over 39 Years, and Testing the Reliability of NASA POWER Against Meteorological Measurements (March 24, 2021). *Heliyon (Cell Press, part of Elsevier)*, 7(3), e06625. <https://ssrn.com/abstract=4032482>
- Mason, K., Lindberg, K., Haenfling, C., Schori, A., Marsters, H., Read, D., Borman, B. (2021). Social Vulnerability Indicators for Flooding in Aotearoa New Zealand. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 3952. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083952>
- Mastrandrea, A., Ángeles, G. (2020). Aplicación de un índice de vulnerabilidad social. El caso de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires (Argentina). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 12 (16), 1-28. [https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/802/Mastrandrea\\_Aplicación%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/802/Mastrandrea_Aplicación%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Maya, M.A. (2020). Estimación del peligro de inundaciones: actores y respuestas sociales frente al escenario de riesgo en los barrios del sur de Mar del Plata, Buenos Aires (Argentina). *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, (27), 40. DOI: <https://doi.org/10.37838/unicen/est.27-040>
- Mayo A. H., Mitrani Arenal, I. (2022). Período de retorno de las inundaciones costeras en el archipiélago cubano. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XLIII(1), 3-11. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v43n1/1680-0338-riha-43-01-3.pdf>
- Mazzoni, E. (2010). Desertificación en la Patagonia. *Developments in Earth Surface Processes*, 13, 2- 7. DOI 10.1016/S0928-2025(08)10017-7.
- Mazzulla, J. (1974), El valle inferior del Río Negro como polo de desarrollo. Tesis doctoral. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas [http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/tesis/document/1501-1045\\_MazzullaJ](http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/tesis/document/1501-1045_MazzullaJ)

- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. DOI: [10.1080/01431169608948714](https://doi.org/10.1080/01431169608948714)
- McFeeters, S. (2013). Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach. *Remote Sensing*, 5 (7), 3544–3561. doi:10.3390/rs5073544.
- Melo Cuellar, D., A., Pinzón Pico, J. S. (2020). Identificación y análisis de los factores de riesgo en el municipio de Charalá Santander para el fortalecimiento de este componente en el esquema de ordenamiento territorial. [Tesis en Ingeniería]. Universidad de la Salle. Ciencia Unisalle. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1854/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1854/)
- Mehta, V. M. (1998), Variability of the tropical Ocean surface temperatures at decadal-multidecadal timescales: I. The Atlantic Ocean, *Journal of Climatology*, 11, 2351 – 2375.
- Merg C., Petri D. (1998). Red Alerta Sudestadas en el Valle Inferior del Río Negro Departamento Provincial de Aguas Provincia de Río Negro, Viedma, 21p.
- Meteoblue (Enero 15, 2022). Conjunto de Datos de Reanálisis. <https://content.meteoblue.com/es/especificaciones/origen-de-los-datos/datos-de-simulacion-meteorologica/conjunto-de-datos-de-reanalisis#:~:text=Los%20datos%20de%20reanálisis%20meteorológica,realista%20de%20las%20ocurrencias%20climáticas.>
- Meza, J. C., Ramirez, M. L., Contreras, F. I. (2017). Cartografía de áreas de riesgo a inundaciones y anegamientos a partir de modelos digitales de elevación de General José de San Martín, (Chaco, República Argentina). *Contribuciones Científicas GAEA*, 29, 149-164.
- Misa, G. (1978). La Patagonia: el potencial hídrico. CEAL.
- Montealegre, E., Pabon, D. (2002) Seguimiento, Diagnóstico y Predicción Climática en Colombia. Universidad Nacional: *Revista Meteorología Colombiana* 5: 1- 8.
- Montecelos Zamora, Y. (2010). Evaluación de la peligrosidad por tasa de escorrentía superficial en la Cuenca del Río Cauto. Sector Provincia Granma. Cuba. [Tesis de Maestría]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Jorge Dimitrov.
- Moreira, D., Simionato, C. G., Gohin, F., Cayocca, F., Tejedor, M. L. C. (2013). Suspended matter mean distribution and seasonal cycle in the Río de la Plata estuary and the adjacent shelf from ocean color satellite (MODIS) and in-situ observations. *Continental Shelf Research*, 68, 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.08.015>.
- Moreira, D., Simionato, C. (2019). Hidrología y circulación del estuario del Río de la Plata. *Meteorologica*, 44 (1), 1 – 30.
- Moreira-Muñoz, A. (2011). *Plant Geography of Chile*. Springer Series: Plant and Vegetation 5. Springer, New York, 320 p.

- Morello, J., Matteucci, S. D., Rodríguez, A. F., Silva, M. (2012). Ecorregiones y complejos ecosistémicos Argentinos. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora S.R.L. ISBN: 978-9-871922-00-0.  
[https://www.researchgate.net/publication/268447092\\_Ecorregiones\\_y\\_complejos\\_ecosistemicos\\_Argentinos](https://www.researchgate.net/publication/268447092_Ecorregiones_y_complejos_ecosistemicos_Argentinos)
- Moreno, C., Múnera, A. (2000). Riesgos y vulnerabilidad: un enfoque de Actuación en lo urbano [versión electrónica]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Moretto, B., Gentili, J. O. (2021). Percepción del riesgo de inundación y anegamiento en el partido de Coronel Suárez (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 61, 57-77.
- Municipalidad de Carmen de Patagones. (2019). Plan de acción climática Patagones 2019. Estrategias de Mitigación y adaptación al cambio climático 2018 – 2030. <https://pactodealcaldes-la.org/wp-content/uploads/2017/10/Plan-Local-de-Acción-Climática-Patagones.pdf>
- Musi Saluj, C. (2018). Caracterización climática del Valle Inferior del río Negro. Informe Climático. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/informe\\_climatologico\\_valle\\_inferior.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/informe_climatologico_valle_inferior.pdf)
- Nahiduzzaman, K. M., Aldosary, A. S., Rahman, M. T. (2015). Flood induced vulnerability in strategic plan making process of Riyadh city. *Habitat International*, 49, 375-385.  
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.05.034>
- Nakamura, H., Shimpō, A. (2004). Seasonal Variations in the Southern Hemisphere Storm Tracks and Jet Streams as Revealed in a Reanalysis Dataset. *Journal of Climate*, 17, 1828-1844. 10.1175/1520-0442(2004)017<1828:SVITSH>2.0.CO;2.
- Nan, S., Li, J. (2003). The relationship between summer precipitation in the Yangtse River Valley and the previous Southern hemisphere Annular Mode. *Geophys. Res. Letters* 30, 24: 2266.
- Natenzon, C. E., González, S. G. (2010). Riesgo Vulnerabilidad social y construcción e indicadores. Aplicaciones para Argentina. En M. Arroyo y P. Zusman, P. (Org.). *Argentina e Brasil. Posibilidades e obstáculos no proceso de integração territorial* (pp. 195-217). Universidade de São Paulo/ Universidad de Buenos Aires. San Pablo: Humanitas.
- Natenzon, C y Ríos, D. (2015). Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. Aporte desde la geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones Imago Mundi.
- Nieto H. D., Álvarez, J. E., Rodríguez, E. L. (2016) Análisis de persistencia en acciones financieras en el mercado colombiano a través de la metodología de Rango Reescalado (R/S). *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, XII (22), 23-32. ISSN: 1900-5016.

- Nnamchi, H.C., Li, J.P., Anyadike, R.N.C. (2011) Does a Dipole Mode Really Exist in the South Atlantic Ocean?. Journal of Geophysical Research, 116, D15104. <https://doi.org/10.1029/2010JD015579>
- NOAA. (2007). Tidal Analysis and Prediction. NOAA Special Publication NOS CO-OPS 3. Library of Congress Control Number: 2007925298. Maryland: Center for Operational Oceanographic Products and Services.
- NOAA (2022). Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time-Series. <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>
- Nogué, J., Albert, A. (2007). Desafíos para una ciudadanía inclusiva en la sociedad mundializada. En Aronson (Coord.). Notas para el estudio de la globalización. Editorial Ariel. 159 – 202.
- Noticiasnet. (Julio 27, 2020). Otra ocupación ilegal de terrenos: ahora en el acceso a la ciudad. <https://www.noticiasnet.com.ar/noticias/2020/07/27/65503-otra-ocupacion-ilegal-de-terrenos-ahora-en-el-acceso-a-la-ciudad>
- Noticiasnet. (Julio 21, 2022). A 123 años de la gran inundación en la que Viedma estuvo a punto de desaparecer. <https://www.noticiasnet.com.ar/noticias/2022/07/21/107686-a-123-anos-de-la-gran-inundacion-en-la-que-viedma-estuvo-a-punto-de-desaparecer>
- Noticias Río Negro. (Septiembre 3, 2019). Una sudestada inundó calles de la costanera y afectó varios inmuebles. <https://www.noticiasrionegro.com.ar/noticia/32896/una-sudestada-inundo-calles-de-la-costanera-y-afecto-varios-inmuebles>
- Noticias Río Negro. (Abril 19, 2022). Pobreza: más de 28.000 vecinos de Viedma y Patagones no cubren las necesidades básicas. <https://www.noticiasrionegro.com.ar/noticia/59804/pobreza-mas-de-28000-vecinos-de-viedma-y-patagones-no-cubren-las-necesidades-basicas>
- Nunes, A. N. , Lopes, P. (2016). Streamflow Response to Climate Variability and Land-Cover Changes in the River Beça Watershed, Northern Portugal. In (Ed.), River Basin Management. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/63079>
- Nuñez, M.N., Solman, S., Menéndez, C., Rolla, C.C.A., Cabré, M.F. (2005). Estimación de escenarios regionales de cambio climático mediante el uso de modelos climáticos regionales. 2da Comunicación Nacional de Cambio Climático. Proyecto GEF. BIRF PF 51286 AR. CIMA/CONICET B-9 Modelos Climáticos Regionales. Buenos Aires.
- OEA. (1993). Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Washington, D.C.: Organización de los Estados Americanos.
- Olcina, J. Ayala - Carcedo, F. (2002). Riesgos naturales, conceptos fundamentos y clasificación. En: Ayala-Carcedo F. y Olcina, J. (coord.). Riesgos Naturales. Barcelona: Ariel S.A.

- Olín Fabela, L. A. (2017). Vulnerabilidad social por inundaciones. [Tesis de maestría]. Universidad del Estado de México. Repositorio Institucional UAEM. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/79908/Olin%20fabela%20Luis%20Alberto.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Olivera Acosta, J., Morales G., García Rivero, A., Salgado, E., López M., Estrada, R., Campos Dueñas, M. (2011). El uso de los SIG y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios peligrosos de inundaciones en cuencas fluviales. Estudio de caso cuenca Guanabo. *Proyección*, 10, 143-163.
- Ollero, A. (1997). Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico un planteamiento didáctico. *Lurralde Investigaciones España*, 20, 261-283. ISSN 1697-3070. Link: <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur20/200oller/ollero20.htm>
- ORSEP. (2017). Organismo Regulador de Seguridad de Presas - ORSEP <https://www.argentina.gob.ar/orsep>
- Osorio, J. A. (2019). Descripción de la experiencia adquirida durante el proceso de formulación del Plan de Desarrollo y Mejora Competitiva de la Micro Región Patagones Patagonia. [trabajo de intensificación]. Universidad Nacional Del Sur.
- Pabón, D. (1997). Variabilidad Climática. Organización Meteorológica Mundial. Técnicas Agrometeorológicas en la Agricultura Operativa de América Latina: 99-103.
- Panigatti, J. L. (2010). Argentina: 200 años, 200 suelos. Ediciones INTA. ISBN Nº 978-987-1623-85-3 <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-200-suelos.pdf>
- Paruelo, J., Beltrán, A.B., Jobbágy, E., Sala, O.E., Golluscio, R. (1998). The climate of Patagonia: General patterns and controls on biotic processes. *Ecologia Austral*, 8. 85-101.
- Paruelo, J. M., Pütz, S., Weber, G., Bertiller, M., Golluscio, R. A., Aguiar, M. R., Wiega, T. (2008). Long-term dynamics of a semiarid grass steppe under stochastic climate and different grazing regimes: A simulation analysis. *Journal of Arid Environments*, 72, 2211–2231. doi:10.1016/j.jaridenv.2008.07.010
- Pasquini, A., Depetris, P. (2007). Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. *J. Hydrology* (2007) 333:385- 399.
- Patle, G. T., Libang, A., Ahuja, S. (2016). Analysis of rainfall and temperature variability and trend detection: A nonparametric Mann Kendall test approach. Nova Deli: 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom). IEEE; 1723-1727. <https://www.semanticscholar.org/paper/Analysis-of-rainfall-and-temperature-variability-A-Patle-Libang/4060185544fad3be95e86bda615173cce52a61aa>

- Penalba, O.C., Ribera, J.A. (2016). Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America– emphasis in regional drought occurrences. *Advances in Geosciences*. 42, 1-14. doi: <https://10.5194/adgeo-42-1-2016>
- Peña Rabadán, J. C. (2015). La reconstrucción de la dinámica fluvial y su conexión con la variabilidad climática a partir de fuentes documentales y registros instrumentales. [Tesis Doctoral]. Universidad de Barcelona.  
[https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/397713/JCPR\\_11de13.pdf?sequence=11yisAllowed=y](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/397713/JCPR_11de13.pdf?sequence=11yisAllowed=y)
- Perazzo, R., Ferrari Bono, B. (1960). Hidrología e hidrografía, en Plan de desarrollo agrícola del valle de Viedma. Consejo Agrario Nacional – Intaconsult.
- Pereira, D. (2023). Wind Rose. MATLAB Central File Exchange. (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47248-wind-rose>).
- Pérez Morando, H. (2005, 24, octubre). Inundaciones y mudanzas de pueblos. *Diario Rio Negro*.  
<https://www.rionegro.com.ar/inundaciones-y-mudanzas-de-pueblos-FFHRN05102416241401/>
- Perles Roselló, M. J. (2004). Evolución histórica de los estudios sobre riesgos. Propuestas temáticas y metodológicas para la mejora del análisis y gestión del riesgo desde una perspectiva geográfica. *Baetica, Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 26, 103-127. ISSN-e 2695-7809. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1091535>
- Petri, D. (1992). Informe Crecida 1992 en el Curso. Inferior del Río Negro. Departamento Provincial de Aguas. 10p.
- Pessacg, N., Flaherty, S., Solman, S., Pascual, M. (2020). Climate change in northern Patagonia: critical decrease in water resources. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 807–822. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03104-8>
- Pessacg, N., Blázquez, J., Lancelotti, J., Solman, S. (2022). Climate Changes in Coastal Areas of Patagonia: Observed Trends and Future Projections. In: “Global Change in Atlantic Coastal Patagonian Ecosystems”. (Eds EW Helbling, MA Narvarte, RA González, VE Villafañe). Springer, Cham: New York
- Piccolo, M.C., 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*. Berlín: Environmental Science Series, Springer-Verlag. 101-132.
- Pizarro, R. (2001). La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina. *Estudios Estadísticos y Prospectivos*, 6. División de Estadística y Proyecciones Económicas. CEPAL. Santiago de Chile: Naciones Unidas.  
[http://repositorio.cepal.org/handle/I\\_1362/4762](http://repositorio.cepal.org/handle/I_1362/4762)
- Portal Riesgo IGN (2018). Riesgo de desastres. Instituto Geográfico Nacional.  
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>

- Portal Defensa y seguridad IGN (2022). Defensa y seguridad. Instituto Geográfico Nacional.  
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- Portal Geodesia y demarcación IGN (2022). Geodesia y demarcación. Instituto Geográfico Nacional.  
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- Portal Hábitat e infraestructura social IGN (2022). Hábitat e infraestructura social. Instituto Geográfico Nacional.  
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- Portal Hidrografía y oceanografía IGN (2022). Hidrografía y oceanografía. Instituto Geográfico Nacional.  
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- Portal Transporte IGN (2022). Transporte . Instituto Geográfico Nacional.  
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- Portal Vegetación natural y de cultivo IGN (2022). Vegetación natural y de cultivo. Instituto Geográfico Nacional.  
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- POWER NASA Project. (2021). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resource.  
<https://power.larc.nasa.gov7>
- Prabhakar, A. K, Singh, K. K., Lohani A. K., Chandniha, S. K. (2017). Long term rainfall variability assessment using modified Mann-Kendall test over Champua watershed, Odisha. Journal of Agrometeorology, 19(3), 288-289.  
<https://journal.agrimetassociation.org/index.php/jam/article/view/676/571>
- Prado González, S. (2017). "Caracterización de la circulación meridional Atlántica en 26,5°C N. [Tesis de grado]. Universidad de Vigo. [https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/06/TFG\\_Sofia\\_FINAL.pdf](https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/06/TFG_Sofia_FINAL.pdf)
- Prates, L. (2008) Los indígenas del río Negro: un enfoque arqueológico. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología. 321.
- Prates, L. R., Martínez, G. A., Belardi, J. B. (2019). Los ríos en la arqueología de Norpatagonia (Argentina). Revista del Museo de La Plata, 4(2), 633-656.
- Prohaska, F. (1976). The Climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. World Survey of Climatology, 2, 532.
- Pregolato, M., Ford, A., Wilkinson, S. M., Dawson, R. J. (2017). The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 55, 67-81. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.020>
- Principi, N. (2020). Mapa de la vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad de Luján (Buenos Aires, Argentina) a partir de la metodología del Valor de Índice Medio. POSICIÓN 3. ISSN 2683-8915 [en línea].

- Proag, V. (2014). The concept of vulnerability and resilience. *Procedia Economics and Finance*, 18, 369-376. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567114009526>
- QGIS. (2022). QGIS. Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto. <https://www.qgis.org/es/site/>
- Rabuffetti, A. P. (2018). Influencia de la variabilidad climática sobre la composición de la comunidad íctica en el tramo medio del Río Paraná. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional del Litoral. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/87994?show=full>
- Red de Alerta de sudestadas. (Julio 4, 2020). Importante aumento de caudal que podría generar complicaciones en la zona ribereña. <https://m.facebook.com/ViedmaMuni/photos/a.419428261405259/3682122778469108/?type=3&eid=ARBEOS6M1StYfYvdWnPhFvrkLuvPW22TzI4R-UL0XUB1pIYcv3UpYZSYhm42wfXmf8V35tVJ61bWOGib>
- Ramírez, F., Coll, M., Navarro, J., Bustamante, J., Green, A. (2018). Spatial congruence between multiple stressors in the Mediterranean Sea may reduce its resilience to climate impacts. *Scientific Reports*. 8. 10.1038/s41598-018-33237-w.
- Ramos, M. B., Campo, A. M. (2008). Caracterización de estados de tiempo en el suroeste bonaerense, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 40, 85 – 97. <http://www.scielo.cl/scielo.php>
- Renda, E., Rozas Garay, R., Moscardini, O., Torchia, N. P. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Buenos Aires: Ministerio de Seguridad de la Nación. ISBN 978-987-1560-75-2
- Reverter, M., Gonzalo Ginés, A., Magnin, S. (2005). Estabilización de márgenes y defensa contra inundaciones en la ciudad de Viedma – Río Negro. Principios y Aplicaciones en Hidráulica de Ríos. H. D. Farias, J. D. Brea y R. Cazeneuve (Editores). ISBN 987-20109-4-3 (CD-ROM) y 987-20109-5-1 (libro). Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Neuquén, Argentina, 2-4 nov. 2005. Disponible en: [http://irh-fce.unse.edu.ar/TC/TC\\_Reverter\\_et\\_al\\_\\_Estab\\_Margenes\\_Viedma.pdf](http://irh-fce.unse.edu.ar/TC/TC_Reverter_et_al__Estab_Margenes_Viedma.pdf)
- Rey, H., Entraigas, J., Vovcon, R. (1981). De la laguna el Juncal a las chacras del Idevi. Instituto de Desarrollo del Valle Inferior. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro\\_laguna\\_el\\_juncal\\_en\\_pdf.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_laguna_el_juncal_en_pdf.pdf)  
[http://irh-fce.unse.edu.ar/TC/TC\\_Reverter\\_et\\_al\\_\\_Estab\\_Margenes\\_Viedma.pdf](http://irh-fce.unse.edu.ar/TC/TC_Reverter_et_al__Estab_Margenes_Viedma.pdf)
- Ribas, A. y Saurí, D. (2006). De la geografía de los riesgos a las geografías de la vulnerabilidad. En: NOGUÉ, J. y ROMERO, J. (eds.), *Las otras geografías*. Valencia: Tirant lo Blanc. 285-300.
- Ribera, J. A., Penalba, O. C. (2015). El Niño/La Niña events as a tool for regional drought monitoring in SouthernSouth America. En J. Andreu, A. Solera, J. Paredes-Arquiola, D.



- Haro-Montegudo y H. van Lanen (Eds.). Drought: Research and Science-Policy Interfacing (pp. 293-299). Londres: CRC Press
- Río Negro Online. (Agosto 7, 2001). Las calles en Guardia Mitre se hicieron ríos y los cauces secos se llenaron. <http://www1.rionegro.com.ar/arch200108/s07s17b.html>
- Río Negro Online (Julio 11, 2003). Mucho frío, viento y granizo en Viedma. <http://www1.rionegro.com.ar/arch200307/s11p25.html>
- Robles Iriarte, M. (2019). Riesgos naturales en medios semiáridos: caso Quebrada Santa Gracia afluente. Revista Dos Puntas, XI (19), 16-41. <http://www.revistadospuntas.com/gallery/dos%20puntas%2019.pdf#page=16>
- Rodríguez, G. C., Braga, R. P. (2021). Evaluation of POWER NASA Reanalysis Products to Estimate Daily Weather Variables in a Hot Summer Mediterranean Climate. Agronomy, 11, 1207. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061207>
- Rodríguez Aguilar, R. (2012). El coeficiente de Hurst y el parámetro  $\alpha$  -estable para el análisis de series financieras. Aplicación al mercado cambiario mexicano. Contaduría y Administración 59 (1), 149-173.
- Rojas, O., Mardones, M., Rojas, C., Martínez, C., Flores, L. (2017). Urban growth and flood disasters in the coastal river basin of south-central Chile (1943-2011). Sustainability, 2 (9). <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/2/195>.
- Rojas Vilches, O., Martínez Reyes, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. Revista Universitaria de Geografía, 20(1), 83-116. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652011000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652011000100005&lng=es&tlng=es)
- Romero, P. E., Garbarini, E. M., González, M. H. (2014). Características hídricas y climáticas del norte Patagónico. II Encuentro de investigadores en formación en Recursos Hídricos, 9–10 Octubre 2014. Ezeiza: INA, 95. <https://www.ina.gob.ar/ifrh-2014/Eje3/3.33.pdf>
- 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. ISSN2422-5703 (En línea).
- Ropelewski, C.F., Jones, P.D. (1987). An Extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. Monthly Weather Review, 115, 2161-2165. <https://www.editoresasagai.org.ar/ojs/index.php/rgaia/article/view/105/92>
- Rostagno, C., Coronato, F., Del Valle, H., Puebla, D. (1999). Runoff and Erosion in Five Land Units of a Closed Basin of Northeastern Patagonia. Arid Soil Research and Rehabilitation, 13, 281-292. 10.1080/089030699263311.
- Rotger, D. V., Aversa, M., Jáuregui, E. (2018). Cambio climático, inundaciones y “lagunas” de información. Análisis de inundaciones a través del rastreo de artículos periodísticos en

- el Gran La Plata (Buenos Aires, Argentina). *Cad. Metrop*, 20 (42), 305-324.  
<http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2018-4201>, maio/ago 2018
- Rusticucci, M., Vargas, W. (2002). Cold and warm events over Argentina and their relationship with the ENSO phases: Risk evaluation analysis, *International Journal of Climatology*, 22, 467 – 483.
- Rusticucci, M. M.; Barrucand, M. G.; Collazo, S. M. (2017) Temperature extremes in the Argentina central region and their monthly relationship with the mean circulation and ENSO phases. *International Journal of Climatology*, 37 (6), 3003-3017.
- Rusticucci, M., Penalba, O. (2000). Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. *Climate Research* 16(1): 1-15 pp
- SAGyP-INTA. (1990). Suelos de la República de Argentina. Proyecto PNUD ARG/85/019, Instituto de Suelos y EEAs del INTA. <http://www.geointa.inta.gob.ar/descargas/>
- Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N., Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature* 401, 360-363
- Sánchez, J. E. (2020). Desarrollo sostenible de zonas áridas y semiáridas frente al cambio climático. 1ra edición. Ciudad Juárez: Universidad Juárez del Estado de Durango y El Colegio de la Frontera Norte.
- Sandon, L. (2019). Una metodología para la determinación de zonas susceptibles a inundaciones en la República Argentina y su potencial impacto en la salud humana. [Tesis de Magister]. Facultad de Matemática, Astronomía y Física y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario. Universidad Nacional De Cordoba.
- Santos da Silva H, Santos Silva J R, Stosic T (2020) Multifractal analysis of air temperature in Brazil. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 549. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124333>
- Sarochar, R. H., Ciappesoni, H. H., Ruiz, N. E. (2005). Precipitaciones convectivas y estratiformes en la pampa húmeda: una aproximación a su separación y aspectos climatológicos de ambas. *Meteorológica*, 30 (1 y 2), 77-88.
- Saucier, W. J. (1955). *Principles of Meteorological Analysis*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Savage, N. H., Agnew, P., Davis, L. S., Ordóñez, C., Thorpe, R., Johnson, C. E., O'Connor, F. M., Dalvi, M. (2013). Air quality modelling using the Met Office Unified Model (AQUUM OS24-26): model description and initial evaluation, *Geosci. Model Dev.*, 6, 353–372, doi:10.5194/gmd-6-353-2013.
- Sayago, S., Ovando, G., Bocco, M. (2017). Estimación de radiación solar diaria a partir de imágenes Nasa Power con distintos índices de claridad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 21, 08.49 - 08.58, 2017. ISSN 2314-1433.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+climática+de+la.pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3>

- Sedano Cruz, R. K. (2017). Influencia de la variabilidad climática en la modelación estadística de extremos hidrológicos en el Valle Alto del río Cauca, Colombia. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España
- Seluchi, M. E., Norte, F. A., Satyamurty, P., Chou, S. C. (2003). Analysis of Three Situations of the Foehn Effect over the Andes (Zonda Wind) Using the Eta–CPTEC Regional Model. *Weather and Forecasting*, 18 (3), 481 – 501.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2003\)18<481:AOTSOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2003)18<481:AOTSOT>2.0.CO;2)
- Servain, J. (1991). Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and Some Applications. *Journal of Geophysical Research*, 96 (C8), 15137-15146.
- Shaw, J., Taylor R. B., Solomon S., Christian H. A., Forbes D.L. (1998). Potential Impacts of Global Sea-Level Rise on Canadian Coasts. *The Canadian Geographer*, 42(4), 365-379.
- Shivam, G., Goyal, M. K., Sarma, A. K. (2019). Index-based study of future precipitation changes over Subansiri river catchment under changing climate. *Journal of Environmental Information*, 34(1), 1-14. ISSN: 1726-2135
- Shaban, M., Shalaby, R. M., Alameddine, H. (2018). Extreme Floods and their Causes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Water*, 10(8), 1055. doi: 10.3390/w10081055
- SHN. (2021). Servicio Hidrológico Naval. Tablas de Marea Astronómica. Fecha de consulta: 18 de octubre de 2021. [http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/RE\\_Mareas.asp](http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/RE_Mareas.asp)
- Shwerdtfeger, W. (1976). The atmospheric circulation over Central and South America. *Climates of Central and South America. World Survey of Climatology Series*, Elsevier. Vol. 12, pp.2–12.
- SIGMA. (2023). Mapas de Susceptibilidad.  
<https://experience.arcgis.com/experience/eedd0b9a835041efbaf04dcaae7bea6f/page/Susceptibilidad/>
- Silva Alves, K. M. A., Silva Nóbrega, R. (2017). Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó – Pernamcuco – Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, 58, 295–313. ISSN 1011-484.
- Silvestri, G., Vera, C.S. (2003). Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophysical Research Letters*, 30 (21), 21-15. ISSN 0094-8276.
- Simionato, C. G., Dragani, W. C., Nuñez, M. N., Engel, M. (2004). A set of 3-D nested models for tidal propagation from the Argentinian Continental Shelf to the Río de la Plata Estuary. *Journal of Coastal Research*, 20(3), 893–912.
- Simionato, C. G., Meccia, V. L., Dragani, W. C., Guerrero, R., Nuñez, M. N. (2006). Río de la Plata estuary response to wind variability in synoptic to intraseasonal scales: Barotropic

- response. Journal of Geophysical Research: Oceans, 111(C9).  
<https://doi.org/10.1029/2005JC003297>.
- SMN. (1989a). Inundaciones, sudestadas y crecientes repentinas. Boletín Informativo nº 2. 3ª edición. Buenos Aires.
- SMN (1989b). Tormentas. Boletín Informativo 42. Buenos Aires
- SMN. (2020). Listado de Estaciones Meteorológicas del SMN. Ministerio de Defensa. Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en: <https://datos.gob.ar/dataset/smn-listado-estaciones-meteorologicas-smn>
- SMN (2021). Descarga del Catálogo de Datos Abiertos del SMN.  
<https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>
- SMN. (2023). ¿Qué son los vientos intensos? <https://www.argentina.gob.ar/sinagir/riesgos-frecuentes/vientos-intensos>
- SNIH. (2021). Sistema Nacional de Información Hídrica. Consultado: 1ro de septiembre de 2021. <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/hidricas/base-de-datos-hidrologica-integrada>
- Soldano, F. A. (1947). Régimen de aprovechamiento de la red fluvial argentina. Módulo III: Región Patagónica. Editorial Cimera. 159 – 219.
- Soto, M. V., Märker, M., Paz Castro, C., Rodolfi, G. (2015). Análisis integrado de las condiciones de amenaza natural en el medio ambiente costero semiárido de Chile. La Serena, Coquimbo. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 67, 213-231.  
<https://doi.org/10.21138/bage.1824>
- SSRH – INA. (2002). Subsecretaría de Recursos Hídricos. Descripción de cuencas hídricas superficiales. Fecha de consulta: febrero 2020.
- SSRH. (2010). Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos. <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/hidricas/cartografia-hidrica-provincial>
- Stackhouse, P. W., Barnett, A. J., Tisdale, M., Tisdale, B., Chandler, W., Hoell, J. M., Jr., Westberg, D. J., Quam, B. (2015). A Beta Version of the GIS-Enabled NASA Surface meteorology and Solar Energy (SSE) Web Site With Expanded Data Accessibility and Analysis Functionality for Renewable Energy and Other Applications. American Geophysical Union.  
[https://www.google.com/url?sa=tyrct=jyq=yesrc=sysource=webycd=1ycad=rjyuact=8yved=2ahUKEwiUxLWmwrvoAhWbGLkGHef9B1UQFjAAegQIBhABYurl=https%3A%2F%2Fui.adsabs.harvard.edu%2Fabs%2F2015AGUFMIN42A..08S%2Fabstractyusq=AOvVaw3\\_XYNaeT7MFvIC4Kw3pZiD](https://www.google.com/url?sa=tyrct=jyq=yesrc=sysource=webycd=1ycad=rjyuact=8yved=2ahUKEwiUxLWmwrvoAhWbGLkGHef9B1UQFjAAegQIBhABYurl=https%3A%2F%2Fui.adsabs.harvard.edu%2Fabs%2F2015AGUFMIN42A..08S%2Fabstractyusq=AOvVaw3_XYNaeT7MFvIC4Kw3pZiD)
- Stella, J. L. (2018). Patrones mensuales de precipitación y temperatura media asociados a la Oscilación Antártica (AAO) o Modo Anular del Sur (SAM) sobre el territorio argentino.

- XIII CONGREGMET del 16 al 19 de octubre de 2018 en la ciudad de Rosario, Santa Fe, Argentina. <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/954>
- Swami A., Mendel, J. M., Nikias, C. L. (1998). Higher-Order Spectral Analysis Toolbox. For Use with MATLAB User's Guide. Version 2. Third printing. The MathWorks, Inc. Mail. 24 Prime Park Way. EE.UU.
- Szewrański, S., Swiader, M., Kazak, J., Tokarczyk-Dorociak, K., Hoof, J. (2018). Socio-Environmental Vulnerability Mapping for Environmental and Flood Resilience Assessment: The Case of Ageing and Poverty in the City of Wrocław, Poland. *Integrated environmental assessment and management*, 14, 592-597. <https://doi.org/10.1002/ieam.4077>.
- Taboada, M. A., Damiano, F. (2017). Inundación y manejo de suelos en la Argentina. In S. Wladman (Ed.), *Inundaciones y manejo de cuencas: Clima, suelo, prácticas agrícolas, medio ambiente* (pp. 145-169). Orientación Gráfica.
- Tascón González, L., Montserrat Ferrer, J., Ruiz, M., García-Meléndez, E. (2020). Social Vulnerability Assessment for Flood Risk Analysis. *Water*, 12(2), 558. <https://doi.org/10.3390/w12020558>
- Tate, E., Rahman, M.A., Emrich, C.T., Sampson, C.C. (2021). Flood exposure and social vulnerability in the United States. *Natural Hazards*, 106, 435–457. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04470-2>
- Tejedor, M. L. C, Simionato, C. G., D'Onofrio, E. E., Moreira, D. (2015). Future sea level rise and changes on tides in the Patagonian Continental Shelf. *Journal of Coastal Research*, 313, 519–535. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-13-00127.1>.
- Tellman, B., Sullivan, J., Kuhn, C., Kettner, A., Doyle, C., Brakenridge, G., Erickson, T., Slayback, D. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596, 80-86. [10.1038/s41586-021-03695-w](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w).
- Thompson, D. W. J., Wallace, J. M. (2000). Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate*, 13, 1000-1016. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)01360;1000:amitec62;2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)01360;1000:amitec62;2.0.co;2).
- Torrence, C., Compo, G. P. (1998): A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61-78.
- Torrence, C., Webster, P. (1999). Interdecadal Changes in the ENSO Monsoon System. *Journal of Climatology*, 12, 2679–2690.
- Torrens, C. V, Junio, E. M. (2016). Expansión urbana y problemática ambiental en el Alto Valle del río Negro. *Revista El Ojo del Cóndor*, 7, 4 - 9. ISSN 1853 9505.
- Trenberth, K.E. (1991). Storm Tracks in the Southern Hemisphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48, 2159-2178. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1991\)048<2159:STITSH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1991)048<2159:STITSH>2.0.CO;2)

- Trenberth, K. E. (1984). Signal versus Noise in the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 112, 326 - 332.
- Trenberth, K.E., Hoar, T.J. (1996). The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation Event Longest on Record. *Geophysical Research Letters*, 23, 57-60
- Trenberth, K. E. (1997). The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2771-2777
- Trenberth, K. E., Smith, L., Qian, T., Dai, A., Fasullo, J. (2007). Estimates of the Global Water Budget and Its Annual Cycle Using Observational and Model Data. *Journal of Hydrometeorology*, 8(4), 758–69. <http://www.jstor.org/stable/24911466>.
- Tucci, C. (2005). *Gestão de inundações urbanas*. Porto Alegre, UNESCO-PHI.
- Tucker, J., Daoud, M., Oates, N., Few, R., Conway, D., Mtisi, S., Matheson, S. (2015). Social vulnerability in three high-poverty climate change hot spots: What does the climate change literature tell us?. *Regional Environmental Change*, 15, 783–800. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0741-6>
- UERRA. (2023). Uncertainties in ENSEMBLES OF Regional Reanalyses. <https://uerra.eu/outreach/data-and-products/data-sets.html>
- Unesco (2014). *Gestión del Riesgo de Desastres para el Patrimonio Mundial*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia. ISBN 978-92-3-304165-3. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000228134>
- UNISDR. (2009). Terminología sobre reducción del Riesgo de desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas. Suiza: Naciones Unidas. [https://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)
- UNL-DPA Río Negro. (2004). Análisis de frecuencia de Alturas máximas en el Río Negro, área de influencia de la comarca Viedma-Carmen de Patagones. Informe Final. Facultad de Ingeniería y ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Departamento Provincial de Aguas de Río Negro. [inédito]
- USACE. (2006). Coastal Engineering Manual. Engineer Manual, II, 1720. Link: <http://download.library1.org/main/1006000/3b661a9d3c9015dfaa094a55e39eb279/-Coastal%20Engineering%20Manual-U.S.%20Army%20Corps%20of%20Engineers%20%282002%20%2006%29.pdf>.
- USGS. (2021). U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov>
- Velázquez, G., Mikkelsen, C., Linares, S., Celemín, J. P. (2010). *Calidad De Vida En Argentina. Ranking Del Bienestar Por Departamentos* (2010). 1a ed. - Tandil : Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. ISBN 978-950-658-357-6
- Vergara Noriega, S. L. (2020). Análisis de amenaza por inundaciones en el municipio de San Marcos, Sucre mediante la evaluación multicriterio en sistemas de información

- geográfica. [Tesis de grado]. Universidad de Córdoba. Repositorio Unicordoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/2600>
- Viand, J., González, S. (2012). Crear riesgo, ocultar riesgo: gestión de inundaciones y política urbana en dos ciudades argentinas. Primer Encuentro de Jóvenes Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Ezeiza, Instituto Nacional del Agua. Disponible en: [http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/01\\_027\\_Viand.pdf](http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/01_027_Viand.pdf)
- Viale, M., Garreaud, R. (2015). Orographic effects of the subtropical and extratropical Andes on upwind precipitating clouds: effects of the Andes on precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120. 10.1002/2014JD023014.
- Vicente-Serrano M., Beguería, S. López-Moreno, J. I. (2010). A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *Journal of Climate*, 23(7), 696-1718. <http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
- Vich, A. I. J., Norte, F. A., Lauro, C. (2014). Análisis regional de frecuencias de caudales de ríos pertenecientes a cuencas con nacientes en la cordillera de Los Andes. *Meteorologica*, 39(1), 3-26. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-468X2014000100001&lng=es&tyng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2014000100001&lng=es&tyng=es).
- Villarba, R., Lara, A., Masiokas, M., Delgado, S., Aravena, J. C., Roig, F. A., Ripalta, A. (2003). Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years. *Climatic Change*, 59, 177-232. doi: 10.1023/A:1024452701153.
- Villamizar, R. J., Rivera, M. E., Delgado, J. R. (2019). Mapa de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, Chitagá, Colombia. *Revista Ambiental: Agua, Aire y Suelo*, 10(2), 1-13.
- Vimeux F., Ginotc, P., Schwikowskid, M., Vuillee, M., Hoffmann, G., Thompson, L.G., Schottererg, U. (2009). Climate variability during the last 1000 years inferred from Andean ice cores: A review of methodology and recent results. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281, 229-241.
- Volante, J. N., Collado, A., Ferreyra, E. B., Navarro, M. F., Puentes, M. I., Ayesa, J. A., Barraza, G. A., Behr, S. J., Bran, D. E., Bubenik, R., Elena, H. J., Elissalde, N. O., Galvan, M. J., Lagorio, P., Livraghi, E., López, J. M., Llanos, M. E., Maciel, C. B., Olmedo, G., Paredes, P. N., Rigo, S., Roberto, Z. E., Silva, S. M., Umaña, F., Vallone, R. C., Tenti Vuegen, L. M., Winschel, C. I., López, C., Lizárraga, L., González, L., San Martín, A., Rial, P. (2009). Monitoreo de la Cobertura y el Uso del Suelo a partir de sensores remotos. Resultados 2006-2009. Informe Técnico Unificado Pneco 1643. Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-informe\\_tecnico\\_lccs.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-informe_tecnico_lccs.pdf)

- Vuille, M., Garreaud, R. D. (2012). Ocean-atmosphere interactions on interannual to decadal timescales, in Handbook of Environmental Change, vol. 1, edited by: J. A. Matthews, P. J. Bartlein, K. R. Briffa, A. Dawson, A. de Vernal, T. Denham, S. C. Fritz, and F. Oldfield, Sage Publications,
- Ward, P. J., Jongman, B., Kumm, M., Dettinger, M. D., Sperna Weiland, F. C., Winsemius, H. C. (2014). Strong influence of El Niño Southern Oscillation on flood risk around the world. *Earth, Atmospheric, And Planetary Sciences*, 111 (44), 15659 – 15664. <https://doi.org/10.1073/pnas.1409822111>
- Wetherald, R. T., Manabe, S. (2002). Simulation of hydrologic changes associated with global warming. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 107 (D19), ACL 7-1 - ACL 7-15. <https://doi.org/10.1029/2001JD001195>
- Wilches Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global, en Andrew Maskrey (comp.), *Los desastres no son naturales*, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Tercer Mundo Editores, Bogotá.
- Wallace, J. M., Gutzler, D. S. (1981). Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review*, 109 (4), 784–812. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2)
- White, J. W., Hoogenboom, G., Stackhouse, P. W., Hoell, J. M. (2008). Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 1574–1584. DOI:[10.1016/j.agrformet.2008.05.017](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.05.017)
- White, J. W., Hoogenboom, G., Wilkens, P. W., Stackhouse, P. W., Hoel, J. M. (2011). Evaluation of Satellite-Based, Modeled-Derived Daily Solar Radiation Data for the Continental United States. *Agronomy Journal*, 103, 1242–1251. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0038>.
- WHO-UNESCO. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Ginebra, Junta de Publicaciones de la Organización Meteorológica Mundial. <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862m.pdf>
- WMO. (1986). *Manual for estimation of probable maximum precipitation*. Operational hydrology, Report.1, WMO-No.332, 269.
- Yu, J.Y., Kao, H.Y. (2007). Decadal changes of El Niño persistence barrier in SST and ocean heat content indices: 1958-2001. *Geophysical Research Letters*, 112(D13). DOI:[10.1029/2006JD007654](https://doi.org/10.1029/2006JD007654)
- Zamora, E. M., Santana, A. A. (1979). Características climáticas de la costa suroccidental de la Patagonia entre las latitudes 46°40' y 56°30' S. *ANS. INST. PAT*, 10, 109 – 144. [https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/21006/Zamora\\_Anales\\_1979\\_vol10\\_pp109-144.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/21006/Zamora_Anales_1979_vol10_pp109-144.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



- Zabala, P. L., Aravena, J., Jurio, E. (2021). Urbanización de áreas ribereñas del río Limay en Neuquén y Plottier. *Boletín geográfico*, 43(1), 91-110. e-ISSN 2313-903X
- Zhang, Y., J. Wallace, and D. Battisti, 1997: ENSO-like inter-decadal variability: 1900–93. *J. Climate*, 10, 1004–1020
- Zepeda González, A.F (2011). Diseño y aplicación de una propuesta metodológica para la determinación de susceptibilidad y vulnerabilidad a deslizamientos, inundaciones y sequías en el municipio de San Pedro Zacapa, Departamento de Santa Bárbara, Honduras. [Tesis de grado]. Escuela Nacional de Ciencias Forestales]. UNACIFOR.
- Zapperi, P.A., Gabella, J.I., Campo, A.M. (2012). Medio ambiente y ordenamiento urbano. Problemáticas hidroambientales en la ciudad de Bahía Blanca. IX JORNADAS NACIONALES DE GEOGRAFIA FISICA. BAHIA BLANCA, Buenos Aires. Disponible en: [https://redargentinadegeografiafisica.files.wordpress.com/2013/07/15-zapperi-gabella-campo\\_medio-ambiente-y-ordenam.pdf](https://redargentinadegeografiafisica.files.wordpress.com/2013/07/15-zapperi-gabella-campo_medio-ambiente-y-ordenam.pdf)
- Zapperi, P. A., Aldalur, B., Campo, A. M., Jelinsky, G., Crisafulli, M. (2016). Redes de drenaje superficial a partir de Modelos Digitales de Elevación para determinar áreas críticas de evacuación ante eventos de inundación en la ciudad de Bahía Blanca. #er Encuentro de Investigadores en Recursos Hídricos. Ezeiza, Buenos Aires. Disponible en: [https://www.ina.gov.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH\\_2016\\_paper\\_132.pdf](https://www.ina.gov.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_132.pdf)
- Zapperi, P.A., Olcina, J. (2021). Cartografía de inundaciones en la planificación territorial: Estudio comparado entre Argentina y España. *Revista de Geografía Norte Grande*, 79, 183-205. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022021000200183>
- Zhongxiang, Z. (2017). Propagation of the Semidiurnal Internal Tide: Phase Velocity Versus Group Velocity. *Geophysical Research Letter*, 44(23), 942-950. <https://doi.org/10.1002/2017GL07>
- Ziyu, X., Zhaoqing, Y., Taiping, W., Ning, S., Mark, W., David, J. (2021). Characterizing the Non-linear Interactions Between Tide, Storm Surge, and River Flow in the Delaware Bay Estuary, United States. *Frontiers in Marine Science*, 8, 989. DOI=10.3389/fmars.2021.715557.
- 3CN. (2020). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2014. Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. “Cambio Climático en Argentina; Tendencias y Proyecciones” (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera). Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <http://3cn.cima.fcen.uba.ar>

## **ANEXO A**

Mapas de localización de línea de ribera elaborado por el DPA de Río Negro (2004)

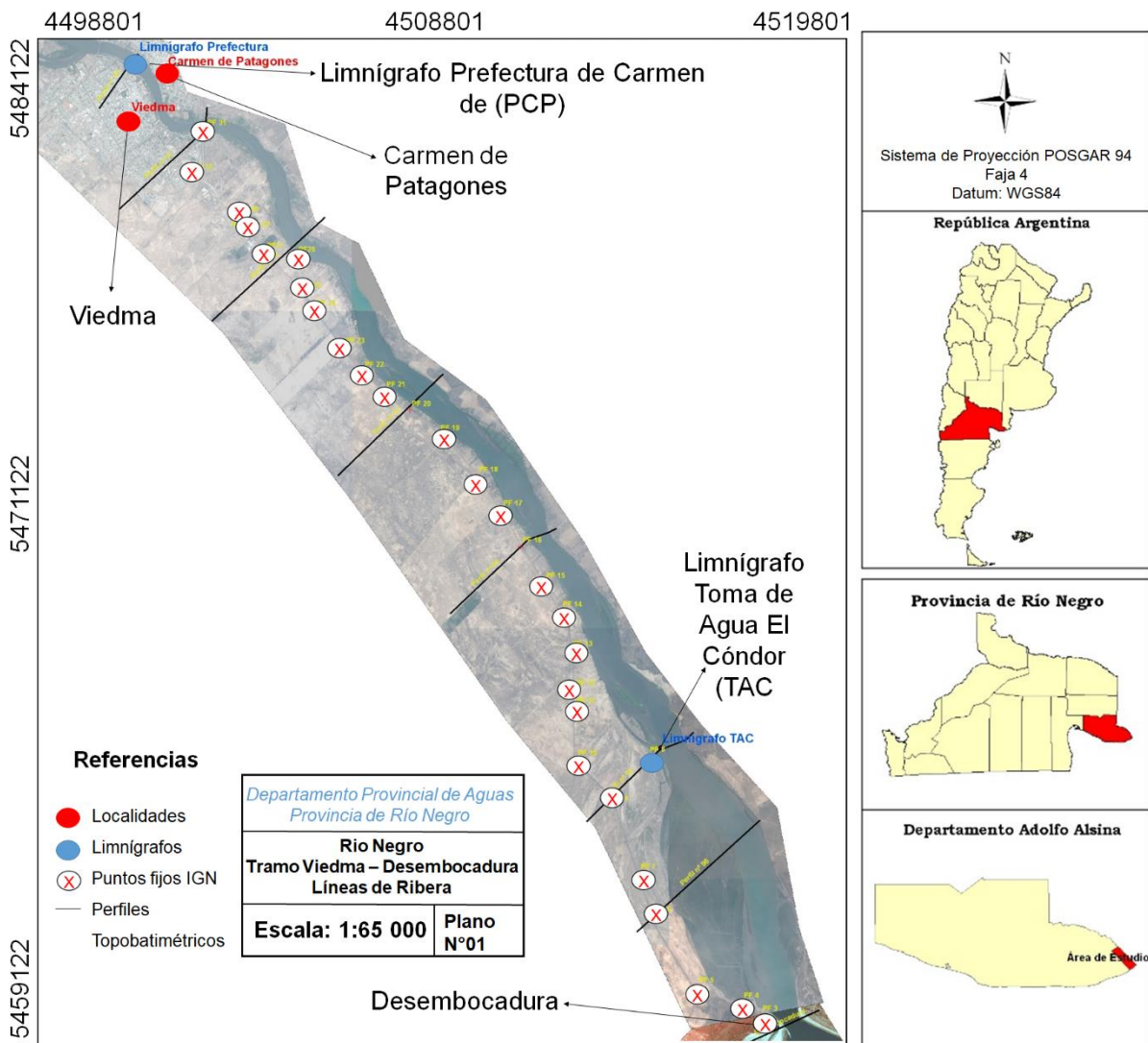


Figura A.1. Mapa de localización de localidades, limnógrafos, puntos IGN y cotas topobatimétricas del tramo Viedma – desembocadura del río Negro. Elaborado por el DPA de Río Negro (2004) y modificado a efectos de la tesis .

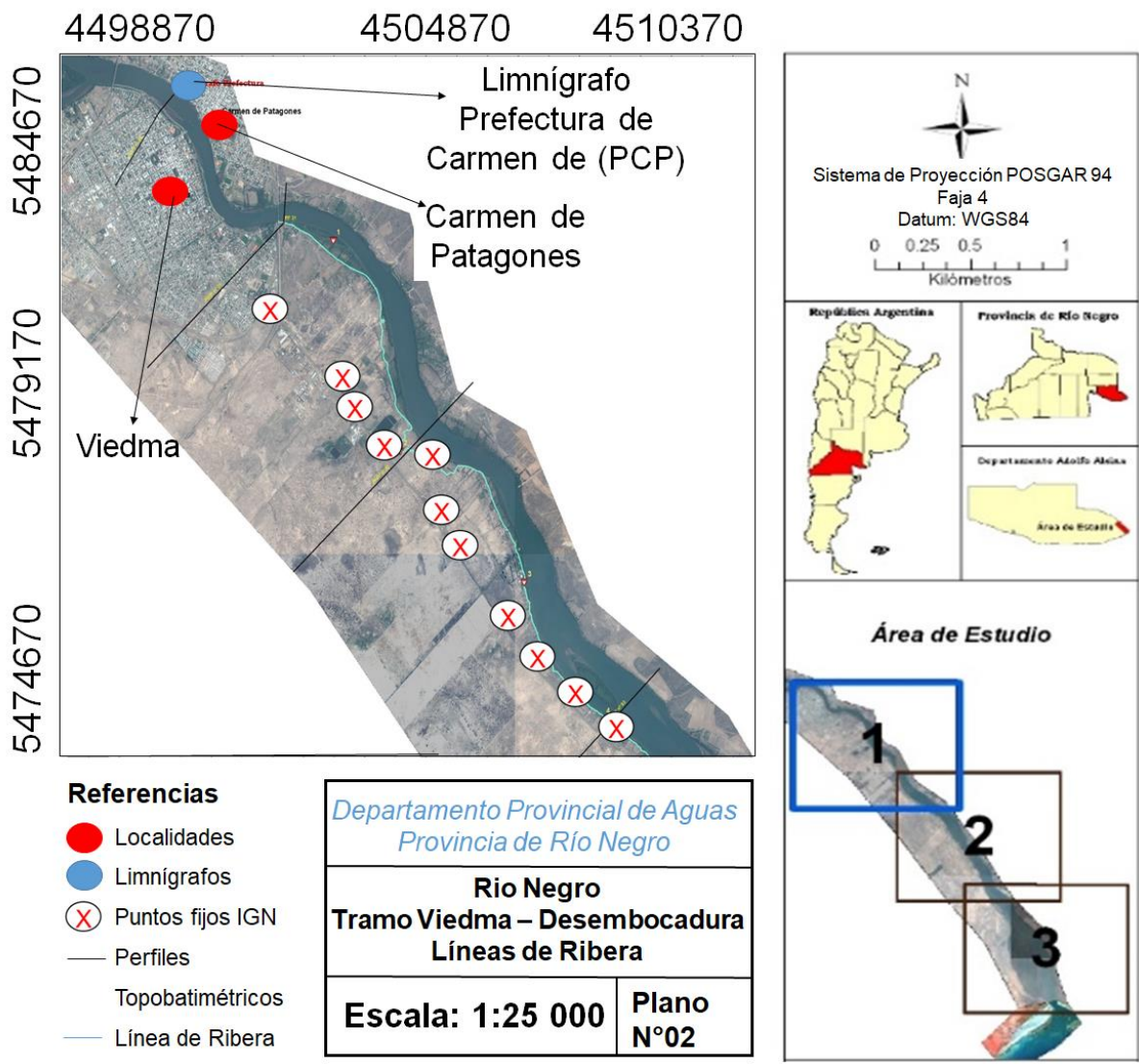


Figura A.2. Mapa de localización de línea de ribera del tramo Viedma – desembocadura del río Negro. Tramo 1. Elaborado por el DPA de Río Negro (2004) y modificado a efectos de la tesis .

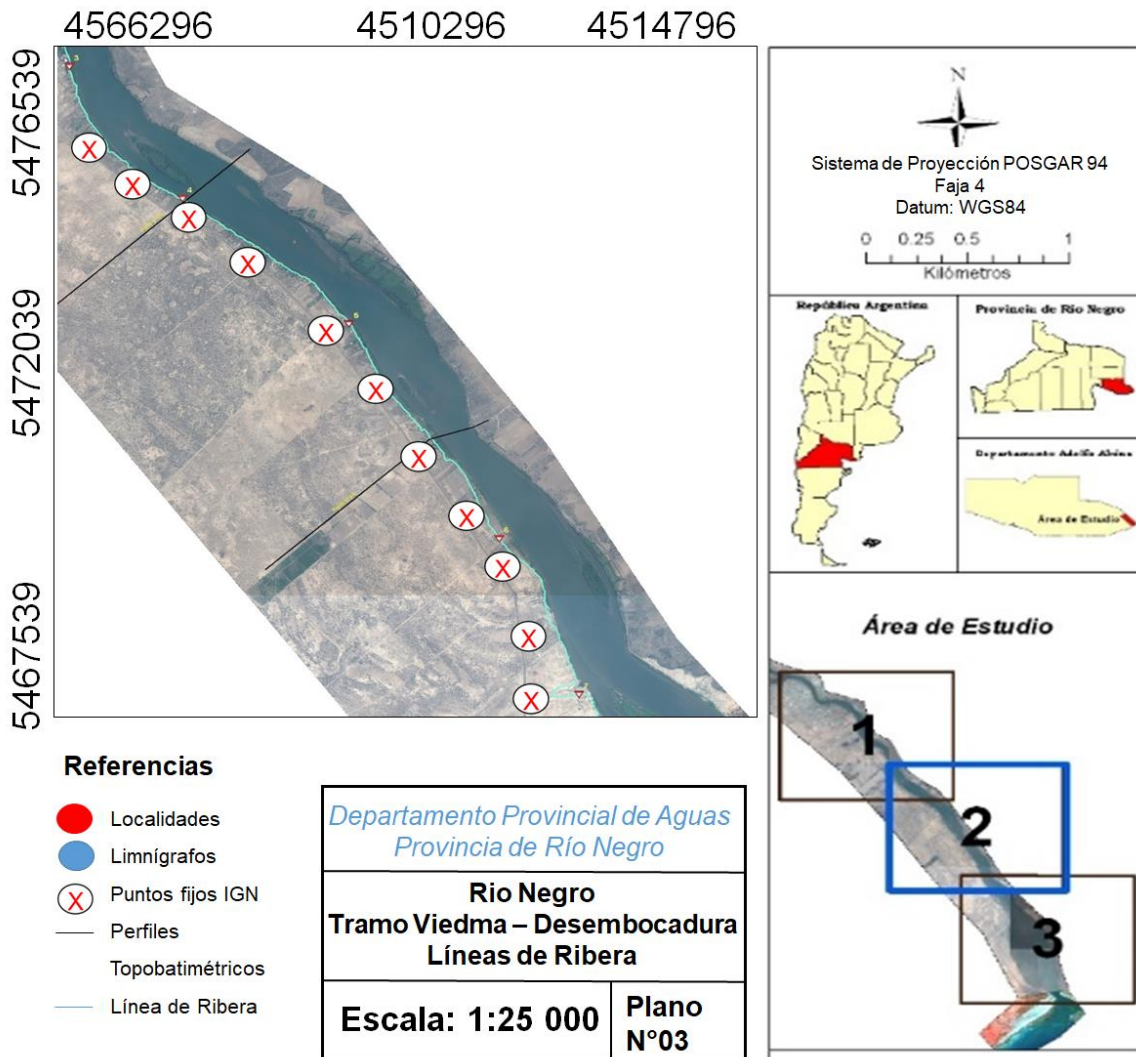


Figura A.3. Mapa de localización de línea de ribera del tramo Viedma –desembocadura del río Negro. Tramo 2. Elaborado por el DPA de Río Negro (2004) y modificado a efectos de la tesis.

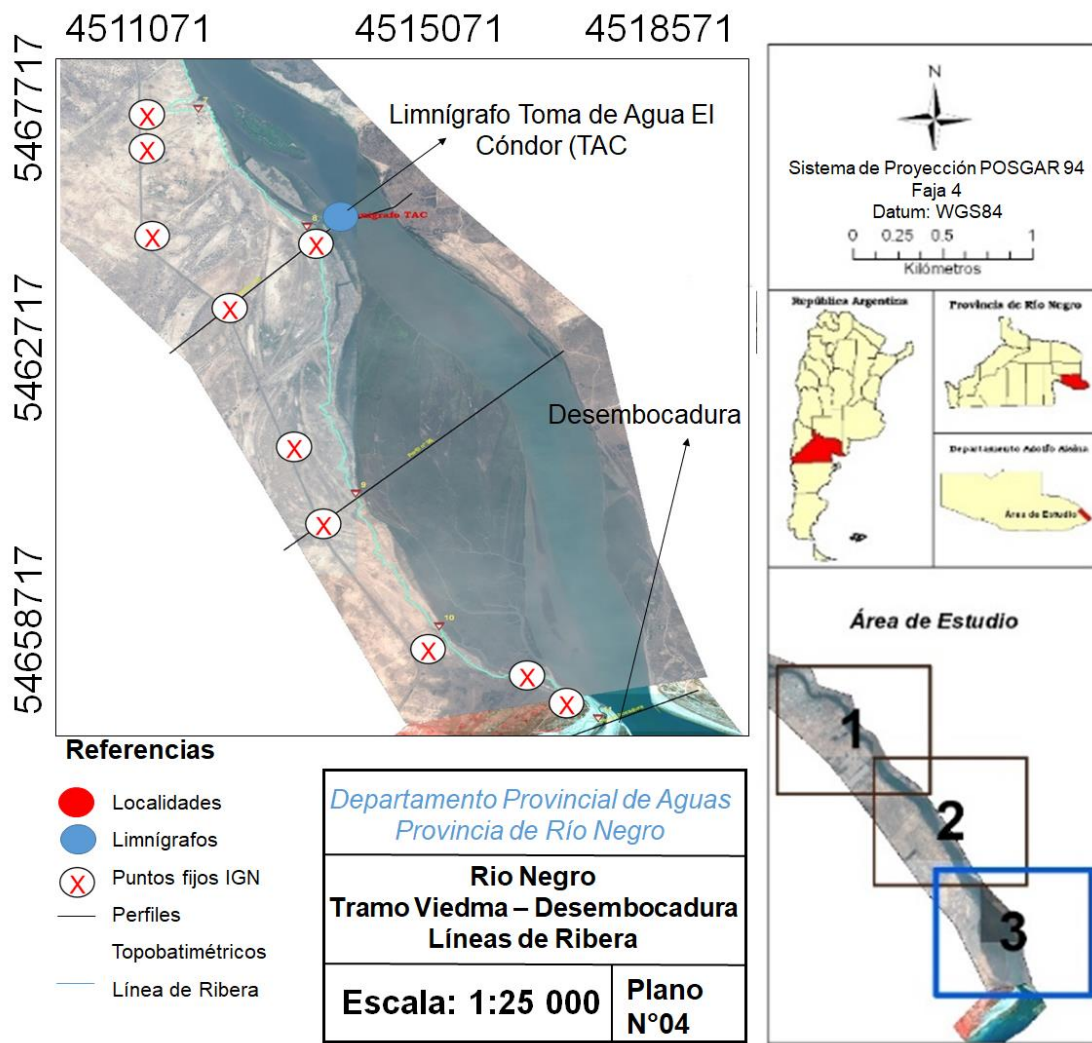


Figura A.4. Mapa de localización de línea de ribera del tramo Viedma – desembocadura del río Negro. Tramo 3. Elaborado por el DPA de Río Negro (2004) y modificado a efectos de la tesis.

## **ANEXO B**

Resoluciones del Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (2012)

11/MA, 23 MAY 2012

VISTO las facultades que surgen del artículo 16° incisos g) e i) del Código de Aguas, para la determinación de la línea de ribera conforme a lo dispuesto por el Código Civil, y

CONSIDERANDO:

que desde el año 2004 se cuenta con el estudio "Análisis de frecuencia de alturas máximas en el río Negro, área de influencia Viedma - Patagones" (Convenio DPA - FICH - UNL), que permitió asociar alturas IGN en la estación "Prefectura de Patagones" con tiempos de recurrencia (Tr), para la ciudad de Viedma, de aquí en adelante: "Estudio FICH-DPA 2004";

que en Julio del año 2009, se produjeron importantes pleamares que registraron en la estación "Prefectura de Patagones" (Perfil N° 90) niveles superiores a los definidos para Tr = 2 años. Y por un importante trabajo de campo, se pudo relevar ese nivel máximo en todo el tramo del río Negro que es influenciado por las mareas del océano Atlántico (San Javier - Desembocadura);

que a fs. 6/26 se presenta una copia del estudio: Determinación de la línea de ribera, tramo Viedma - Desembocadura; en el mismo se asocia el "Estudio FICH-DPA 2004" con los registros limnigráficos de la estación "TAC" (Perfil N° 95), cuyos resultados fueron verificados a través de relevamientos y posterior análisis del evento de julio del 2009 mencionados en los considerandos anteriores, lográndose en este tramo definir la línea de ribera (LR) que presenta una cota uniforme en todo su recorrido;

que a fs. 27/43 se presenta una copia del estudio: Determinación de la línea de ribera, tramo San Javier - Viedma; en el mismo se asocia el "Estudio FICH-DPA 2004" con los resultados del Modelo Hidrodinámico de la AIC y los registros hidrométricos disponibles tanto en la estación Limnigráfica San Javier como en los relevamientos de crecidas a lo largo del tramo, lográndose definir la línea de ribera (LR), la cual presenta un perfil longitudinal que en su inicio (Perfil N° 84 - San Javier) coincide con lo establecido bajo Resolución DPA N° 1403/09 y complementarias, en tanto su fin (Perfil N° 90 - Viedma) refleja lo determinado por el "Estudio FICH-DPA 2004";

que teniendo en cuenta las características de la LR en el tramo bajo análisis y el estudio de Niveles IGN/Tr en "Prefectura de Patagones" también se pudo definir la "línea de evacuación de crecidas" (LEC), para un Tr = 30 años;

4

10<sup>///</sup>

ES COPIA



///

que en el tramo del río Negro definido por el "Descargador Este" del IDEVI y el "Puente Viejo" se encuentra ejecutada una obra de defensa contra inundación, cuya traza materializa la línea de ribera y su cota de coronamiento es coincidente con los niveles IGN que definen la LEC en el tramo, por lo tanto esta coincidencia hace que en el tramo bajo análisis no exista Franja de Evacuación de Crecidas.

que la presente encuentra sustento legal en las previsiones del artículo 16° inciso g) e i), artículos 191°, 260° y concordantes del Código de Aguas; Decreto N° 1058/05 y artículo 2340° incisos 3) y 4) y concordantes del Código Civil;

Por ello,

EL INTENDENTE GENERAL  
A/C DE LA SUPERINTENDENCIA GENERAL DE AGUAS  
R E S U E L V E:

Artículo 1°. Fijar como traza de línea de ribera en el tramo del río Negro que va desde \_\_\_\_\_ el Descargador Este del IDEVI, hasta el Puente Viejo (Perfil N° 91), en el Valle Inferior de dicho río, al Terraplén de Defensa contra inundaciones de la ciudad de Viedma. Esta línea delimita el dominio público del privado, y dentro del dominio público, no se admitirá ningún tipo de construcción de instalaciones fijas que impida o altere el libre movimiento de las aguas.

Artículo 2°. Fijar como traza de línea de evacuación de crecida en el tramo del río \_\_\_\_\_ Negro que va desde Descargador Este del IDEVI, hasta el Puente Viejo (Perfil N° 91), en el valle inferior de dicho río, al coronamiento del Terraplén de Defensa contra inundaciones de la ciudad de Viedma, en coincidencia con la traza de la línea de Ribera.

Artículo 3°. En todos los casos, los profesionales intervinientes en la determinación de \_\_\_\_\_ la línea de ribera deberán solicitar al Departamento Provincial de Aguas las instrucciones especiales de mensura de conformidad a lo dispuesto por la Resolución N° 2540/08.

Artículo 4°. Fomentar el trabajo en conjunto con el Municipio de Viedma, involucrado \_\_\_\_\_ en este tramo del río Negro, para que a partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución, puedan reflejar en los Códigos o Reglamentaciones que regulen el uso del suelo contiguo, por encima de la L.R., en su Jurisdicción.

///



ES COPIA

Artículo 5°.- Notificar a todos aquellos ribereños que a la fecha se hallasen incumpliendo alguna de las restricciones de uso que surgen de la presente normativa, que están altamente expuestos a sufrir daños ante la presencia de importantes pleamares en este tramo del río Negro y deberán abstenerse de realizar nuevas mejoras, quedando invalidados de realizar reclamos por los daños que pudieran sufrir de aquí en adelante, y sujetos además, a una potencial intimación a quitar dichas mejoras si es que el DPA entiende que las mismas plantean una importante restricción al normal movimiento de las aguas.

Artículo 6°.- Regístrese, comuníquese al Municipio y Concejo Deliberante de Viedma; a la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro; a la Subsecretaría de Tierras, Colonias y Asesoramiento Técnico Institucional, a la Dirección General de Catastro e Información Territorial, al Consejo Profesional de Ingenieros, Agrimensura y Técnicos, al Colegio de Agrimensores de la Provincia de Río Negro y al Colegio de Escribanos de la Provincia de Río Negro; publíquese en el Boletín Oficial, cumplido, ARCHÍVESE.

DP/geg.



LUIS RODRIGO LOMBARDI  
INGENIERO TECNICO  
M.C. de la Especialidad de Des.  
Departamento Provincial de Aguas

RESOLUCION N° 641

ES COPIA

Figura B.1. Resolución con Expediente N° 41312-IGRH-12 correspondiente a la localización de la línea de ribera y de evacuación de crecidas correspondiente al tramo desde el Descargador Este del IDEVI hasta Puente Viejo. Elaborado por el DPA de Río Negro (2004) y modificado a efectos de la tesis.



**EXPEDIENTE N° 41316-IGRH-12**

///MA, 25 ABR 2012

VISTO las facultades que surgen del artículo 16° incisos g) e i) del Código de Aguas, para la determinación de la línea de ribera conforme a lo dispuesto por el Código Civil, y

CONSIDERANDO:

que desde el año 2004 se cuenta con el estudio "Análisis de frecuencia de alturas máximas en el río Negro, área de influencia Viedma - Patagones" (Convenio DPA - FICH - UNI.), que permitió asociar alturas IGN en la estación "Prefectura de Patagones" con tiempos de recurrencia (Tr), para la ciudad de Viedma, de aquí en adelante: Estudio FICH-DPA 2004;

que en julio del año 2009, se produjeron importantes pleamares que registraron en la estación "Prefectura de Patagones" (Perfil N° 90) niveles superiores a los definidos para Tr= 2 años, y por un importante trabajo de campo, se pudo relevar ese nivel máximo en todo el tramo del río Negro que es influenciado por las mareas del océano Atlántico (San Javier - Desembocadura);

que a fs.6/26 se presenta una copia del estudio: Determinación de la línea de ribera, tramo Viedma - Desembocadura; en el mismo se asocia "Estudio FICH-DPA 2004" con los registros limnigráficos de la estación "TAC" (Perfil N° 95), cuyos resultados fueron verificados a través de relevamientos y posterior análisis del evento de julio del 2009 mencionados en los considerandos anteriores, lográndose en este tramo definir la línea de ribera (LR) que presenta una cota uniforme en todo su recorrido;

que teniendo en cuenta las características de la LR en el tramo bajo análisis y el estudio de Niveles IGN/Tr en "Prefectura de Patagones" también se pudo definir la Línea de Evacuación de Crecidas" (LEC);

que la franja definida por estas dos líneas deberán someterse a un régimen de restricciones de uso especial, contemplando que no estamos ante un régimen netamente fluvial, dado que la influencia de la marea le imprime otras condiciones al régimen de las aguas que permite flexibilizar ciertas restricciones propendiendo siempre a no afectar el normal movimiento de las aguas en épocas de crecidas, y para ello será necesario fomentar el trabajo en conjunto con el Municipio de Viedma involucrado en este tramo del río Negro para que, a partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución, puedan reflejar criterios conducentes a este objetivo en los Códigos o Reglamentaciones que regulen el uso del suelo contiguo, por encima de la LR;

A

LC

///

ES COPIA



///

que la presente encuentra sustento legal en las previsiones del artículo 16° inciso g) e i), artículos 191°, 260° y concordantes del Código de Aguas; Decreto N° 1058/05 y artículo 2340° inciso 3) y 4) y concordantes del Código Civil;

Por ello,

EL INTENDENTE GENERAL  
A/C DE LA SUPERINTENDENCIA GENERAL DE AGUAS  
RESUELVE:

Artículo 1°.- Fijar como cota de línea de ribera en el tramo del río Negro que va desde el \_\_\_\_\_ Puente Viejo de la ciudad de Viedma (Perfil N° 91) hasta la altura de la Toma de Agua de El Cóndor (TAC), en el valle inferior de dicho río, a la cota IGN 3,70 m. Esta línea delimita el dominio público del privado, y por debajo del nivel de la misma, no se admitirá ningún tipo de construcción de instalaciones fijas que impida o altere el libre escurrimiento de las aguas.

Artículo 2°.- Fijar como cota de línea de evacuación de crecida en el tramo que va desde \_\_\_\_\_ el Puente Viejo de la ciudad de Viedma (Perfil N° 91) hasta la altura de la Toma de Agua de El Cóndor (TAC), en el valle inferior de dicho río, a la cota IGN 4,50 m.

Artículo 3°.- Definir como "franja de evacuación de crecidas" (FEC) a la delimitada por \_\_\_\_\_ la línea de ribera y la línea de evacuación de crecidas. Esta área de carácter privado estará sujeta a restricciones al dominio y cualquier construcción fija que sobre ella se haga deberá fundarse, a una cota IGN igual o superior a 4,50 m. que se corresponde con un riesgo de inundación asociado a un Tr=30 años.

Artículo 4°.- En todos los casos, los profesionales intervinientes en la determinación de \_\_\_\_\_ la línea de ribera deberán solicitar al Departamento Provincial de Aguas las instrucciones especiales de mensura de conformidad a lo dispuesto por la Resolución N° 2540/08.

Artículo 5°.- Fomentar el trabajo en conjunto con el Municipio de Viedma, involucrado \_\_\_\_\_ en este tramo del río Negro para que a partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución, puedan reflejar en los Códigos o Reglamentaciones que regulen el uso del suelo contiguo, por encima de la LR, en su Jurisdicción; criterios conducentes al cumplimiento de las distintas restricciones de uso asociadas a las FEC.

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

///

ES COPIA



III

Artículo 6°.- Notificar a todos aquellos ribereños que a la fecha se hallasen \_\_\_\_\_ incumpliendo alguna de las restricciones de uso que surgen de la presente normativa, que están altamente expuestos a sufrir daños ante la presencia de importantes pleamares en este tramo del río Negro y deberán abstenerse de realizar nuevas mejoras, quedando invalidados de realizar reclamos por los daños que pudieran sufrir de aquí en adelante, y sujetos además, a una potencial intimación a quitar dichas mejoras si es que el DPA entiende que las mismas plantean una fuerte restricción al normal movimiento de las aguas.

Artículo 7°.- Regístrese, comuníquese al Municipio y Concejo Deliberante de Viedma, a \_\_\_\_\_ la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, a la Subsecretaría de Tierras, Colonias y Asesoramiento Técnico Institucional, a la Dirección General de Catastro e Información Territorial, al Consejo Profesional de Ingenieros, Agrimensura y Técnicos, al Colegio de Agrimensores de la Provincia de Río Negro y al Colegio de Escribanos de la Provincia de Río Negro, publíquese en el Boletín Oficial, cumplido, ARCHÍVESE.

DP/ar  
A

LUIS RODOLFO LUJÁN  
DIRECTOR GENERAL  
D.G. de la Subsecretaría D.G.I.  
Departamento Provincial de Aguas

RESOLUCION N° 524

ES COPIA

Figura B.2. Resolución con Expediente N° 41316-IGRH-12 correspondiente a la localización de la línea de ribera y de evacuación de crecidas correspondiente al tramo desde Puente Viejo hasta Toma de Agua El Cóndor (TAC). Elaborado por el DPA de Río Negro (2004) y modificado a efectos de la tesis.



EXPEDIENTE N° 41315-IGRH-12

///MA. 23 MAY 2012

VISTO las facultades que surgen del artículo 16° incisos g) e i) del Código de Aguas, para la determinación de la línea de ribera conforme a lo dispuesto por el Código Civil, y

CONSIDERANDO:

que desde el año 2004 se cuenta con el estudio "Análisis de frecuencia de alturas máximas en el río Negro, área de influencia Viedma - Patagones" (Convenio DPA - FICH - UNL), que permitió asociar alturas IGN en la estación "Prefectura de Patagones" con tiempos de recurrencia (Tr), para la ciudad de Viedma - de aquí en adelante: Estudio FICH-DPA 2004;

que en julio del año 2009, se produjeron importantes pleamares que registraron en la estación "Prefectura de Patagones" (Perfil N° 90) niveles superiores a los definidos para Tr= 2 años, y por un importante trabajo de campo, se pudo relevar ese nivel máximo en todo el tramo del río Negro que es influenciado por las mareas del océano Atlántico (San Javier - Desembocadura);

que a fs. 6/26 se presenta una copia del estudio: Determinación de la línea de ribera, tramo Viedma - Desembocadura; en el mismo se asocia el "Estudio FICH-DPA 2004" con el análisis de correlación entre los registros limnigráficos de la estación "TAC" ( Perfil N° 95) y los niveles que alcanzan las aguas de Playa "El Cóndor" durante distintas tormentas desde 1999 a 2010, y los relevamientos del evento de julio del 2009 mencionados en los considerandos anteriores, lográndose en este tramo definir la línea de ribera (LR) que presenta una variación de cota entre el principio y el final del tramo de 0,55m;

que teniendo en cuenta las características de la LR en el tramo bajo análisis y el estudio de Niveles IGN/Tr en "Prefectura de Patagones" también se pudo definir la línea de evacuación de crecidas (LEC);

que la franja definida por estas dos líneas deberán someterse a un régimen de restricciones de uso especial, contemplando que no estamos ante un régimen netamente fluvial, dado que la influencia de la marea le imprime otras condiciones al régimen de las aguas que permite flexibilizar ciertas restricciones propendiendo siempre a no afectar el normal movimiento de las aguas en épocas de pleamares extremas, y para ello será necesario fomentar el trabajo en conjunto con el Municipio de Viedma involucrado en este

↵

///

ES COPIA



**EXPEDIENTE N° 41315-IGRH-12**

///

tramo del río Negro, para que a partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución, puedan reflejar criterios conducentes a este objetivo en los Códigos o Reglamentaciones que regulen el uso del suelo contiguo, por encima de la LR;

que la presente encuentra sustento legal en las provisiones del artículo 16° inciso g) e i), artículos 191°, 260° y concordantes del Código de Aguas; Decreto N° 1058/05 y artículo 2340° incisos 3) y 4) y concordantes del Código Civil;

Por ello,

EL INTENDENTE GENERAL  
A/C DE LA SUPERINTENDENCIA GENERAL DE AGUAS  
R E S U E L V E:

Artículo 1°.- Fijar como línea de ribera en el tramo del río Negro que va desde la sección \_\_\_\_\_ Toma de Agua de El Cóndor (TAC) hasta la Desembocadura en el océano Atlántico, a la traza que está definida en su origen (TAC) por una cota IGN 3,70 m. y finaliza en la Desembocadura con una cota IGN 4,25m. La línea de ribera delimita el dominio público del privado, y por debajo del nivel de la misma, no se admitirá ningún tipo de construcción de instalaciones fijas que impida o altere el libre escurrimiento de las aguas.

Artículo 2°.- Fijar en la sección Toma de Agua de El Cóndor (TAC) como nivel de inicio \_\_\_\_\_ en el tramo de la línea de evacuación de crecida a la cota IGN 4,50 m. y como nivel final en la Desembocadura la cota IGN 5,25m.

Artículo 3°.- Definir como "franja de evacuación de crecidas" (FEC) a la delimitada por la \_\_\_\_\_ línea de ribera y la línea de evacuación de crecidas. Esta área de carácter privado estará sujeta a restricciones al dominio, y cualquier construcción fija que sobre ella se haga deberá fundarse a una cota igual o superior a la que corresponda a LEC en ese lugar, que se asocia con un riesgo de inundación Tr=30 años.

Artículo 4°.- En todos los casos, los profesionales intervinientes en la determinación de la \_\_\_\_\_ línea de ribera deberán solicitar al Departamento Provincial de Aguas las instrucciones especiales de mensura de conformidad a lo dispuesto por la Resolución N° 2540/08.

Artículo 5°.- Fomentar el trabajo en conjunto con el Municipio de Viedma, involucrado en \_\_\_\_\_ este tramo del río Negro para que a partir de la entrada en vigencia de la

///

ES COPIA



**EXPEDIENTE N° 41315-IGRH-12**

III

presente Resolución, puedan reflejar en los Códigos o Reglamentaciones que regulen el uso del suelo contiguo, por encima de la LR, en su Jurisdicción; criterios conducentes al cumplimiento de las distintas restricciones de uso asociadas a las FEC.

Artículo 6°.- Notificar a todos aquellos ribereños que a la fecha se hallasen incumpliendo alguna de las restricciones de uso que surgen de la presente normativa, que están altamente expuestos a sufrir daños ante la presencia de importantes pleamares en este tramo del río Negro y deberán abstenerse de realizar nuevas mejoras, quedando invalidados de realizar reclamos por los daños que pudieran sufrir de aquí en adelante, y sujetos además, a una potencial intimación a quitar dichas mejoras si es que el DPA entiende que las mismas plantean una fuerte restricción al normal movimiento de las aguas.

Artículo 7°.- Regístrese, comuníquese al Municipio y Concejo Deliberante de Viedma, a la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, a la Subsecretaría de Tierras, Colonias y Asesoramiento Técnico Institucional, a la Dirección General de Catastro e Información Territorial, al Consejo Profesional de Ingenieros, Agrimensura y Técnicos, al Colegio de Agrimensores de la Provincia de Río Negro y al Colegio de Escribanos de la Provincia de Río Negro, publíquese en el Boletín Oficial, cumplido, ARCHÍVESE.

DP/aml

LUIS RODOLFO CORBERO  
INTENDENTE GENERAL  
A.C. de la Superintendencia  
Departamento Provincial de Aguas

RESOLUCION N° 636

ES COPIA

Figura B.3. Resolución con Expediente N° 41315-IGRH-12 correspondiente a la localización de la línea de ribera y de evacuación de crecidas correspondiente al tramo desde Toma de Agua El Cóndor (TAC) hasta la desembocadura del río Negro en el océano Atlántico. Elaborado por el DPA de Río Negro (2004) y modificado a efectos de la tesis.



## **ANEXO C**

Ficha síntesis de caracterización del riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones  
en la cuenca inferior del río Negro

<b>Área de estudio</b>	<b>Cuenca hidrográfica inferior del río Negro</b>
<b>Localización</b>	Entre los 40°- 41°S y los 63°-64°O. NE de la Patagonia argentina
<b>Límites</b>	Desde la desembocadura del río Negro en el océano Atlántico hasta Segunda Angostura
<b>Extensión</b>	3000 km <sup>2</sup>
<b>Departamentos y municipios que la conforman</b>	Adolfo Alsina, Conesa (provincia de Río Negro) Carmen de Patagones (provincia de Buenos Aires)
<b>Localidades</b>	Loteo Costa del Río, Viedma, Carmen de Patagones, El Juncal, San Javier y Guardia Mitre
<b>Parajes</b>	Villa 7 de marzo, La Boca, El Paso, General Nicolás H. Palacios, Zanjón de Oyuela, Cubanea, La Matilde, Monte Bagual y Sauce Chico
<b>Población que la habita</b>	77910 habitantes (INDEC, 2010)
<b>Clima</b>	Árido semiárido Temperatura media del aire: 14 °C Precipitación media anual: 367 mm/año
<b>Hidrología</b>	Río Negro (sistema hidrográfico de los ríos Limay, Neuquén y Negro)
<b>Amenaza</b>	Inundaciones
<b>Origen de la amenaza</b>	1. Fuertes y persistentes vientos del S en conjunción con marea alta. 2. Aumentos de caudal procedentes de las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén (tributarios al río Negro) en conjunción con marea alta. 3. Interacción de altos caudales con marea alta durante la ocurrencia de condiciones meteorológicas adversas.
<b>Características de la amenaza</b>	Época del año donde se registran históricamente: junio, julio, agosto, mayo, octubre, diciembre. Condiciones favorables para su ocurrencia: fuertes vientos y precipitaciones intensas asociados al paso de tormentas Máximos anuales de crecida del río Negro. Incentivación de las crecidas aumento de precipitaciones en las cuencas hidrográficas de los ríos Limay y Neuquén asociadas a variabilidad de baja frecuencia (fase positiva del Niño y negativa del SAM)
<b>Zona de impacto (susceptibilidad física)</b>	Área con niveles de susceptibilidad medio y alto: 41,7 % (1.396,5 km <sup>2</sup> ) Ubicación: sectores aledaños al río y con desarrollo de lagunas, paleocauces, relieve deprimido y drenaje pobre. Características favorables del terreno que favorecen la ocurrencia de inundaciones: Relieve plano Pendientes del terreno inferiores a 1 %. Suelos con deficiencias de drenaje Temporada de mayor susceptibilidad: desde abril a diciembre

Nivel	Número de habitantes	Número de hogares
No vulnerable	24726	7914
Bajo	13476	4149
Medio	33156	11110
Alto	6552	1849

**Vulnerabilidad  
Físico – Social  
(niveles medio y  
alto)**

Indicadores socioeconómicos detonantes de vulnerabilidad \*:

alta concentración poblacional,

Aislamiento,

Alto NBI

Construcción de viviendas con materiales moderadamente deficientes

Alto porcentaje de personas sin obra social

Localización: zonas aledañas a la ribera del río Negro, gran porción de Viedma y periferias de la comarca Viedma – Carmen de Patagones.

Nivel	Número de habitantes	Número de hogares
Nulo	7173	2549
Bajo	37101	11310
Medio	32397	10686
Alto	1239	477

Indicadores amplificadores del nivel de riesgo:

Predisposición natural debido a características climáticas, hidrológicas y topográficas.

Condiciones socioeconómicas desfavorables \*.

Localización: zonas aledañas a la ribera del río Negro y periferias de la comarca Viedma – Carmen de Patagones.

Zonas de interés social localizadas en sectores de riesgo medio y alto:

**Riesgo  
(Niveles medio y  
alto)**

Escuelas	Entidad y nombre
	Jardín de Infantes N° 907 Reina Cardone
	Escuela de Arte N° 1 Alcides Biagetti
	Centro de Adultos N° 702/01
	Jardín de Infantes N° 911 Ceferino Namuncura
	Escuela de Adultos N° 701
	Escuela de Educación Primaria N° 11 Hipólito Yrigoyen
	Escuela de Educación Estética N° 1 Rosario Echeguren de Dell'agnolo
	Instituto de Formación Docente N° 25
	Escuela de Educación Secundaria Técnica N° 1
	Centro de Educación Técnica N° 6 Destructor ARA Hércules
	Jardín de Infantes Independiente N° 10
	Jardín Maternal N° 6 Piuque Poye
Jardín de Infantes Independiente N° 5	
Escuela Primaria N° 319 Alicia Moreau de Justo	

		Jardín de Infantes Independiente N° 80
		Jardín Maternal N° 8 Chiribitas
		Jardín de Infantes Independiente N° 87
		Escuela Primaria N° 30 Eliseo Scheroni
		Escuela Primaria N° 339 Maestro Aguiar
		Centro de Educación Media N° 8
		Escuela Especial N° 501 Comandante Luis Piedrabuena
		Centro de Capacitación Técnica N° 4
		Escuela de Aprendizajes de Oficios N° 1
		Centro de Educación Media N° 91
		Jardín Materno Infantil Nuevo Sol
		Instituto María Auxiliadora
		Jardín de Infantes Chaucha y Palito
		Instituto Patagonia
		Centro de Educación Física N° 10
		Escuela San José
		Universidad Siglo 21 Viedma
	Universidades	Universidad Empresarial Siglo 21 Viedma
		Universidad Nacional de Río Negro
	Edificios de salud	Centro de Salud Mi Bandera. Doctor Gustavo H. Andreni.
		Comisería No 274 Barrio 20 de junio
		Comisería No 1 Viedma
		Jefatura de Policía de la Provincia de Río Negro
		Policía Federal Argentina
	Estaciones de Policía y Cuerpos de Bomberos	Brigada No 1 Rural
		Comisería No 38 Barrio General Lavalle
		Subcomisería No 63 La Heras
		Prefectura Naval Argentina Carmen de Patagones
		Cuerpo de Bomberos de Viedma
		Ministerio de Seguridad y Justicia de la provincia de Río Negro
		Registro Civil de Viedma
		Juzgado de la Paz de Viedma
		Registro Nacional de las Personas. Delegación Viedma
		Secretaría de Estado del Trabajo de la Provincia de Río Negro
		Consejo Deliberante de Viedma
	Edificios gubernamentales	Secretaría de ambiente y Desarrollo Sustentable
		Legislatura de la Provincia de Río Negro
		Ministerio de Educación y Derechos Humanos de la Provincia de Río Negro
		Tribunal Superior de Justicia de la Provincia de Río Negro
		Juzgado Federal de Viedma
		Casa de Gobierno de la Provincia de Río Negro

Lugares de interés	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Provincia de Río Negro
	Ministerio de Desarrollo Social de la Provincia de Río Negro
	Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Río Negro
	Ministerio de Economía de la Provincia de Río Negro
	Juzgado de Paz de Carmen de Patagones
	Municipalidad de Carmen de Patagones
	Registro Nacional de las Personas. Delegación Carmen de Patagones
	Plaza Adolfo Alsina
	Conjunto Edificio Salesiano
	Casa de Mitre – Rancho Rial
	Casa del Cardenal Juan Cagliero
	Archivo del Banco de la Provincia de Buenos Aires
	Casa de Andrés García
	Casa Histórica del Banco de la Provincia de Buenos Aires
	Antigua Vivienda del vecino fundador
	Casa Histórica La Carlota
Casa Natal del Comandante Luis Piedrabuena	
Vivienda familiar del Comodoro Martín Rivadavia	

Tabla C.1. Síntesis del análisis del riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones fluviales en la cuenca hidrográfica inferior del río Negro.