



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

TESIS DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**RÍO SAUCE CHICO:  
ESTUDIO HIDROGRÁFICO PARA UN  
DESARROLLO SUSTENTABLE**

MARIANA PAULA TORRERO

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2009

P R E F A C I O

---

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur 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 Departamento de Geografía y Turismo durante el período comprendido entre el 10 de mayo de 2006 y 30 de mayo de 2009, bajo la dirección de la Dra. Alicia María Campo, Profesora Asociada de la cátedra Geografía de los Sistemas Naturales I, del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur.

La realización de la presente tesis doctoral ha sido posible gracias a la colaboración de diversas personas e instituciones, a quienes deseo expresar mi agradecimiento. De una u otra forma, todos ellos contribuyeron a la culminación de este trabajo. Particularmente agradezco a la Dra. Alicia M. Campo, por el apoyo y asesoramiento brindados a lo largo de estos años.

De modo especial extendiendo mi gratitud al Dr. Pablo Canziani y a la Dra. Susana Bischoff, a la Universidad Nacional del Sur y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por haberme beneficiado con el otorgamiento de Becas de Posgrado que posibilitaron mi dedicación exclusiva a este trabajo de investigación.

Agradezco particularmente a la Lic. Verónica Gil por su ayuda permanente; al Dr. Julio Uboldi por la colaboración y asesoramiento en la investigación con imágenes satelitales. Un agradecimiento especial a la Dra. María Elizabeth Carbone, a la Lic. Fabiana Limbozzi y al Dr. Jorge Marcovecchio por haberme cedido los datos de caudales; al Dr. Hugo Freije por concederme los resultados de análisis de muestras de agua y a la Dra. Nilda Amiotti por el asesoramiento dado en el estudio de los complejos hidrológicos suelo-vegetación. De la misma forma, agradezco al Ing. Juan Carlos Schefer, a Laura Diez, al Concejal Alberto Sangre, a los pobladores rurales que accedieron a ser entrevistados, al Archivo del diario "La Nueva Provincia" por facilitarme la documentación histórica y a la Asociación Ambientalista Unión 20 de Agosto quien puso a mi disposición todo el material necesario.

## II

Por último, quiero agradecer profunda y especialmente a mis padres, Mónica y Roberto; a mis hermanos, Natalia, Aldana y Ezequiel; a mis cuñados José Agustín y Gustavo; a mis sobrinitos Martina, Juana, María y Jeremías y a mis tías Inés y Mabel por acompañarme y ayudarme en todo momento.

5 de junio de 2009

Departamento de Geografía y Turismo

Universidad Nacional del Sur



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

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

R E S U M E N

---

El río Sauce Chico se localiza en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina y desarrolla una cuenca en forma alargada de 1.595 km<sup>2</sup>. Nace en el Sistema orográfico de Ventania y desagua en el estuario de la bahía Blanca. Las principales actividades del área son la agrícola-ganadera y la horticultura, de allí su importancia para la economía regional y nacional.

La dinámica del ambiente de la cuenca, es propia de una extensa llanura con escasa pendiente, con variabilidad climática y con intervención antropogénica desregulada. Para comprender esta dinámica y la interrelación de los factores ambientales que generan la degradación de los recursos naturales, se realizó la presente investigación que involucra aspectos físicos, biológicos y humanos del área. El objetivo general de esta tesis, es estudiar la hidrografía del río Sauce Chico, analizar las manifestaciones de degradación y los problemas generados a partir del manejo y uso del recurso hídrico a fin de promover el desarrollo sustentable de la cuenca. Hasta el presente no existían trabajos que consideraran a esta cuenca hidrográfica como unidad de análisis, por ello, este trabajo procura ser un aporte al marco para la planificación y gestión del territorio.

Los resultados muestran una cuenca tendiente al equilibrio pero con reactivación erosiva. Las diferencias altimétricas destacan el desarrollo de una red de drenaje subdendrítica en el Sistema Serrano, con pendientes mayores al 8 %. En el Nivel de Planación General, se identificaron un área alóctona y otra con afluentes intermitentes y cuerpos lagunares. En la Planicie de marea, se observó un abanico aluvial con suelos anegables.

El análisis de las oscilaciones climáticas evidenció aspectos del cambio climático. Se observó un ascenso en las temperaturas medias equinocciales y en las medias anuales de 1981-2000. El análisis ombrotérmico indicó el pasaje en 1991-2000 a un clima cálido húmedo tropical. Se comprobó que la metodología propuesta por Thornthwaite es la que mejor refleja las condiciones naturales. Los balances hídricos mostraron períodos importantes de excesos hídricos en el año 2002 y de déficit en el 2006. La dinámica hidrológica reflejó el predominio del proceso de infiltración. El régimen del río se clasificó como simple de alimentación pluvial continental "americano".

#### IV

Los estudios hidrogeoquímicos revelaron cambios en el cauce inferior con un incremento de las concentraciones de sales y nutrientes en períodos de sequía, por riego inadecuado y por las características propias del agua y del suelo. Esto contribuye a la degradación de los suelos, los anegamientos y disminución de la infiltración acarreado consecuencias directas sobre los rendimientos productivos.

El Índice de Vulnerabilidad Hídrica determinó que las cuencas media y baja son las de mayor vulnerabilidad de su red de drenaje por efecto de procesos naturales o antropogénicos. El análisis de las imágenes satelitales permitió identificar áreas de anegamiento en la cuenca media, erosión hídrica e inundaciones. Los cambios en la vegetación y en los usos y cobertura del suelo se asociaron a las condiciones climáticas, topográficas y edáficas. La determinación de los complejos hidrológicos suelo-vegetación corroboró la dinámica hidrológica y permitió identificar cartográficamente áreas hidrológicas semejantes.

El análisis periodístico y las entrevistas realizadas reflejaron una disociación entre los objetivos políticos y la necesidad real de los pequeños y medianos productores.

A B S T R A C T

---

The river Sauce Chico, located in the southwest of Buenos Aires, Argentina, is originated in Sierra de la Ventana, Ventania orographic system, in the top part of the watershed, shaping an extensive basin of about 1595 km<sup>2</sup>. The river directly discharges in the Bahía Blanca estuary. The main economics sources of the area are agriculture and livestock activities as well as horticulture which depends on the river.

The dynamic of the climate basin is typical of an extensive plain with a small slope, with climate variability and human induced climate change with a scarce supervision. The present analysis was carried out in order to understand and improve our knowledge concerning to the dynamic and the relationship of the environmental factors which generate the degradation of the natural resources. The study involves physical, biological, and human aspects of the area. The objective of this thesis is to bring together an analysis of the hydrography of the river Sauce Chico at the date, considering the insights of the problems derived from the managing and use of the water resource, and provide development path more sustainable for the basin. From the best of our knowledge, there are virtually no researches at date related to this basin as analysis unit; therefore the present work attempts to make a contribution with the planning and management aspects.

The results show a basin with trend close to the equilibrium, but with an erosive reactivation. The altimetric differences highlight the development of a drainage net subdendritic in the hill sistem, with slopes higher than 8 %. At the main plain level, two areas were found: one without external inflow water and the other with intermittent inflow and lagoons. In the schorre and slike, alluvial fan with flooded terrain was observed.

The analysis of climate parameters showed insights of the climate change. In this sense, an ascent in the average equinoctial temperatures as well as in the annual averages during 1981-2000 was observed. The ombrothermic analysis indicated that between 1991-2000 climate changed towards a humid tropical one. The proposed methodology by Thornthwaite was realized to be the most properly one to reproduce the natural conditions. The hydric balance reported water excesses during 2002 and deficit during 2006. The hydrological dynamic showed the predominance of the

infiltration process. The regime of the Sauce Chico river was classified as a simple power continental pluvial "americano".

The hydrographic-chemistry researches revealed changes in the low flow of the river with an increasing concentration of salt and nutrients during time of drought, because of improperly irrigation as much as for the own characteristics of the water and the soil. The above mentioned scheme contributes to the soil degradation, floods and to a lesser infiltration which yield to degradation de los soils and, in consequence, to the productive performance

The Water Vulnerability index showed the medium and low basins as those of major vulnerability regarding to their net of drainage due to effects of natural processes or human activities. The analysis of the satellite images allow to identify areas of flooding in the average basin, water erosion and floods. The changes in the vegetation, their uses and coverage of the soil were associated to the climatic, topographic and edaphic conditions. The determination of the hydrological complexes soil-vegetation corroborated the hydrological dynamics and allowed to identify cartographically hydrological similar areas

The journalistic analysis as well as the interviews reflected dissociation between the political aims and the stresses of the small and medium producers.

	<i>Página</i>
PREFACIO .....	I
RESUMEN .....	III
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1. <i>El espacio físico en la cuenca del río Sauce Chico</i></b>	
1.1. Materiales y métodos para el estudio físico de la cuenca .....	15
1.2. Características físicas de la cuenca del río Sauce Chico .....	25
1.2.1. Análisis de la morfometría fluvial .....	25
1.2.1.1. Variables independientes de medición directa .....	26
1.2.1.2. Variables dependientes de medición indirecta .....	29
1.2.1.3. Altimetría de la cuenca .....	30
1.2.1.4. Análisis de las variables del patrón de drenaje .....	37
1.2.2. Caracterización geomorfológica .....	42
1.2.3. Características hidrográficas .....	47
<b>CAPÍTULO 2. <i>Aspectos del clima templado que caracterizan la cuenca del río Sauce Chico</i></b>	
2.1. Oscilación climática en la cuenca del río Sauce Chico .....	53
2.2. Materiales y métodos para el análisis climático .....	53
2.3. Análisis de la oscilación climática .....	57
2.3.3. Viento .....	65
2.3.2. Dinámica hidroclimática – Años 2002 y 2006 .....	68
2.4. Balance hídrico de la cuenca .....	71
2.4.1. Variaciones de los índices hídrico, de aridez y de humedad .....	75
2.4.2. Balances hídricos del año 2002 a partir de datos de evapotranspiración potencial calculada por Penman-Monteith y Thornthwaite .....	76
2.4.3. Balances hídricos del año 2006: La importancia para el análisis hidrológico de los suelos .....	80
<b>CAPÍTULO 3. <i>La dinámica hidrológica del río Sauce Chico: caudal y escorrentía</i></b>	
3.1. Materiales y métodos para el análisis de la dinámica hidrológica .....	86
3.2. Evolución histórica de los caudales del río Sauce Chico .....	87
3.3. Distribución de los caudales medios anuales y su relación con las precipitaciones .....	90
3.4. El efecto del clima sobre el sistema hidrológico .....	92
3.4.1. Escurrimiento superficial .....	92

#### **CAPÍTULO 4. *Hidrografía química de las aguas del río Sauce Chico***

4.1. Materiales y métodos para el análisis hidrogeoquímico .....	99
4.2. Contaminación industrial de las aguas del río Sauce Chico .....	102
4.3. Aptitud agrícola ganadera de las aguas .....	103
4.3.1. Calidad del agua para uso agrícola ganadero .....	106
4.3.2. Problemas de infiltración inferidos del análisis de los datos químicos .....	111

#### **CAPÍTULO 5. *Evaluación medioambiental de la cuenca del río Sauce Chico***

5.1. La situación ambiental en la cuenca del río Sauce Chico .....	115
5.2. Materiales y métodos para el análisis ambiental .....	116
5.3. Erosión y vulnerabilidad hídrica .....	119
5.3.1. Erosión hídrica .....	119
5.3.2. Índice de Vulnerabilidad Hídrica – IVH .....	125
5.4. Análisis multitemporal .....	127
5.4.1. Anegamiento e inundaciones .....	127
5.4.2. El rol de la cobertura vegetal, los usos del suelo y el NDVI .....	129
5.5. La desertificación ... ¿un proceso presente en la cuenca? .....	139

#### **CAPÍTULO 6. *Clasificación hidrológica de los suelos y determinación del escurrimiento en la cuenca del río Sauce Chico***

6.1. Materiales y métodos para el análisis de los complejos hidrológicos suelo-vegetación, la determinación del escurrimiento y análisis de estados de tiempo .....	144
6.2. Complejos hidrológicos suelo-vegetación .....	151
6.2.1. Características edafológicas .....	151
6.2.2. Grupos hidrológicos .....	154
6.2.3. Determinación de Número de Curva para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación .....	156
6.3. Análisis de la tormenta primaveral .....	156
6.3.1. Situación sinóptica a las 06 Z .....	158
6.3.2. Situación sinóptica a las 12 Z .....	160
6.3.3. Situación sinóptica a las 18 Z .....	161
6.4. Determinación del escurrimiento .....	165

#### **CAPÍTULO 7. *El impacto de las actividades antropogénicas: uso y manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sauce Chico***

7.1. Materiales y métodos para evaluar el uso y manejo del recurso hídrico .....	169
7.2. Evolución del uso y manejo hídrico aguas abajo a partir del análisis de material periodístico y otras fuentes .....	171
7.2.1. Los desbordes producto de las intensas lluvias .....	174
7.2.2. El recurso hídrico en peligro: falta de lluvias, bajo caudal y riego .....	178
7.2.3. El Comité de Cuenca del río Sauce Chico .....	179
7.2.3.1. El Código de Agua .....	182

7.3. La percepción de la población rural sobre las condiciones naturales y problemas ambientales de la cuenca del río Sauce Chico .....	183
7.3.1. Impacto en la cuenca media .....	184
7.3.2. Impacto en la cuenca baja .....	188
CONCLUSIONES .....	192
BIBLIOGRAFÍA .....	202
ANEXO I : Evapotranspiración – Balances Hídricos .....	220
ANEXO II : Complejos hidrológicos suelo-vegetación .....	229
ANEXO III : Entrevista .....	238

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
Figura 1. Cuenca del río Sauce Chico. Localización .....	10
Figura 1.1. Cuenca del río Sauce Chico. Subcuencas .....	28
Figura 1.2. Cuenca del río Sauce Chico. Modelo digital del terreno .....	31
Figura 1.3. Cuenca del río Sauce Chico. Hipsometría .....	32
Figura 1.4. Cuenca del río Sauce Chico. Pendiente media de las subcuencas ...	34
Figura 1.5. Curva hipsométrica de la cuenca del río Sauce Chico .....	35
Figura 1.6. Curva hipsométrica y frecuencias altimétricas de la cuenca del río Sauce .....	36
Figura 1.7. Cuenca del río Sauce Chico. Jerarquización de la red de drenaje .....	38
Figura 1.8. Cuenca del río Sauce Chico. Densidad de drenaje de las subcuencas.	40
Figura 1.9. Perfil longitudinal del río Sauce Chico .....	42
Figura 1.10. Cuenca del río Sauce Chico. Regiones geomorfológicas .....	44
Figura 1.11. Cuenca del río Sauce Chico. Pendientes .....	45
Figura 1.12. Cuenca del río Sauce Chico. Unidades hidrográficas .....	49
Figura 2.1. Isotermas e isohietas anuales .....	59
Figura 2.2. Isohietas estacionales 1991-2000 .....	60
Figura 2.3. Isotermas estacionales 1991-2000 .....	61
Figura 2.4. Diagramas ombrotérmicos Coronel Suárez y Pigüé 1981-1990 y 1991-2000 .....	63
Figura 2.5. Diagramas ombrotérmicos Bordenave y Bahía Blanca 1981-1990 y 1991-2000 .....	64
Figura 2.6. Rosas de los vientos anuales .....	66
Figura 2.7. Rosas de los vientos estacionales 1991-2000 .....	67
Figura 2.8. Diagramas ombrotérmicos. Año 2002 .....	69
Figura 2.9. Diagramas ombrotérmicos. Año 2006 .....	70
Figura 2.10. Balance hídrico para Coronel Suárez 1981-1990 .....	72
Figura 2.11. Balance hídrico para Coronel Suárez 1991-2000 .....	72
Figura 2.12. Balance hídrico para Bordenave 1991-2000 .....	73
Figura 2.13. Balance hídrico para Pigüé 1991-2000 .....	73
Figura 2.14. Balance hídrico para Bahía Blanca 1981-1990 .....	74
Figura 2.15. Balance hídrico para Bahía Blanca 1991-2000 .....	75
Figura 2.16. Balance hídrico para Bahía Blanca. Año 2002 .....	77
Figura 2.17. Balance hídrico para Bahía Blanca. Año 2002 .....	77
Figura 2.18. Balance hídrico para Bordenave. Año 2002 .....	78
Figura 2.19. Balance hídrico para Coronel Suárez. Año 2002 .....	78
Figura 2.20. Balance hídrico para Coronel Suárez. Año 2002 .....	79
Figura 2.21. Balance hídrico para Pigüé. Año 2002 .....	79
Figura 2.22. Balance hídrico para Coronel Suárez. Año 2006 .....	81
Figura 2.23. Balance hídrico para Bordenave. Año 2006 .....	81
Figura 2.24. Balance hídrico para Bahía Blanca. Año 2006 .....	82
Figura 3.1. Caudales medios mensuales en m <sup>3</sup> /s del río Sauce Chico .....	88
Figura 3.2. Caudales medios estacionales del río Sauce Chico para 1945 .....	88
Figura 3.3. Caudales medios mensuales del río Sauce Chico para 1945 .....	89
Figura 3.4. Distribución anual de los caudales medios mensuales y caudal medio anual del río Sauce Chico. Año 2006 .....	90
Figura 3.5. Distribución estacional de los caudales del río Sauce Chico. Año 2006 .	91
Figura 3.6. Distribución anual de los valores de precipitación (en barras) en la cuenca y caudal (en línea) del río Sauce Chico en el año 2006 ...	92
Figura 3.7. Distribución anual de los escurrimientos calculados por exceso de los balances hídricos .....	94

Figura 3.8. Esgurrimiento real y esgurrimiento calculado por excesos hídricos en el año 2006 para el río Sauce Chico y Coronel Suárez .....	95
Figura 4.1. Localización muestras de agua. Cuenca inferior del río Sauce Chico ..	100
Figura 4.2. Complejo industrial Papelera del Sur .....	102
Figura 4.3. Vertido de desechos industriales al cauce del río Sauce Chico provenientes de Papelera del Sur .....	103
Figura 4.4. Cultivos y manifestaciones salinas en suelos de quintas localizadas en la cuenca baja del río Sauce Chico .....	104
Figura 4.5. Acequias. Sector de quintas en la cuenca baja del río Sauce Chico ....	105
Figura 4.6. Clasificación del agua para riego en la cuenca baja del río Sauce Chico .....	108
Figura 4.7. Diagrama de Schoeller. Muestras de agua obtenidas en la cuenca baja del río Sauce Chico en un Período Seco (PS) y un Período Húmedo (PH) en el cauce principal (c) y el afluente (a) .....	109
Figura 4.8. Gráfico Maucha. Muestra de agua período seco – Cauce principal ....	110
Figura 4.9. Gráfico Maucha. Muestra período seco – Afluente .....	110
Figura 4.10. Gráfico Maucha. Muestra período húmedo – Cauce principal .....	111
Figura 4.11. Gráfico Maucha. Muestra período húmedo – Afluente .....	111
Figura 5.1. Esquema metodológico seguido en la evaluación medioambiental en la cuenca del río Sauce Chico .....	118
Figura 5.2. Barreras - diques en cárcavas .....	120
Figura 5.3. Cárcavas activas e inactivas .....	121
Figura 5.4. Meandros del río Sauce Chico .....	123
Figura 5.5. Cuenca del río Sauce Chico. Mapa de erosión hídrica .....	124
Figura 5.6. Cuenca del río Sauce Chico. Índice de Vulnerabilidad Hídrica .....	126
Figura 5.7. Cuenca del río Sauce Chico. Lagunas y anegamiento .....	128
Figura 5.8. Cuenca del río Sauce Chico. Usos y cobertura del suelo. Invierno 2002 .....	132
Figura 5.9. Cuenca del río Sauce Chico. Usos y cobertura del suelo. Primavera 2002 .....	133
Figura 5.10. Respuesta espectral de la vegetación .....	134
Figura 5.11. Respuesta espectral estacional de cultivos y forestal .....	135
Figura 5.12. Histogramas estacionales del NDVI .....	136
Figura 5.13. Cuenca del río Sauce Chico. Índice de vegetación. Agosto de 2002 .....	137
Figura 5.14. Cuenca del río Sauce Chico. Índice de vegetación. Noviembre de 2002 .....	138
Figura 6.1. Esquema metodológico para la determinación de los complejos hidrológicos suelo-vegetación y esgurrimiento .....	145
Figura 6.2. Cuenca del río Sauce Chico. Tipos de suelos .....	153
Figura. 6.3. Cuenca del río Sauce Chico. Grupos hidrológicos de los suelos .....	155
Figura 6.4. Cuenca del río Sauce Chico. Complejos hidrológicos suelo-vegetación .....	157
Figura 6.5. Carta del tiempo del 9 de noviembre de 2002: 06 Z .....	159
Figura 6.6. Carta del tiempo del 9 de noviembre de 2002: 12 Z .....	162
Figura 6.7. Carta del tiempo del 9 de noviembre de 2002: 18 Z .....	164
Figura 6.8. Representación gráfica de los esgurrimientos directos en la cuenca del río Sauce Chico .....	165
Figura. 7.1. Puente colgante de la Ruta Nacional N° 3 sobre el río Sauce Chico ...	175
Figura 7.2. Derivador y sistemas de compuertas en el Paraje La Horqueta sobre el río Sauce Chico. Lugar de nacimiento del Canal Cuatrerros ....	177

Figura 7.3. Actas de resolución y constitución del Comité de Cuenca del Río Sauce Chico .....	181
Figura 7.4. Sistema de riego por pivot empleado en cultivos de cebolla. Detrás, la localidad de Tornquist .....	185
Figura 7.5. Cauce del río Sauce Chico en cercanías a la Estancia Chasicó .....	187
Figura 7.6. Estancia Chasicó .....	188

## Í N D I C E D E T A B L A S

	<i>Página</i>
Tabla 1.1. Valor asignado a la rugosidad del terreno en función de la vegetación (Hathaway, 1945) .....	21
Tabla 1.2. Magnitud de la pendiente media del río principal .....	22
Tabla 1.3. Variables de medición directa que intervienen en el tamaño de la cuenca .....	26
Tabla 1.4. Variables morfométricas de la cuenca del río Sauce Chico .....	27
Tabla 1.5. Variables morfométricas de las subcuencas .....	29
Tabla 1.6. Pendiente media de las subcuencas .....	30
Tabla 1.7. Hipsometría de la cuenca del río Sauce Chico .....	33
Tabla 1.8. Densidad de drenaje de las subcuencas del río Sauce Chico .....	39
Tabla 2.1. Valores medios estacionales de temperatura y precipitación 1981-1990 .....	58
Tabla 2.2. Valores medios estacionales de temperatura y precipitación 1991-2000 .....	58
Tabla 2.3. Índices de aridez, humedad e hídricos para las décadas de 1971-1980, 1981-1990 y 1991-2000 .....	76
Tabla 2.4. Evapotranspiración anual real y potencial en mm según Thornthwaite y Penman-Monteith .....	76
Tabla 3.1. Escurrimiento mensual del exceso de los balances hídricos .....	93
Tabla 3.2. Relación entre el caudal del río Sauce Chico y el escurrimiento calculado para el año 2006 .....	95
Tabla 4.1. Parámetros químicos de las aguas del río Sauce Chico en la cuenca baja .....	107
Tabla 4.2. Parámetros químicos para determinar la calidad del agua .....	107
Tabla 5.1. Erosión hídrica en la cuenca del río Sauce Chico .....	123
Tabla 5.4. Índice de Vulnerabilidad Hídrica para la cuenca del río Sauce Chico ...	125
Tabla 5.5. Áreas lacustres/anegamientos en períodos de escasas (agosto) y copiosas (noviembre) precipitaciones en la cuenca del río Sauce Chico .....	127
Tabla 6.1. Grupos hidrológicos de suelos y características generales de los perfiles que los definen .....	146
Tabla 6.2. Valores del índice CN para diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación (Para cuencas en condiciones antecedentes de humedad II) .....	148
Tabla 6.3. Tipos de suelos de la cuenca del río Sauce Chico .....	152
Tabla 6.4. Valores de CN para distintas condiciones de humedad para la cuenca del río Sauce Chico .....	156
Tabla 6.5. Determinación del escurrimiento directo y del coeficiente de escorrentía en la cuenca del río Sauce Chico .....	165

## I N T R O D U C C I Ó N

---

A medida que la presencia del hombre, a través de sus actividades e infraestructura, se extiende sobre la superficie de la tierra, se produce una intervención cada vez mayor en la naturaleza y su dinámica. Uno de los elementos fundamentales en los paisajes terrestres son los cursos de agua, siendo su dinamismo de gran importancia en la física medio ambiental. El hombre es el primer agente modificador de los parámetros hidrográficos y a la vez el más afectado por las alteraciones y variaciones que se producen en el sistema natural, sean por sus propias causas y mecanismos o por el accionar antropogénico. Por ello, el estudio de las redes hidrográficas cobra importancia como temática geográfica por el amplio abanico de correlaciones que pueden generarse entre los fenómenos físicos y entre ellos y las actividades humanas.

Las características de las redes hídricas están estrechamente relacionadas con la climatología por ser los elementos climáticos los que gobiernan su régimen y caudal. Los rasgos dinámicos de los elementos fluviales como los procesos, flujos, sedimentos, formas de los canales de drenaje y redes tienden a incrementar su concentración y organización y cambian permanentemente. El aumento del caudal de los ríos, como consecuencia de las lluvias en el ámbito de su cuenca genera una gran energía del flujo de un importante potencial destructivo. La elevada pendiente de los cauces y la presencia de materiales sólidos transportados por la corriente, junto con el flujo del agua, son los factores que contribuyen al desarrollo del proceso. La escorrentía superficial concentrada y jerarquizada en cauces manifestada en la red de drenaje, depende de las lluvias y de la respuesta del suelo a dichas precipitaciones. Las características edafológicas condicionan el volumen escurrido en función de la estructura, textura, permeabilidad y condiciones de humedad del suelo. Éste puede causar graves daños al alcanzar las planicies aguas abajo, donde normalmente se concentran las actividades y la infraestructura humana. El flujo reclama su territorio invadido por el hombre, produciéndose cada vez con mayor frecuencia catástrofes que involucran cuantiosas pérdidas económicas y de vidas humanas.

La desigual distribución del agua sobre el planeta y la demanda producto de la expansión demográfica, motivaron la intensificación, en los últimos años, de los estudios sobre los recursos hídricos. Sin embargo, el desarrollo de las prácticas agrícolas e industriales continúan en aumento (WRI, UNEP, UNDEP y WB, 1996) y

son principalmente, las que insumen para su producción o funcionamiento ingentes cantidades de este bien.

El conocimiento de los recursos hídricos posibilita el crecimiento y ordenamiento de las sociedades y la conservación, uso y disfrute del mismo por parte de la población. En todos los países del mundo el problema que no pierde vigencia es el del inventario de los recursos hídricos (Tricart, 1969). El hombre puede abastecerse de agua de dos formas principales, a través del caudal de los cursos de agua o por medio de perforaciones y pozos que le permitan obtener las aguas subterráneas. Los períodos de escasez son los que plantean los inconvenientes en el abastecimiento acarreado otros tipos de problemas como son la salinización de los suelos, pérdidas de producciones, etc. En épocas más húmedas, el incremento de los caudales y los excesos en la disponibilidad hídrica, se traducen en desbordes del cauce con la consiguiente generación de inundaciones, en anegamientos y en procesos de erosión hídrica, entre otros.

Las cuencas fluviales son sistemas complejos cuyas propiedades se definen principalmente, a partir de la interrelación de características geomorfológicas, geológicas, climáticas, hidrográficas, biogeográficas y de usos del suelo. Como unidades físicas actúan como marco para la planificación y gestión del territorio, por lo que no sólo es considerada desde el punto de vista de sus propiedades naturales sino también por los distintos factores antropogénicos que intervienen en la misma. Las cuencas hidrográficas, células constitutivas de las cuencas fluviales, son unidades hidrológicas que han sido descritas y utilizadas como unidades físico biológicas y también como unidades socioeconómico-políticas para la planificación y ordenación de los recursos naturales (Sheng, 1992). La cuenca hidrográfica es considerada por Gregory (Gregory y Walling, 1973) como un sistema abierto que recibe energía y materia del clima y de procesos endogénicos y que la pierde por medio del caudal y la descarga de sedimentos.

Entre los organismos internacionales que definen a las cuencas hídricas se encuentra la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) que las describe como una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de aguas. En ellas están contenidos los recursos naturales y básicos como el agua, el suelo, la flora y la fauna, que permiten el desarrollo de las diversas actividades humanas (FAO, 1990, 1994). Del mismo modo, el Instituto Nacional de Ecología (INE) de México define a este espacio como la unidad

natural delineada por la presencia de la divisoria de aguas en un territorio determinado (INEGI-INE-CONAGUA, 2007 a y b).

Los principales estudios hidrográficos realizados en países de Europa y América del Norte relacionan especialmente las inundaciones con el cambio climático (Burgos *et al.*, 1991). También vinculan a estos procesos con la planificación del uso del suelo y las políticas de gobierno, tendientes a reparar o mitigar las consecuencias de estos fenómenos naturales que afectan a la población (Pitlick, 1997; Penning Rowsell, 1996; Penning Rowsell y Fordham, 1994). En Francia, se desarrollaron estudios sobre hidráulica y morfología fluvial relacionados con el agravamiento de las consecuencias de las crecientes por influencia de las intervenciones antropogénicas (Ghio, 1995; Mussot y Bénech, 1995). El problema de la utilización de las llanuras de inundación en tierras de cultivo y el incremento de las inundaciones fue estudiado por Luecke (1993) y Myers y White (1993).

Los estudios referidos a la morfología de los cauces y los procesos fluviales asociados junto con sus impactos se intensificaron en el Viejo Continente (González, 1991; Bescos y Camarasa, 1998; Julián Andrés y Chueca Cía, 1998; Calvo-Cases *et al.*, 2003) y particularmente en países como Israel, Australia, Canadá y China. Las metodologías son muy variadas y se destacan en todos ellos como factor común los trabajos de campo y mediciones directas. En Estados Unidos y Canadá se realizaron estudios sobre las inundaciones incorporando en su mayor parte diferentes modelos hidrológicos (Elmoujahid, 1997; Simonovic, 1999; Ogden *et al.*, 2000; Alcántara-Ayala, 2002).

La geomorfología de un área cumple un papel indispensable en los estudios hidrológicos, debido a su influencia en las características y dinámica de una cuenca hidrográfica. Sobre este tema existen numerosos trabajos realizados en América y Europa. Autores como Vivas (1969), Palacio Prieto (1990) y López y Crespo (1996) estudiaron los problemas erosivos dentro de las cuencas. Galón (1964) explica la importancia del conocimiento de la geomorfología de una región para la solución de problemas hídricos. Blanck (1969) aplicó métodos geomorfológicos, para contribuir a la solución de problemas hidroagrícolas en el valle medio del Níger.

La delimitación de áreas geomorfológicas contribuye al conocimiento del espacio natural y es una herramienta que sirve a la planificación territorial, la agricultura y el sector forestal, obras de ingeniería civil de infraestructura de

transportes y comunicaciones, obras hidráulicas y cualquier otra investigación en la que esté en juego el ambiente (Peña Monné, 1997). En Venezuela, Vivas (1968) explicó la forma de utilización de los mapas para el aprovechamiento de los recursos naturales y la planificación del espacio. Tanto el estudio de los aspectos geomorfológicos como hidrográficos constituyen elementos indispensables en los proyectos para el desarrollo y la conservación del agua y suelo (Verstappen, 1964).

La degradación de una cuenca hidrográfica es la pérdida de valor en el tiempo, incluyendo el potencial productivo de tierra y aguas. Este desgaste va acompañado de cambios pronunciados en el comportamiento hidrológico del sistema fluvial que se traduce en una peor calidad, cantidad y regularidad en el tiempo, del caudal hídrico. Este proceso es, por lo tanto, consecuencia de efectos recíprocos, de las características geográficas, el clima y el uso inadecuado de la tierras (cultivos inapropiados; alteración de los suelos y pendientes; construcción de caminos, puentes; almacenamiento, transporte y utilización sin control del agua). En síntesis, la degradación de una cuenca produce una degeneración ecológica acelerada, reduce las oportunidades económicas e incrementa los problemas sociales (Sheng, 1992).

El desconocimiento de los procesos naturales, la aplicación de tecnologías inadecuadas y la planificación de estrategias de desarrollo motivadas sólo por el afán económico inmediato, son las principales razones que han llevado a un uso irracional de los recursos naturales. Las consecuencias han impactado sobre el ambiente, degradándolo y sobre la población incrementando la pobreza. Sin embargo el desarrollo del hombre y del ambiente son compatibles, pero exige planificar el territorio. Este proceso debe conducir a armonizar la disponibilidad de los recursos naturales, las condiciones ambientales y las características del territorio, con las actividades económicas y sociales que tienen efecto sobre el entorno natural. Sólo la planificación y el uso cuidadoso del conocimiento podrían mitigar los efectos no deseados y reducir la influencia negativa, de las acciones que comprometan opciones de usos futuros (Comisión Regional del Medio Ambiente, Región de la Araucanía, 2004).

El concepto del desarrollo sustentable se impuso tras la aparición del informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo denominado Nuestro Futuro Común, más conocido como Informe Brundtland (1988). En él, se define como tal aquel que permite satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la

capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (CMMAD, 1992; Nebel y Wright, 1999; Mateo, 2003).

Las definiciones de desarrollo sustentable se dividen en aquellas de carácter intergeneracional, como la oficializada por el informe Bruntland y las que incorporan componentes intrageneracionales como las propuestas por el PNUMA Y CEPAL. Estas últimas son las que refieren al tipo de desarrollo que combina la sustentabilidad ecológica, con la eficiencia productiva y con la equidad social. No obstante, todas las definiciones consisten en una solución de compromiso o transacción entre objetivos conflictivos referidos, por lo general, a temas ecológicos, económicos y sociales (UNCED, 1992; Natenzon y Tito, 2001).

Dentro de este marco se desarrolla la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Este proceso tiene como objetivo asegurar el desarrollo y manejo coordinado del agua en interacción con los demás recursos naturales y sociales, maximizando el crecimiento económico, sin comprometer a los ecosistemas vitales (GWP-SAMTAC, 2000).

Los principios de Dublín, resultado de la Conferencia Internacional sobre el Agua y Medio Ambiente (1992) promueven cambios en los conceptos y prácticas que se consideran fundamentales para un mejor manejo de los recursos agua. La dinámica de ellos muestra la necesidad de actualizar y agregar especificidad a los principios sobre la base de la experiencia, con su interpretación e implementación práctica. Estos principios contribuyeron significativamente a las recomendaciones de la Agenda 21 (Río 1992) y desde entonces tiene apoyo universal a través de la comunidad internacional como la guía de los principios de la GIRH (UNCED, 1992). Los mismos fueron redeclarados y elaborados por la Comisión de Desarrollo Sostenible (ONU, 1997) y en la conferencia de agua en París (MAE-MOTMA, 1998).

La GIRH requiere la integración de los sistemas natural y humano. El primero con su importancia crítica para la calidad y disponibilidad del recurso y el segundo, porque determina fundamentalmente, el uso del recurso, la producción de desechos y la contaminación del recurso, que también deben establecer las prioridades de desarrollo. La integración debe realizarse considerando la variabilidad del agua en tiempo y espacio. Un manejo integrado del recurso hídrico considera identificar los conflictos de interés entre los interesados agua arriba y aguas abajo. El consumo del recurso aguas arriba reducirán el caudal de los ríos. Los cambios en el uso de la tierra

aguas arriba puede alterar la recarga de la capa subterránea y el flujo estacional del río. Es necesario el reconocimiento entre las actividades aguas arriba y la vulnerabilidad aguas abajo.

Por lo tanto, un manejo integrado de cuencas hídricas involucra dos acciones principales. Por un lado, las orientadas al aprovechamiento de los recursos naturales (usarlos, transformarlos y consumirlos) presentes en la cuenca para contribuir al crecimiento económico. Por otra parte, las orientadas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos y protegerlos) con la finalidad de asegurar la sustentabilidad del ambiente (Dourojeanni, 1994).

La diversidad de las actividades económicas puede ser sostenible y mejorable con los recursos hídricos de la cuenca. Se requiere para ello un control de las extracciones, una selección racional de los cultivos y una política de ahorro y uso racional del agua. La necesidad de la puesta en marcha de planes de manejo integral de cuencas hídricas queda de manifiesto en lo expresado por Dueñas García (2000) cuando plantea la situación que presentan las aguas del río Sagua la Grande en la provincia de Villa Clara, Cuba. Antes de que el hombre moderno ocupara su cuenca, eran puras y cristalinas. Hoy trechos de su curso son verdaderas cloacas, sucias y contaminadas como resultado del no tratamiento primario de los desechos de los asentamientos urbanos, de los complejos agroindustriales e industrias metalúrgicas.

Silva (2000) pone énfasis en el papel de las cuencas hidrográficas como unidades territoriales de intervención. Existe hoy un creciente uso de las cuencas hidrográficas en las políticas de intervención espacial en los países iberoamericanos. El análisis de las intervenciones en cuencas lo realiza considerando sus potencialidades para el uso de los recursos hídricos, para la gestión del medio ambiente y de otros recursos naturales y para la transformación socioeconómica regional. El análisis histórico del uso de las cuencas como unidad territorial de intervención es demasiado somero. Existe una amplia bibliografía norteamericana, francesa y española que es muy por encima apenas mencionada o no considerada. Silva, centró la atención en la realidad brasileña, dirigiendo su esfuerzo a realizar un balance sobre la validez de ese enfoque para los problemas de ese país. En lo que se refiere a la bibliografía disponible de carácter geográfico, el reciente testimonio autobiográfico de Gilbert F. White (en Gould y Bailly, 2000) proporciona una excelente valoración retrospectiva. Esta visión puede ser de gran interés para conocer el origen de una línea de reflexión que en Estados Unidos está ligada a las graves inundaciones

de 1927 y a las política del New Deal y que ha dado lugar a magníficos ejemplos de trabajos para la gestión integrada del agua en cuencas hidrográficas de todo el mundo.

En Chile se desarrollaron estudios sobre manejo de cuencas y gestión de los recursos hídricos desde su incorporación al Programa Hidrológico Internacional. Los estudios están orientados principalmente al análisis de la hidrografía y la geomorfología de cuencas para enfrentar su manejo integral, con vistas a planificar su desarrollo, al control de riesgos y peligro fluvial (Novoa Jerez, 1986, 1987; Allesch Laude, 1989-90; Peña Cortéz, 1995). Argentina se incorpora a este programa en 1983, en el estudio de hidrología de llanuras como paisajes particulares.

La oferta hídrica de la República Argentina se caracteriza por una importante variabilidad destacándose los estudios de los ríos de la cuenca del Plata, de la Patagonia, de Mendoza y San Juan (Soldano, 1947; Tossini, 1959; Curvetto *et al.*, 1970; Difrieri, 1979, 1981). En Argentina se vislumbra un creciente interés en el estudio de esta temática por los numerosos trabajos hidrográficos y geomorfológicos realizados por geógrafos con la finalidad de contribuir al ordenamiento y gestión del territorio, principalmente desde un punto de vista ambiental. El Artículo 41 de la Constitución Nacional argentina, incorporado en la Reforma de 1994, expresa el derecho que tienen todos los habitantes a gozar de un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras. Asimismo, manifiesta el deber que ellos tienen de preservarlo ([www.infoleg.gov.ar](http://www.infoleg.gov.ar)).

La situación hídrica de la región pampeana comenzó a relevarse a partir de la importancia otorgada al estudio de los sistemas fluviales y sus cuencas hidrográficas. Los organismos involucrados son el Instituto Nacional del Agua y Ambiente (INA), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). En la provincia de Buenos Aires se han realizado trabajos geohidrológicos y de hidrografía general (Frenguelli, 1956; García y García 1964; Marchetti, 1968). Los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires fueron estudiados por Hernández *et al.*, (1975), Sala (1969, 1975, 1980, 1981). Sala *et al.*, (1983) focalizó su investigación sobre la hidrología de la provincia de Buenos Aires en la zona de llanura del mismo modo que Tricart (1973). En los últimos años, en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires se realizaron diversas investigaciones sobre cursos fluviales. Se estudió la hidrografía del río Quequén Grande (Campo, 1999; Campo y Píccolo, 1997 a, b, c, d; 1998; 1999; Campo y Diez, 1999) donde se plantea

por primera vez, la problemática en forma integral de una cuenca de llanura. Otros estudios integrados de cuencas hidrográficas son los del río Quequén Salado (Marini, 1997), arroyo Claromecó (Carbone, 2003) y arroyo Pescado Castigado (Munguía, 2003). Asimismo, existen trabajos orientados a los problemas de inundaciones y sus consecuencias en el deterioro ambiental y en la economía (Monachesi, 1993; Selles Martínez y Carletto, 1990).

Las actuaciones del hombre especialmente el incremento de las extracciones de agua subterránea han producido una profunda modificación en las características hidrológicas de las cuencas hídricas. Una de las modificaciones más visibles en la hidrología general de la zona es la progresiva reducción de las aguas superficiales, llegando en muchos casos a la desaparición como consecuencia de la conjugación de factores climáticos y antropogénicos.

Para el área de estudio se han realizado diferentes investigaciones desde distintas disciplinas. Estas investigaciones se focalizan sobre temas hidrogeológicos principalmente en la cuenca alta, entre ellos se destacan los realizados por Bonorino (1991), Albouy (1994), Bonorino *et al.*, (2001). Para el resto de la cuenca se destaca el estudio de Fiorentino (1999) relacionado con la contaminación de las aguas. Desde el punto de vista geográfico se destacan los trabajos de Marengo (1994), quien elaboró un estudio integral para la localidad de General Daniel Cerri y el de Lorda (2005) donde el tema principal es el desarrollo local a través de estrategias de gestión ambiental.

Es fundamental destacar la importancia que tienen los estudios hidrográficos desde la ciencia geográfica, en donde se interrelacionan las características y procesos físico ambientales que se desarrollan en una cuenca hidrográfica. Los geógrafos aumentaron, en los últimos tiempos, los estudios sobre esta temática poniendo de manifiesto la gran diversidad de aspectos que involucran estas investigaciones. El estudio de los ríos de la llanura pampeana merece especial atención por la estrecha relación que tiene el recurso hídrico con las actividades humanas que se desarrollan en el área. En este contexto surge la necesidad de conocer el comportamiento y características del río Sauce Chico. El estudio integrado de las variables físicas y humanas constituye un aporte original al conocimiento geográfico de nuestro país y contribuye al desarrollo regional, con el fin de proteger, mejorar y restaurar la cuenca hidrográfica del río Sauce Chico.

De acuerdo con las principales tareas propuestas en el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (adaptado de la UNESCO, 1990), la presente investigación realiza un aporte en: la evaluación de la cantidad y calidad del agua superficial; evaluación de las características climatológicas; elaboración de los balances hídricos; evaluación de los usos y cobertura del suelo; evaluación de las características hidrológicas de los suelos y en la recopilación de los instrumentos administrativos y legales para la gestión del agua.

La cuenca del río Sauce Chico forma parte de la llanura pampeana que se extiende desde aproximadamente los 30° de Lat. Sur hasta el río Colorado, su característica principal es la escasa pendiente. Dos sistemas montañosos interrumpen la planicie, los Sistemas de Ventania y Tandilia, insertos dentro de provincia de Buenos Aires. El río desarrolla una cuenca en forma alargada, nace en el Cerro Luisa a 825 msnm, en el cordón de Bravard, Ventania, al Suroeste de la provincia de Buenos Aires y desagua en el estuario de la bahía Blanca. Hacia el Este limita con la cuenca del arroyo Napostá Grande y Saladillo de García y hacia el Oeste con la cuenca del arroyo Chasicó. Discurre por los partidos de Saavedra, Tornquist, Villarino y Bahía Blanca (Fig. 1).

El área se encuentra comprendida en la faja zonal de climas templados, caracterizada por la heterogeneidad estacional que presenta inviernos húmedos y veranos secos. Las temperaturas medias oscilan entre los 14 °C y 20 °C y las lluvias le otorgan el carácter subhúmedo (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). La vegetación natural, se manifiesta por un escaso tapiz vegetal de estepa xerófila donde alternan arbustos de bajo porte y pastos duros. Predominan las gramíneas y la ausencia arbórea natural (Bruno *et al.*, 1999; Benedetti y Campo de Ferreras, 2002; Campo de Ferreras y Píccolo, 1999). El uso dentro del sistema serrano es exclusivamente pecuario en la ladera alta y agropecuario en el pie de sierra. En el área de llanura alternan agricultura y ganadería y en la terraza fluvial la explotación hortícola (Bruno *et al.*, 1999; González Uriarte, 1984). La única industria se localiza en la cuenca media y pertenece al rubro del papel.

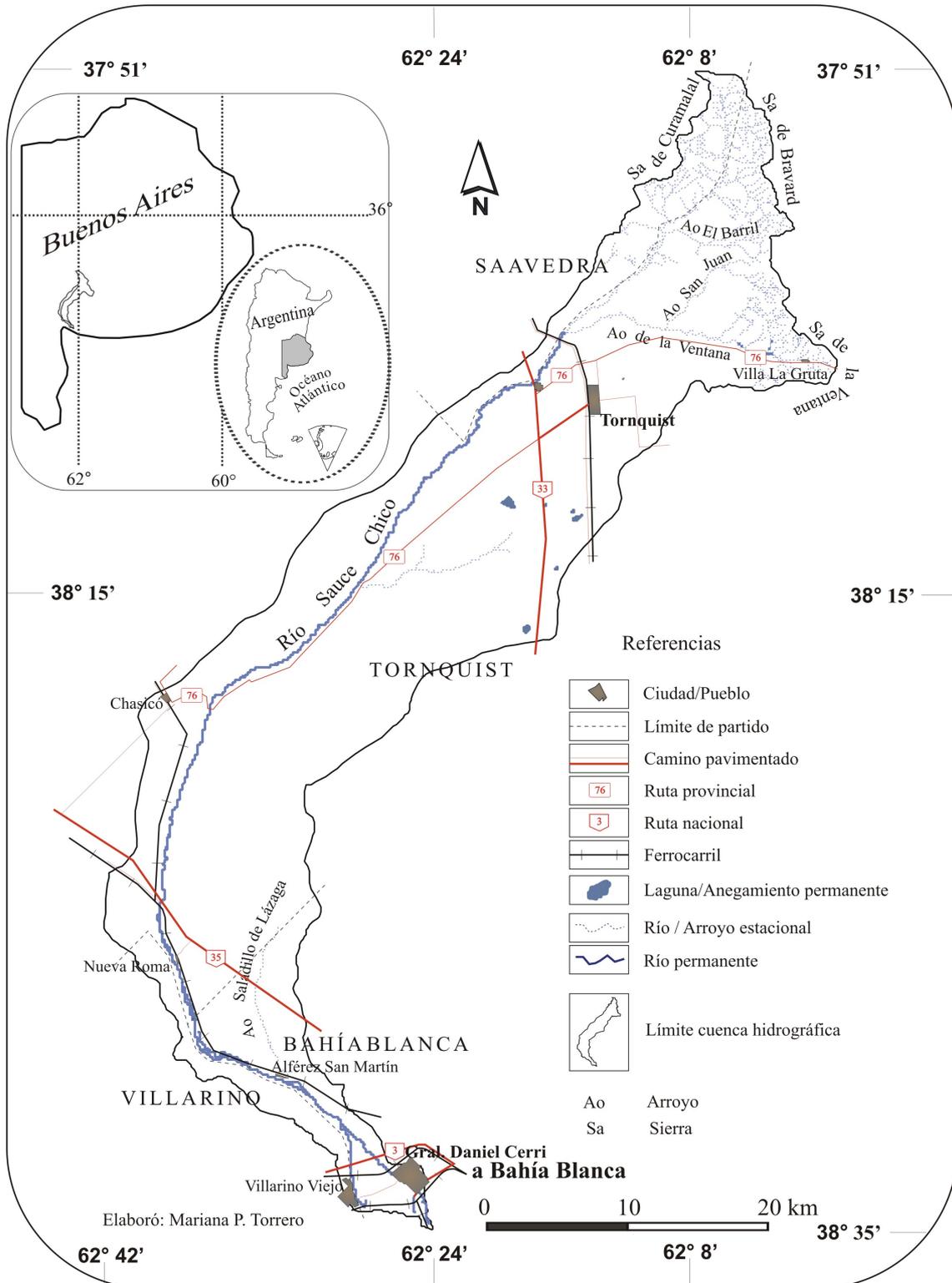


Figura 1. Cuenca del río Sauce Chico. Localización.

Fuente: IGM, 1968-1979.

El curso central del río Sauce Chico alcanza una longitud de 159 km y desarrolla una cuenca con una superficie de 1.595 km<sup>2</sup>. Tres cursos principales conforman la cuenca en la zona alta, los arroyos Chaco, Barril y Ventana y recorre un amplio valle muy aterrazado sin recibir ningún tributario permanente. Dos corrientes intermitentes se le unen por la margen izquierda, una en la cuenca media y la más importante, el arroyo Saladillo de Lázaga en la cuenca baja.

El área de estudio presenta características socio hidrográficas complejas produciendo cambios permanentes en las condiciones medio ambientales. Estas alteraciones quedan reflejadas en los paisajes y afectan no sólo a la población del lugar sino a toda la sociedad por formar parte de un espacio globalizado.

Por las características hidrológicas que presentan los suelos y el curso de agua, la alternancia de períodos de sequías/inundaciones junto con las intervenciones antropogénicas provocan graves problemas aguas abajo. En el Sur de la cuenca media y en la cuenca baja existen pequeñas explotaciones de horticultores desde hace más de 90 años y ellas son por lo tanto, las que sufren los mayores efectos de las modificaciones introducidas por el hombre aguas arriba.

Las hipótesis que sustentan la presente investigación son:

- La dinámica fluvial del río Sauce Chico está íntimamente relacionada con las características climáticas y geomorfológicas.
- La variabilidad espacio temporal de las condiciones climáticas, hidrográficas y geomorfológicas en la cuenca del río Sauce Chico, determinan la generación de procesos de degradación ambiental y su dinámica.
- La degradación de la cuenca es resultado del uso inadecuado del recurso hídrico, en consecuencia, el manejo y uso racional del mismo permite el desarrollo sustentable del espacio a través del estudio y organización integral de la cuenca.

El objetivo general de la investigación es estudiar la hidrografía del río Sauce Chico y analizar las manifestaciones de degradación y problemas generados a partir del manejo y uso del recurso hídrico a fin de promover el desarrollo sustentable de la cuenca.

Los objetivos específicos son:

- Analizar las características hidrográficas y geomorfológicas de la cuenca del río Sauce Chico.
- Analizar las estadísticas hidrográficas y climáticas, históricas y actuales de la cuenca.
- Estudiar la dinámica fluvial del río.
- Determinar los problemas generados a partir del manejo y uso del recurso hídrico (uso clandestino, falta de agua, disminución de la producción, éxodo de la población, obras realizadas).
- Determinar e identificar las manifestaciones de salinización, erosión hídrica y anegamiento.
- Destacar la importancia de los estudios hidrográficos en el manejo integral de cuencas hídricas a fin de promover el desarrollo sustentable de las mismas.
- Generar cartografía específica para el área de estudio.

Con el fin de comprobar las hipótesis planteadas sobre la base de la aplicación del método científico (método hipotético deductivo) se siguió un enfoque sistémico (Capitanelli, 1998). El trabajo de gabinete consistió en reconocer la topografía y drenaje del área de estudio. La tarea estuvo encaminada a determinar la superficie de la cuenca, distribución de las curvas de nivel y diseño de la red de drenaje. Ello permitió elegir la escala más adecuada para el análisis de las propiedades lineales, areales y de relieve y efectuar el estudio integral de la cuenca. El área de la cuenca se ubicó en un rango mayor a 1.000 km<sup>2</sup>, por lo tanto y en función de los criterios propuestos por diversos autores (Remenieras, 1974; Heras, 1983; Jardí, 1985; Strahler, 1987) la escala de trabajo que se eligió fue 1:50.000.

El procesamiento de la información espacial se efectuó utilizando herramientas tecnológicas como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La información cartográfica se volcó a un SIG. Se realizó la delimitación de la cuenca a partir de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM, 1968-1979) a escala 1:50.000 las que previamente fueron georreferenciadas; 3763-35-4, Ea. Gran Chaco; 3963-5-1, Ea. Los Cerritos; 3963-5-2 Tornquist; 3963-6-1, Sa. de la Ventana; 3963-5-4, Tres Picos; 3963-5-3, Ea. Fuerte Argentino; 3963-4-4, Pelicurá; 3963-11-1, Ea. La Planicie; 3969-10-2, Chasicó; 3963-11-4, Nueva Roma; 3963-11-3, Ea. La Víticola; 3963-16-2, Médanos y 3963-17-1, Bahía Blanca. Se digitalizaron las curvas de nivel y los cursos

de agua. Para la delimitación de la cuenca de drenaje se analizó la divisoria de aguas de la cuenca, siguiendo la dirección de las pendientes de acuerdo con las curvas de nivel (Heras, 1983).

Para completar el análisis visual del área de estudio se efectuó un relevamiento aéreo. El recorrido duró 2 horas y cubrió el área total de estudio desde la desembocadura hasta las nacientes y el regreso. El objetivo de la travesía fue observación y análisis del terreno. Se pudo realizar la identificación de características morfológicas situadas en lugares de difícil acceso como la localización de meandros y la disposición de áreas de erosión y observar los usos y cobertura del suelo. Esto permitió la confrontación con diferente material cartográfico y la elaboración de conclusiones sobre la base del análisis de las variables geográficas, realizado previamente y posteriormente al viaje.

Los resultados de esta investigación se organizan en siete capítulos.

En el Capítulo 1, se detallan las características geomorfológicas resultado de la articulación del análisis de los antecedentes bibliográficos de diversos autores. Se realiza la caracterización y análisis de las variables morfométricas y de drenaje a partir de la aplicación de índices y coeficientes. A partir del cálculo, cruzamiento y análisis de datos en el SIG se generan el Modelo digital del terreno y los mapas hipsométrico, de pendientes medias, de pendientes, de unidades hidrográficas, de jerarquización según Horton, de densidad de drenaje y de áreas geomorfológicas.

En el Capítulo 2, se describen y analizan las características climatológicas para diferentes períodos. Se define el término adecuado para indicar la variabilidad de los elementos del clima. Se elaboran los diagramas ombrotérmicos y los balances hídricos según la aplicación de dos métodos y se indica el más conveniente para el estudio. Se analizan los períodos de exceso y déficit hídrico y se efectúa la clasificación climática.

En el Capítulo 3, para la caracterización y análisis de la dinámica hidrológica se determinan los escurrimientos superficiales y se obtiene el escurrimiento real, posteriormente se comparan los resultados a fin de establecer el efecto del clima sobre el sistema hidrológico.

En el Capítulo 4, se analizan los datos de la química del agua del río Sauce Chico y se establece la aptitud del agua para uso agrícola-ganadero. Los resultados se

comparan con estudios previos. Se describen los efectos de las aguas residuales industriales y los originados por el manejo inadecuado del riego. La variabilidad espacio temporal de los datos se relaciona con las características climáticas.

En el Capítulo 5, se realiza la evaluación multitemporal de las condiciones ambientales a partir del procesamiento e interpretación visual de imágenes satelitales y uso de SIG. Se delimitan áreas y se genera el mapa de erosión hídrica. Se aplica el Índice de Vulnerabilidad Hídrica a partir del cual se elabora la cartografía correspondiente. Se determina la cobertura y uso del suelo, procesos de anegamiento y cambios en Índice de Vegetación Diferencial Normalizado. Se identifican condiciones propicias para el desarrollo del proceso de desertificación y se recomiendan acciones para mitigar los efectos. Se comprueba la respuesta de la cuenca frente a situaciones climatológicas diferentes y a la intervención antropogénica.

En el Capítulo 6, se establece la clasificación hidrológica del suelo de la cuenca a partir de la aplicación del método del Número de Curva, para determinar la capacidad que posee la cuenca vertiente de producir escorrentía para un aguacero determinado. Se trabaja con los valores de las tormentas más importantes del año 2002 y se describe la de características más frecuentes en el área.

En el Capítulo 7, se realiza el análisis cronológico de la intervención humana en el uso y manejo del agua en la cuenca del río Sauce Chico y se presentan los resultados de las entrevistas realizadas a pobladores rurales e informantes claves. Se sigue el método propuesto por la Geografía de la Percepción para relacionar la representación mental que tienen del espacio los individuos y las conductas hacia él.

## C A P Í T U L O 1

---

### EL ESPACIO FÍSICO EN LA CUENCA DEL RÍO SAUCE CHICO

Se considera al río Sauce Chico representativo de los cursos de agua que drenan la vertiente meridional del Sistema de Ventania, junto con el arroyo Napostá Grande son los únicos aportes permanentes con los que cuenta el estuario de Bahía Blanca (Arbanesi *et al.*, 1988; García y García, 1964). Los arroyos Chaco, Barril y Ventana son los cursos principales de su cuenca, constituyendo este último el afluente más caudaloso por recibir los aportes de los arroyos San Juan y San Pedro. Recorre un amplio valle muy aterrazado desarrollando un carácter prácticamente alóctono, hasta la cuenca baja donde se le une el arroyo Saladillo de Lázaga. Se caracteriza por tener un cauce bien definido. En su trayecto hacia la desembocadura adquiere un recorrido de forma semicircular con rumbo Este-Oeste. El mayor porcentaje se encuentra debajo de los 270 msnm, a partir de allí disminuye notablemente el gradiente de pendiente, no superando el 2 %. Prácticamente en toda la cuenca el flujo está bien encauzado.

La morfología está bien definida en el tramo superior y en la mayor parte del curso medio, a partir del cual comienzan a manifestarse cambios en el drenaje que afectan los usos agrícolas y ganaderos de la zona. Las variaciones altitudinales así como su elevación media, son datos esenciales que caracterizan el funcionamiento de la escorrentía en la cuenca. Por tal motivo, se analizan las características geomorfológicas, geológicas e hidrográficas de la cuenca del río Sauce Chico que determinan el comportamiento del agua superficial.

#### **1.1. Materiales y métodos para el estudio físico de la cuenca**

El procesamiento de los datos en el sistema de información geográfica, se realizó con la combinación de los programas ArcView 3.2 e Idrisi Kilimanjaro para la información obtenida de las cartas topográficas (IGM, 1968-1979). Se delimitó la cuenca del río Sauce Chico y las subcuencas principales.

Para la caracterización morfológica se obtuvieron las variables independientes como el área o superficie de la cuenca y subcuencas principales, el perímetro, el relieve disponible y la longitud del río. Se calcularon también, las variables morfométricas dependientes, entre las que se encuentran: la pendiente media de la cuenca, el factor de forma, el radio de elongación y la amplitud de la cuenca. Para obtener la forma del contorno de la cuenca, se calculó el índice de compacidad o de Gravelius. Para determinar la forma de la cuenca se utilizaron los siguientes índices:

- Relieve disponible

El relieve disponible,  $\Delta H$ , es la diferencia de altura entre el punto más alto ( $H_x$ ) y más bajo de la cuenca ( $H_y$ ).

$$\Delta H = H_x / H_y$$

- Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de la cuenca,  $P_m$ , se obtiene multiplicando la equidistancia ( $D$ ) por la sumatoria de la longitud de todas las curvas de nivel ( $P$ ) dividido por el área de la cuenca.

$$P_m = (P * D) / A$$

- Factor de forma

Factor de forma,  $R_f$ , cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima (Horton, 1932, 1945):

$$R_f = A / L_m^2$$

En función de lo propuesto por Jardí (1985) y a fin de analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca, se decidió obtener como valor de  $L_m$ , la longitud máxima entre los puntos extremos de la cuenca siguiendo el cauce del río principal.

- Radio o relación de elongación

El radio o relación de elongación,  $R_e$ , es definido por Schumm como la relación entre el diámetro de un círculo de igual superficie que la cuenca y la longitud máxima de la misma (L). El diámetro se expresa en función del área de la cuenca (A) como (Llamas, 1993):

$$R_e = 1,128 \sqrt{A/L}$$

Valores inferiores a 1 indican que la cuenca tiene forma alargada, cuánto menor sea  $R_e$  más alargada será la forma (Jardí, 1985).

- Amplitud de la cuenca

La amplitud de la cuenca, W, indica la superficie de la cuenca por unidad de longitud de la misma.

$$W = A / L_b$$

La tendencia de esta variable es que, a mayor elongación de la cuenca, menor será el valor que tome W, pero siendo en todos los casos, superior a 1. Es decir, los valores altos de W implicarán cuencas más anchas y valores más bajos de W, pero siempre encima de 1, implicarán cuencas elongadas (Jardí, 1985).

- Índice o coeficiente de compacidad

El índice o coeficiente de compacidad o de Gravelius (1914),  $K_c$ , es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo de igual superficie que la cuenca. Llamas (1993) define la siguiente expresión:

$$K_c = 0,28 * (P / \sqrt{A})$$

Donde P y A son el perímetro y la superficie de la cuenca, respectivamente. El coeficiente será igual a la unidad en cuencas perfectamente circulares pudiendo alcanzar valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas.

Asimismo, se determinaron las variables lineales que corresponden al patrón de drenaje de la cuenca del río Sauce Chico, éstas son: la jerarquía, la relación de bifurcación, la relación de longitud, la densidad de drenaje, el coeficiente de almacenamiento, el coeficiente de torrencialidad, la frecuencia de drenaje, el tiempo de concentración y la pendiente media del cauce principal. Para el análisis de las subcuencas se obtuvieron la longitud de los cursos y la densidad de drenaje respectivos.

- Jerarquía del drenaje

El análisis de la red de drenaje se realizó según el sistema introducido por Horton (1945) y modificado por Strahler (1964) que considera que el número de orden es directamente proporcional al tamaño y caudal de la cuenca. El método propuesto por Horton se basa en el análisis de la clasificación de los cursos de agua como segmentos en orden creciente de importancia según su posición jerárquica en la red de drenaje. El sistema asume que no existen uniones triples y que el número de orden se incrementa aguas abajo. En consecuencia, considera cursos de orden uno a los arroyos en sus nacientes sean temporarios o permanentes. La unión de dos cursos de igual orden da lugar a la formación de un curso de orden superior y así sucesivamente. Por lo tanto, la jerarquía que adquiera la red será el mayor valor que tome el último curso de agua el cual coincide con el curso principal.

- Relación de bifurcación

La relación de bifurcación, es una variable topológica que relaciona el número de cauces de un orden con el número de cauces de orden inmediatamente superior (Horton, 1945). Es uno de los parámetros más significativos para evaluar el comportamiento del sistema fluvial (Cuesta, 2001).

$$Rb = N_u / N (u + 1)$$

Según Strahler (1987) valores entre 2 y 5 de Rb son característicos de los sistemas fluviales, según Woldenberg (1969) los valores oscilan entre 3 y 7, indicando condiciones de equilibrio entre la red de drenaje y la topografía. Valores relativamente constantes entre un orden y el siguiente, implican similitud climática, litológica y estado de desarrollo uniforme (Strahler, 1987). Horton (1945) estableció que según la ley de números de cauce, que dentro de una cuenca determinada, "el número de cauces de diferentes órdenes tiende a aproximarse a una progresión geométrica inversa en la que el primer término es la unidad y la razón es una relación constante de bifurcación".

- Relación de longitud

La relación de longitud, RI, es la razón de incremento entre la longitud media de los cauces ( $L_u$ ) y el orden de magnitud de los mismos ( $u - 1$ ).

$$RI = L_u / L_{(u-1)}$$

La ley de longitud de los cauces enunciada por Horton sostiene que “la longitud media acumulada de segmentos de cauce de órdenes sucesivos tiende a formar una progresión geométrica cuyo primer término es la longitud media de los segmentos de primer orden y tiene por razón una relación de longitud constante”. En general puede decirse que la longitud media de los cursos se triplica cada vez que aumenta el número de orden, siendo esta razón de incremento la relación de longitud. Dado que las longitudes medias de los cauces de un mismo orden difieren considerablemente de una cuenca a otra, no pueden generalizarse conclusiones respecto de este parámetro.

- Densidad de drenaje

La densidad de drenaje, Dd, es la relación entre la longitud total de los cursos de agua ( $L_u$ ) y el área de la cuenca (A).

$$Dd = \sum L_u / A$$

Strahler (1964) considera a la densidad de drenaje como una expresión del espaciamiento entre los cursos en el área de la cuenca donde la unidad de medición es  $\text{km}/\text{km}^2$ . Smith (1950) considera que una cuenca está pobremente drenada cuando la Dd es inferior a  $5 \text{ km}/\text{km}^2$ . De igual forma, Benítez (1972) cuando la densidad de drenaje es menor o igual a  $0,6 \text{ km}/\text{km}^2$  la cuenca está insuficientemente drenada y bien drenada si la densidad de drenaje es mayor a  $3 \text{ km}/\text{km}^2$ . La densidad de drenaje de una cuenca está controlada por la litología (rocas más duras y resistentes tendrán menor densidad de drenaje que las friables), la facilidad de infiltración de los materiales (muy permeables tendrán baja densidad de drenaje) y la presencia o ausencia de cobertura vegetal. Una roca débil, bajo clima húmedo protegida por una espesa cobertura vegetal tendrá menor densidad de drenaje que la misma roca bajo clima árido donde dicha cobertura no existe.

- Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento,  $\rho$ , es el cociente entre la relación de longitud (RI) y la relación de bifurcación (Rb) de la cuenca hídrica (Horton, 1945).

$$\rho = \sum RI / Rb$$

Permite evaluar la capacidad de almacenamiento de la cuenca durante las crecidas. Cuando los valores tienden a la unidad está comprobado empíricamente que el agua meteórica tiende a ser almacenada en forma subterránea pasando a formar parte del acuífero, habrá por lo tanto menor riesgo de erosión hídrica de la cubierta superficial. En este caso podrán inferirse litologías y estructuras de los materiales sobre los cuales ha drenado el agua. Cuando los valores se alejan de la unidad es creciente el riesgo de erosión alcanzando la cuenca con mayor rapidez el “caudal de pico” en su desembocadura.

- Coeficiente de torrencialidad

El coeficiente de torrencialidad, T, resulta de dividir el número de cursos de primer orden por la superficie de la cuenca. El resultado se expresa en cursos por km<sup>2</sup>.

$$T = \sum N_1 / A$$

Van asociados a áreas de climas áridos y semiáridos donde las lluvias torrenciales son características y originan numerosos cursos de orden 1.

- Frecuencia de drenaje

La frecuencia de drenaje, Fd, es una medida no métrica que da el número de cauces por unidad de superficie.

$$Fd = \sum N_u / A$$

- Tiempo de concentración

El tiempo de concentración,  $T_c$ , es el tiempo que tarda en llegar, a la sección de salida de la cuenca, la escorrentía producida en la zona más alejada de dicha sección. Depende del espacio recorrido (longitud y forma de la cuenca) y de la velocidad de las escorrentías (altura de la escorrentía, pendiente de la cuenca y del cauce principal, rugosidad de la superficie). La fórmula más frecuentemente utilizada es la de Kirpich (1940)  $T_c = [(0,871 L^3) / (H - h)]^{0,385}$ . En función de las características de la cuenca objeto de esta investigación y como resultado de los estudios y evaluaciones de campo efectuadas con el mismo fin, se decidió aplicar la fórmula propuesta por Hathaway-Kerby (1945-1959) que considera las características superficiales del terreno (Tabla 1.1) y modificarle el valor de la variable  $S$ , asignando a la misma el de la pendiente media de la cuenca en vez de la pendiente calculada entre los puntos extremos de la cuenca.

$$T_c = (0,606 (Ln)^{0,467}) / S^{0,234}$$

Donde:

- $T_c$  : Tiempo de concentración en horas.
- $L$  : Longitud del cauce principal hasta la divisoria.
- $S$  : Pendiente media de la cuenca.
- $n$  : Rugosidad en función de la vegetación.

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Valor de n</b>
Suelo liso impermeable	0,02
Suelo desnudo	0,10
Pastos pobres, cultivos en hileras o suelo desnudo algo rugoso	0,20
Pastizales	0,40
Bosque de frondosas	0,60
Bosque de coníferas, o de frondosas con una capa densa de residuos orgánicos o de césped	0,80

Tabla 1.1. Valor asignado a la rugosidad del terreno en función de la vegetación (Hathaway, 1945).

- Pendiente media del río

La pendiente media del cauce principal ( $Pm_r$ ), es uno de los indicadores más importantes en el análisis hidrográfico empleado para determinar el grado de respuesta de una cuenca a una tormenta determinada. Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce, se definió como tal, al desnivel entre los puntos extremos de la corriente principal dividido su longitud. El orden de magnitud se obtuvo de acuerdo con la tabla 1.2.

$$Pm_r = (H_M - H_m) / (1000 * L_r)$$

Donde:

$H_M$  y  $H_m$ : Alturas máxima y mínima, en metros.

$L_r$ : Longitud del río principal, en km.

<b>Pendiente media (%)</b>	<b>Terreno</b>
< 1	Llano
1 - 5	Suave
5 - 8	Moderado
8 - 15	Fuerte
> 15	Escarpado

Tabla 1.2. Magnitud de la pendiente media del río principal.

- Índice de sinuosidad topográfica

El coeficiente de sinuosidad,  $S_t$ , fue enunciado por Schumm (1963) para reflejar el trazado del cauce como el cociente entre la longitud del valle,  $L_v$  y la del eje del río,  $L_e$ . Valores próximos a 1 indican que el cauce tiende a ser rectilíneo y valores superiores a 2 tienden a ser tortuosos, los resultados intermedios indican formas transicionales regulares o irregulares (Schumm, 1963). Pedraza Gilsanz (1996) denomina rectilíneos y meandrosos a los cauces con índices de sinuosidad menores o superiores a 1,5 respectivamente. Las longitudes empleadas en el cálculo son proyecciones de los valores reales sobre un plano horizontal. Para calcular las

dimensiones reales hay que dividir esos valores por el coseno del ángulo que forma el eje del río con la horizontal (Llamas, 1993).

$$S_t = L_v / L_e$$

Para el análisis del relieve de la cuenca se generó el Modelo digital del terreno y a partir de él el mapa hipsométrico. Asimismo, se obtuvieron y reclasificaron las pendientes medias (%) de las subcuencas.

En función del análisis realizado, se estableció como límite para el estudio hipsométrico la curva de 290 m. A partir de este nivel comienza a manifestarse un cambio abrupto de pendiente en dirección Norte-Noreste y un descenso sostenido hacia el Suroeste-Sureste, hasta la desembocadura. Se aplicó el método hipsométrico (área/altura) para el área comprendida hasta los 290 m y se realizó una evaluación cualitativa mediante la representación gráfica del relieve medio de la cuenca (Strahler, 1952; Remenieras, 1974).

La aplicación de este método permitió completar la descripción de las características morfométricas de la cuenca hídrica, determinar el estadio de evolución del paisaje y reconocer la existencia de la estrecha relación entre la curva hipsométrica y las características hidrológicas de la cuenca (Strahler, 1952, 1957, 1964, 1968; Miller, 1953; Coates, 1956 y 1972; Schumm, 1956; Chorley y Morley, 1956; Morisawa, 1964; Flint, 1972; Heras, 1983; Remenieras, 1974; Maderey, 1973; Llamas, 1993; Monsalve Sáenz, 1999). Entre otros autores que también emplearon este método se encuentran, Silva León (1999) en la cuenca alta y media del río Chama, en Mérida, Venezuela e Ironto (1972) en un sector de las Sierras Centrales de Córdoba, en forma similar a lo propuesto por Strahler (1952). En el Sureste de la provincia de Buenos Aires, se destaca el trabajo de Munguía y Campo de Ferreras (2003) en la cuenca del arroyo Pescado Castigado.

Siguiendo a Strahler (1952, 1957, 1964), Remenieras (1974), Maderey (1973), Llamas (1993), Monsalve Sáenz (1999) en el eje de las ordenadas se graficaron las cotas de las curvas de nivel consideradas y en el eje de las abscisas, la superficie de la cuenca que se halla por encima de las cotas de altura fijadas en ordenada. La curva resultante se convirtió en función adimensional usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos, dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores

máximos. El análisis y estudio de Rabassa (1979) en la cuenca total del río Manso Superior y en sus subcuencas demuestra la utilidad de este gráfico adimensional en hidrografía para el estudio de las edades de los ríos y de similitud entre dos o más cuencas. La curva obtenida representa el perfil de la cuenca y puede reemplazarse, como también se graficó en este trabajo, por el histograma de frecuencias altimétricas. Este representa la superficie, en km<sup>2</sup> o en porcentaje, comprendida entre dos niveles, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. Contiene la misma información que la curva hipsométrica pero con una representación diferente y una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca.

A partir de las curvas anteriores se determinaron:

- Altitud media

Abscisa media de la curva hipsométrica (Remenieras, 1974). Influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan al régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. Se obtiene aplicando la fórmula (Maderey, 1973; Heras, 1983; Monsalve Sáenz, 1999).

$$H = [\sum (c_i * a_i)] / A$$

Donde:

H : Elevación media de la cuenca.

c<sub>i</sub> : Cota media del área i, delimitada por dos curvas de nivel.

a<sub>i</sub> : Área i entre curvas de nivel.

A : Área total de la cuenca.

- Altitud de frecuencia media

Altitud correspondiente al punto de abscisa medio de la curva de las frecuencias altimétricas (Remenieras, 1974).

- Altitud más frecuente

Valor máximo de la curva de frecuencias altimétricas (Remenieras, 1974; Monsalve Sáenz, 1999).

- Relación hipsométrica

Es el cociente entre las áreas sobre y bajo la curva hipsométrica. Representa el estado de equilibrio morfológico de la cuenca. Un  $R_h = 1$  indica una cuenca equilibrada (Llamas, 1993).

- Integral hipsométrica

Es el área bajo la curva hipsométrica. Determina el grado de madurez de la cuenca. Valores elevados corresponden a estadios de desequilibrio o “juventud”; valores intermedios identifican paisajes en estado de equilibrio o “madurez” y bajos valores a estados senil o “monadnock” (Strahler, 1952).

La cuenca se dividió en cuatro unidades según sus características hidrográficas por considerar que las respuestas hídricas están asociadas con diferencias geológicas y geomorfológicas de la cuenca (González Uriarte, 1984; Carrica, 1998). Los resultados permitirán posteriormente, comparar la respuesta de la cuenca frente a diferentes condiciones climatológicas.

La caracterización geomorfológica e hidrográfica se realizó sobre la base del análisis bibliográfico, cartográfico y de análisis de variables. Se efectuó un relevamiento aéreo y salidas de campo que permitieron, a partir de la observación directa, corroborar los datos recabados e identificar fenómenos geomorfológicos como abarrancamientos, diaclasamiento, características del escurrimiento, zonas de acumulación y deflación. Con respecto al tipo de escurrimiento, se observó su estado (temporal, estacional, difuso), la naturaleza de los lechos y características de los cauces. Se generaron los mapas de unidades geomorfológicas e hidrográficas.

## **1.2. Características físicas de la cuenca del río Sauce Chico**

### **1.2.1. Análisis de la morfometría fluvial**

La respuesta de cada cuenca desde el punto de vista hidrológico es única y las interrelaciones entre la estructura de la red de drenaje y los procesos hidrológicos son características particulares de cada una. El análisis morfométrico de las cuencas hídricas permite delimitar unidades topográficas e hidrológicas.

En el río Sauce Chico, el tributario más importante es el Arroyo de la Ventana, le siguen los Arroyos Chaco y Barril. Todos estos cursos tienen barrancas de hasta 8 m de altura.

#### 1.2.1.1. Variables independientes de medición directa

Las variables físicas que se calcularon para determinar las dimensiones de la cuenca son el área (A) y el perímetro (P) que definen una cuenca de tamaño mediano (Campos, 1992). Asimismo, el conocimiento del área de drenaje es indispensable en el análisis hidrológico porque en función de ella se obtienen los aforos y la relación entre precipitación y caudal. El perímetro no brinda por sí solo información acerca del tamaño de la cuenca, pero es útil para comparar cuencas de igual superficie. Esta última variable está relacionada con la litología y la edad de la cuenca. También se calculó el relieve disponible ( $\Delta H$ ) (Tabla 1.3).

<b>Variables de medición directa</b>	
Área (A)	1.595,4 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	299 km
Relieve disponible ( $\Delta H$ )	1.173 m

Tabla 1.3. Variables de medición directa que intervienen en el tamaño de la cuenca.

En la elongación de la cuenca, las variables que intervienen son: la longitud de la cuenca de drenaje y la longitud total de los cursos. El criterio de medición utilizado para calcular la longitud de la cuenca de drenaje corresponde al empleado en los análisis hidrológicos el cual considera la totalidad del recorrido del curso principal incluyendo la sinuosidad del mismo (Jardí, 1985). La longitud del curso principal del río Sauce Chico es de 164,3 km y se obtuvo con la sumatoria de tres pequeños cursos en las nacientes, que de manera consecutiva se unen hasta que el río toma su nombre propiamente dicho. La longitud total de los cursos se calculó y ordenó de acuerdo con la jerarquización propuesta por Horton (Tabla 1.4).

Cuenca del río Sauce Chico						
Variables	ÓRDEN DE LOS CURSOS					Total
	1	2	3	4	5	
Número de cauces ( $N_u$ )	254	79	15	5	1	354
<b>De longitud de los cauces</b>						
<b>Parámetros</b>						
Longitud de los cursos de orden $u$ ( $L_u$ )	182,2	98,9	54,6	41,6	159,1	536,4 km
Longitud media de los cursos de orden $u$ ( $L_u$ )	0,7	1,2	3,6	8,3	159,1	1,5 km
Longitud del cauce principal ( $L_b$ )						164,3 km
<b>Índices</b>						
Razón de longitud (RI)		1,7	3	2,3	19,2	26,2
Índice de sinuosidad ( $S_i$ )						1,46
<b>Topológica</b>						
Razón de bifurcación (Rb)	3,2	5,3	3	5		4,1
<b>De intensidad fluvial</b>						
<b>Índices</b>						
Densidad de drenaje (Dd)						0,34 km/km <sup>2</sup>
Índice de frecuencia (Fd)						0,22 c/km <sup>2</sup>
Coefficiente de torrencialidad (T)						0,16 c/km <sup>2</sup>
Coefficiente de almacenamiento ( $\rho$ )						6,4
Tiempo de concentración ( $T_c$ )						7 hs 30' - 10 hs 30'
<b>Del relieve</b>						
<b>Parámetros</b>						
Altitud máxima de la cuenca ( $H_M$ )						1.173 m
Altitud máxima del cauce principal ( $H_{Mb}$ )						825 m
Altitud mínima de la cuenca ( $H_m$ )						0 m
Altitud mínima del cauce principal ( $H_{mb}$ )						0m
Altitud media de la cuenca ( $H_{me}$ )						195 m
Desnivel de la cuenca ( $\Delta H$ )						1.173 m
Desnivel del cauce principal ( $\Delta H_b$ )						825 m
Pendiente media de la cuenca ( $P_{me}$ )						2,40%
Pendiente media del cauce principal ( $P_b$ )						0,50%
<b>De forma y tamaño de la cuenca</b>						
<b>Parámetros</b>						
Superficie de la cuenca (A)						1.595,4 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)						299 km
Longitud ( $L_b$ )						164,3 km
Ancho (W)						9,7 km
<b>Índices</b>						
Índice de compacidad ( $K_c$ )						2,1
Razón de elongación ( $R_e$ )						0,27
Factor de forma ( $R_f$ )						0,06

Tabla 1.4. Variables morfométricas de la cuenca del río Sauce Chico.

La delimitación de las subcuencas (Fig. 1.1) permitió la caracterización física correspondiente a las dimensiones y elongación de cada una de ellas, determinadas a partir del cálculo de la superficie y la longitud de los cursos respectivamente. El análisis marcó una notable desproporción entre el extremo Norte de la cuenca y el resto del área. Esta diferencia se relaciona fundamentalmente con las condiciones del relieve (Tabla 1.5).

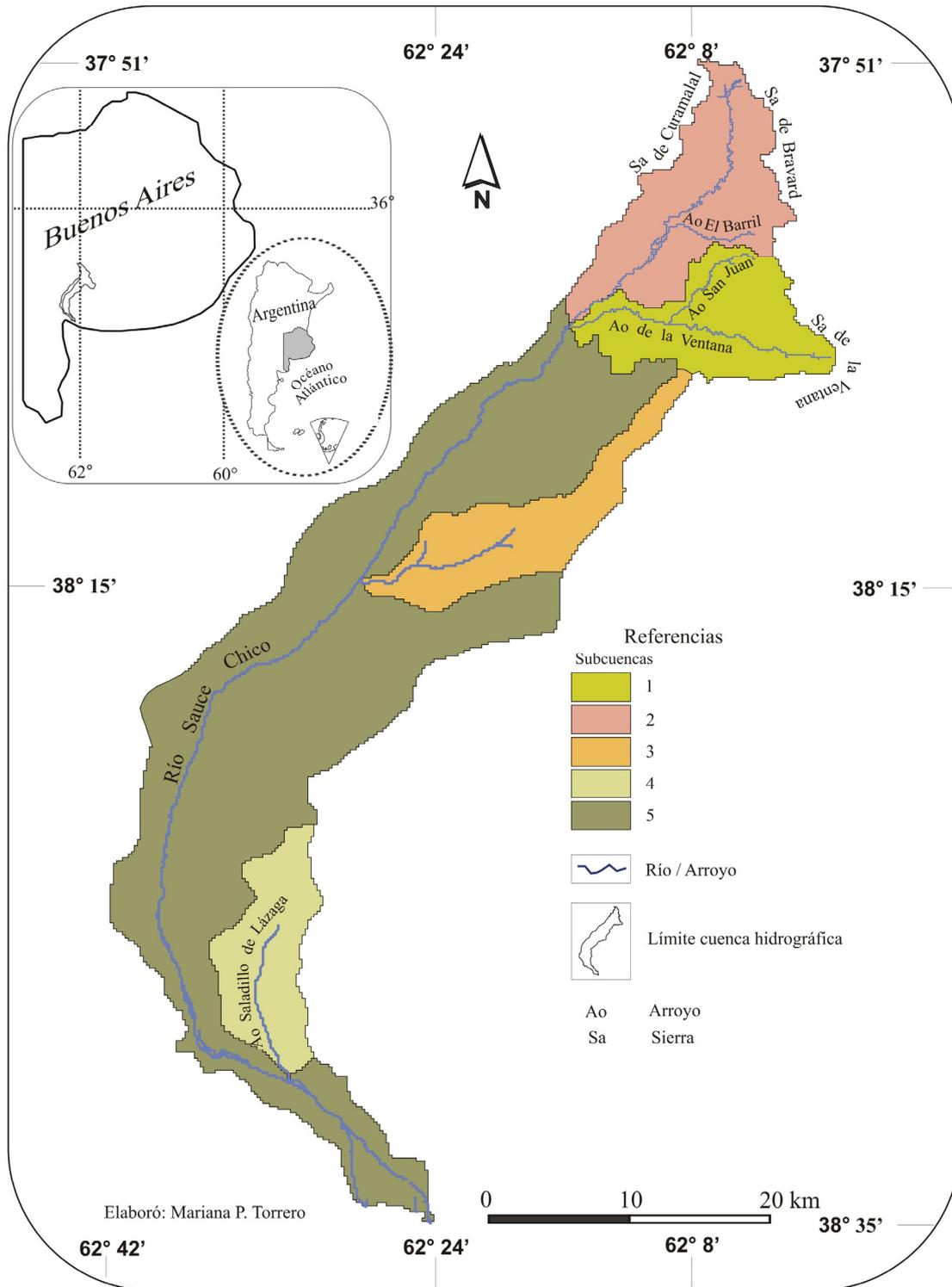


Figura 1.1. Cuenca del río Sauce Chico. Subcuencas.

Fuente: Elaborado sobre la base cartográfica del IGM (1968-1979).

<b>Subcuencas</b>	<b>Longitud cursos (km)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
1	134	155
2	233	194
3	19	147
4	15	127
5	150	965

Tabla 1.5. Variables morfométricas de las subcuencas.

### 1.2.1.2. Variables dependientes de medición indirecta

Para el cálculo de las variables dependientes se emplean datos obtenidos por las variables de medición directa. Se obtuvieron: la pendiente media de la cuenca ( $P_{me}$ ), el factor de forma ( $R_f$ ), la relación de elongación ( $R_e$ ), la amplitud de la cuenca ( $W$ ), el coeficiente de compacidad ( $K_c$ ).

La pendiente media de la cuenca es de 2,4 % lo que da idea de un relieve bastante plano. Sin embargo, cabe aclarar, que existe una notable diferencia entre la cuenca alta, un área pequeña caracterizada por un relieve positivo importante y el resto de la cuenca, donde predomina una topografía más plana.

Para determinar la elongación de la cuenca se consideraron el factor de forma y la razón de elongación obteniéndose un  $R_f$  de 0,063 y un  $R_e$  de 0,27. Ambos valores inferiores a 1 están indicando que la cuenca de drenaje es de forma alargada y muy alargada por el bajo valor de  $R_f$ . También se obtuvo una amplitud de 9,71 km, valor bajo según Jardí (1985) que confirma el carácter elongado de la cuenca, con un área de mayor extensión latitudinal. El contorno de la cuenca se analizó a través del coeficiente de compacidad ( $K_c$ ). Este índice que indica la forma, da un valor de 2,1 indicando en consecuencia, un contorno relativamente lobulado para la cuenca del río Sauce Chico.

### 1.2.1.3. Altimetría de la cuenca

La distribución altimétrica de la cuenca hidrográfica, determinó una cuenca caracterizada por un relieve mixto, con predominio de llanura en un 75 % en donde no se superan los 300 m. La pendiente media de toda la cuenca del río Sauce Chico es de 2,36 % y desciende un 25 % (1,73 %) aproximadamente, al ingresar en el área de llanura (Fig. 1.2 y 1.3). Según la obtención de las pendientes medias de las subcuencas, más de la mitad de toda la cuenca tiene una pendiente baja (2 %) y menos del 25 % posee una inclinación alta (18 %) (Tabla 1.6). El resto, que incluye a tres de las subcuencas, se caracterizan por tener una pendiente media que oscila entre 8 y 10 % y por localizarse en el sector Este de la cuenca, dos en la cuenca media y la otra en la cuenca alta (Fig. 1.4). La elevación media para la superficie llana es cercana a la altitud de frecuencia media siendo 178 m y 195 m respectivamente; la altitud más frecuente, 245 m, se ubica próxima al límite de este sector (Tabla 1.7).

<b>Subcuencas</b>	<b>Pendiente media (%)</b>	<b>Significado</b>
1	9	Media
2	18	Alta
3	8	Media
4	10	Media
5	2	Baja

Tabla 1.6. Pendiente media de las subcuencas.

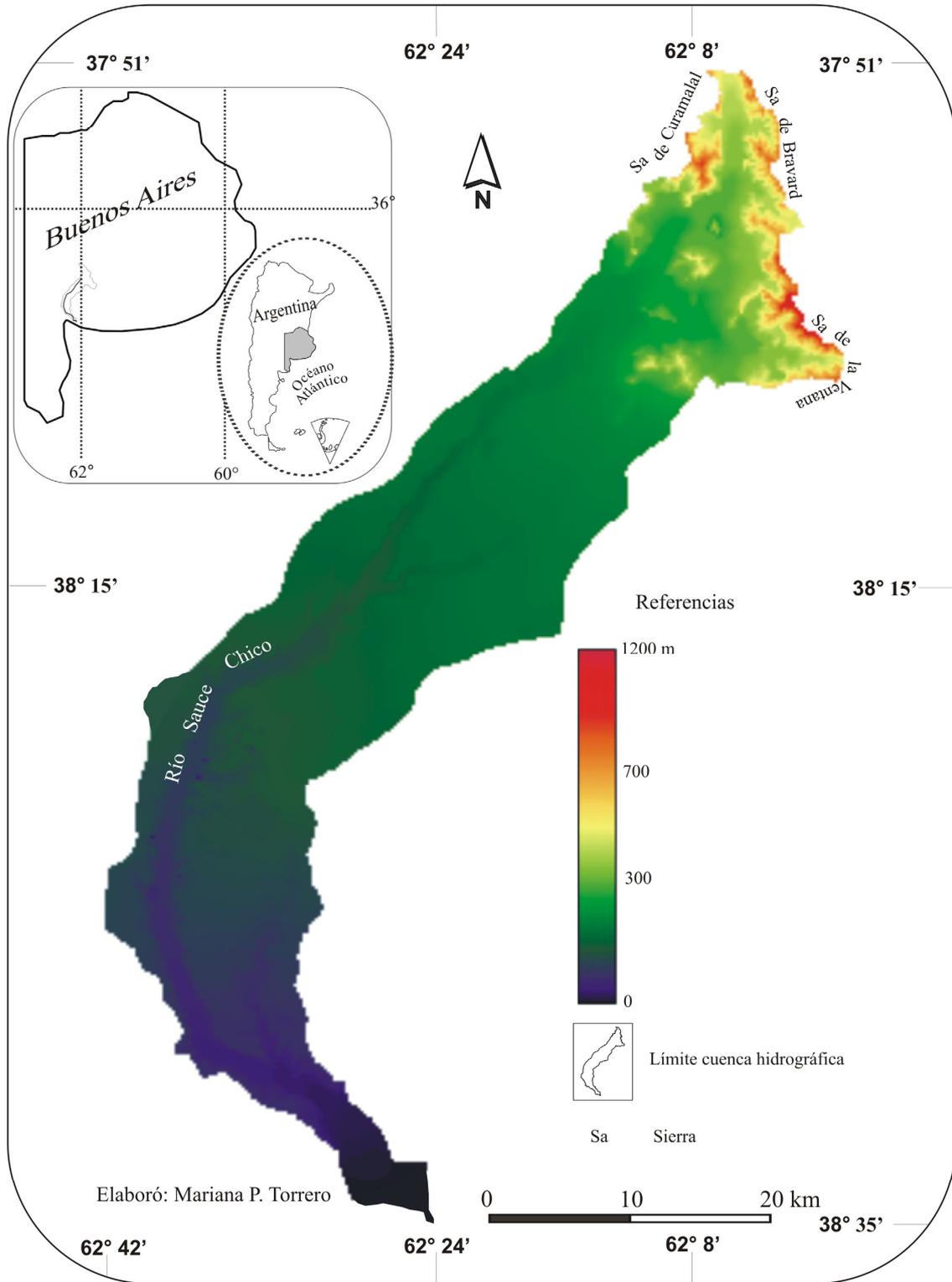


Figura 1.2. Cuenca del río Sauce Chico. Modelo digital del terreno.

Fuente: Elaborado sobre la base cartográfica del IGM (1968-1979).

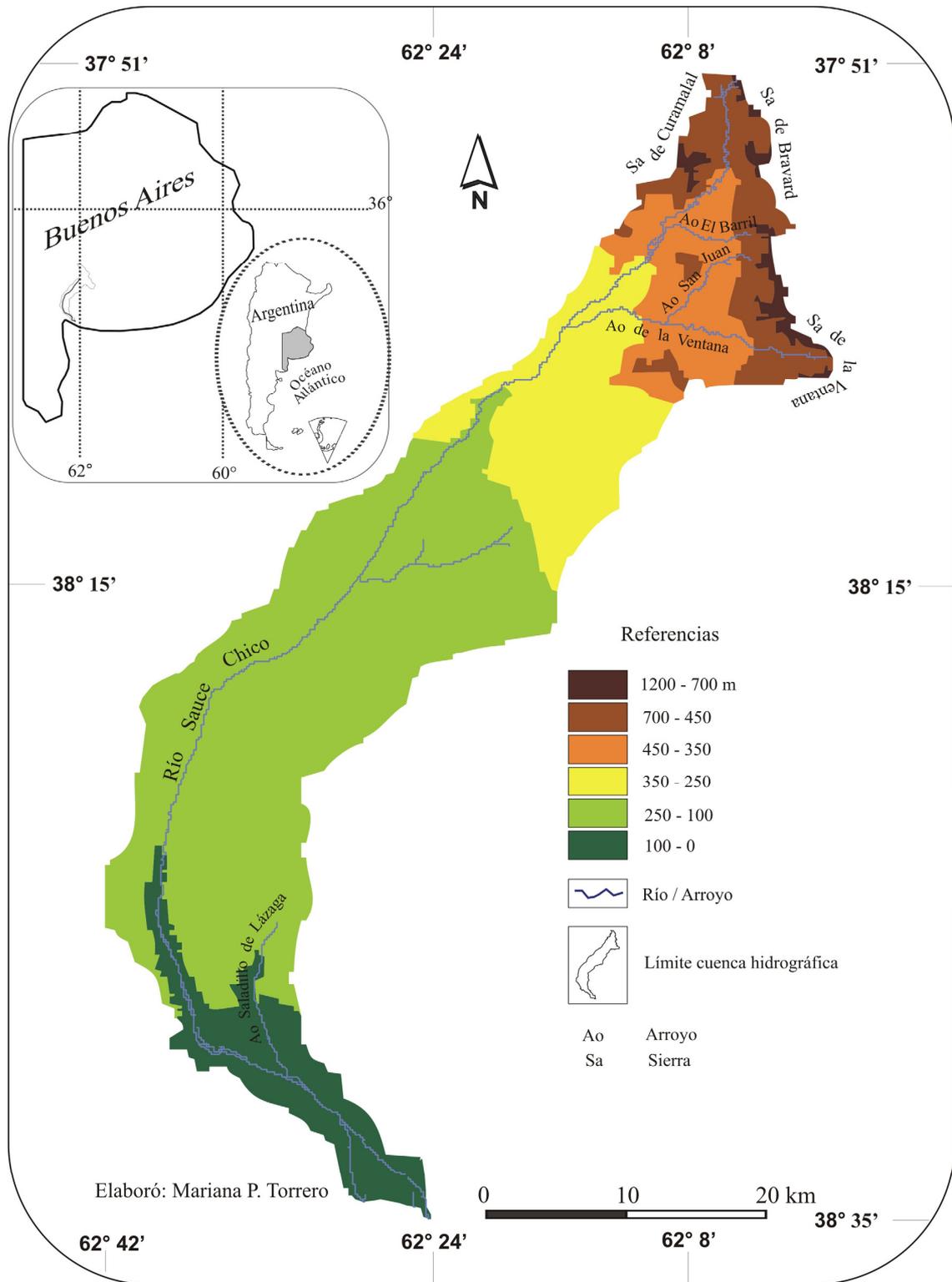


Figura 1.3. Cuenca del río Sauce Chico. Hipsometría.

Fuente: Elaborado sobre la base cartográfica del IGM (1968-1979).

Intervalo entre curvas de nivel (msnm)	Área (ai) (km <sup>2</sup> )	Cota media (Ci) (msnm)	Elevación media (H)	Área (ai) / Área Total (%)	Área acumulada (%)	Área acumulada (km <sup>2</sup> )
0 - 5	11,99	2,5	0,025	0,99	100,00	1210,45
5 - 10	13,59	7,5	0,084	1,12	99,01	1198,47
10 - 15	10,30	12,5	0,106	0,85	97,88	1184,87
15 - 20	6,64	17,5	0,096	0,55	97,03	1174,58
20 - 30	9,97	25	0,206	0,82	96,48	1167,93
30 - 40	6,78	35	0,196	0,56	95,66	1157,96
40 - 50	11,73	45	0,436	0,97	95,10	1151,18
50 - 60	12,01	55	0,546	0,99	94,13	1139,45
60 - 70	14,39	65	0,772	1,19	93,14	1127,44
70 - 80	24,78	75	1,535	2,05	91,95	1113,05
80 - 90	18,97	85	1,332	1,57	89,90	1088,27
90 - 100	35,96	95	2,822	2,97	88,33	1069,30
100 - 110	39,31	105	3,409	3,25	85,36	1033,34
110 - 120	34,78	115	3,305	2,87	82,12	994,03
120 - 130	48,62	125	5,020	4,02	79,24	959,25
130 - 140	50,03	135	5,580	4,13	75,23	910,63
140 - 150	46,69	145	5,593	3,86	71,09	860,60
150 - 160	56,67	155	7,256	4,68	67,24	813,91
160 - 170	56,21	165	7,661	4,64	62,55	757,24
170 - 180	45,90	175	6,637	3,79	57,91	701,04
180 - 190	51,82	185	7,920	4,28	54,12	655,13
190 - 200	64,54	195	10,397	5,33	49,84	603,31
200 - 210	60,82	205	10,301	5,02	44,51	538,77
210 - 220	58,07	215	10,314	4,80	39,48	477,95
220 - 230	66,63	225	12,386	5,50	34,68	419,88
230 - 240	63,95	235	12,415	5,28	29,18	353,25
240 - 250	103,20	245	20,889	8,53	23,90	289,30
250 - 260	63,71	255	13,422	5,26	15,37	186,10
260 - 270	47,43	265	10,383	3,92	10,11	122,38
270 - 280	46,21	275	10,499	3,82	6,19	74,96
280 - 290	28,74	285	6,768	2,37	2,37	28,74
<b>Total</b>	<b>1210,45</b>	<b>145</b>	<b>178,31</b>	<b>100,00</b>		
<b>Altitud más frecuente</b>		<b>245 m</b>				
<b>Altitud de frecuencia media</b>		<b>195 m</b>				

Tabla 1.7. Hipsometría de la cuenca del río Sauce Chico.

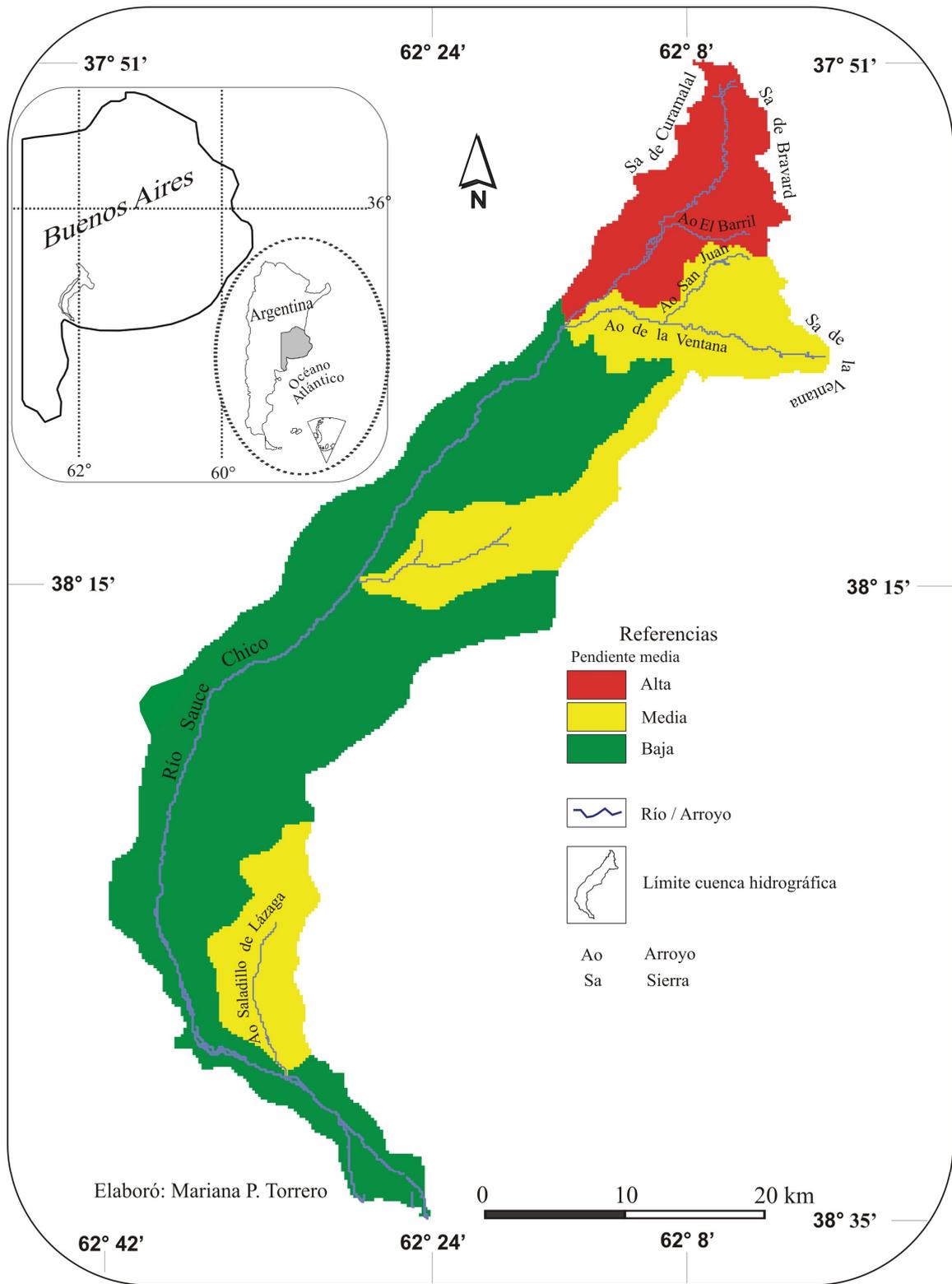


Figura 1.4. Cuenca del río Sauce Chico. Pendiente media de las subcuencas.

Fuente: Elaborado sobre la base cartográfica del IGM (1968-1979).

La curva hipsométrica suavemente nivelada (Fig. 1.5) evidencia una tendencia hacia un estado de equilibrio y madurez, semejante a la “Fase B” del modelo teórico propuesto por Strahler (1952). La relación hipsométrica (0,91) y la integral hipsométrica confirman la situación. En general, los cursos se encuentran conectados y el sistema de drenaje está integrado, son característicos los meandros pero el río principal no alcanza aún su perfil de equilibrio. Sin embargo, estos resultados difieren con los estudios realizados en el área que muestran indicios de reactividad tectónica moderna. Este proceso de rejuvenecimiento del paisaje puede inferirse a partir del marcado encajonamiento que presentan los cursos de la región, en particular, el del río Sauce Chico. Según la interpretación de mediciones gravimétricas realizadas en las Sierras Australes, el área no se encuentra isostáticamente ajustada; esta descompensación de masa podría estar vinculada a movimientos verticales ascendentes que provocaría el proceso de rejuvenecimiento del paisaje (Kostadinoff *et al.*, 1981). Asimismo, Bonorino (1988), Quatrocchio *et al.* (1994 y 2007) y González Uriarte (1984) encontraron evidencias en la cuenca media de este río, de disposiciones controladas a causa de neotectónica en estratos correspondientes a depósitos fluviales del Pleistoceno tardío que están flexurados y que se atribuyen a un proceso de reactivación moderna de las fracturas profundas.

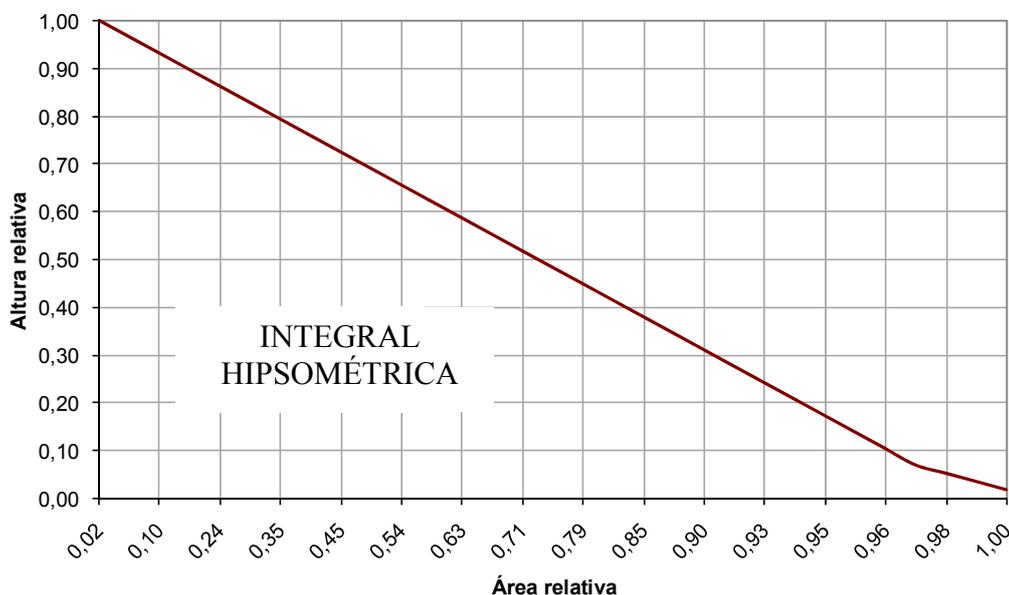


Figura 1.5. Curva hipsométrica de la cuenca del río Sauce Chico.

Fuente: Elaborado sobre la base de datos hipsométricos (Tabla 1.7).

La distribución de áreas en función de la altitud (Fig. 1.6) permite observar las alturas centrales de la cuenca, que en este caso son: altitud media = 195 m; altitud mediana = 130 m y altitud modal = 245 m. Como la altura media es mayor que la mediana, la distribución de áreas con respecto a la altitud se considera asimétricamente positiva, es decir, la superficie de la cuenca con altitudes superiores a la media es menor que la superficie con altitudes inferiores a dicho valor medio. La curva hipsométrica puede modificarse en función de la altura relativa y ello permite estimar el estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca. Esta función relaciona altitud con área, por lo tanto, cambia con el tiempo a medida que la cuenca sufre denudación. No obstante, algunos autores atribuyen las diversas formas de la curva hipsométrica a una actividad diferencial entre los procesos de construcción tectónica y degradación por erosión, actividades no necesariamente relacionadas con la edad de la cuenca (Silva León, 1999).

El límite del área hipsométrica se estableció a los 290 m de altitud con una superficie de casi 1.200 km<sup>2</sup> y se observa que más del 80 % del área se ubica a los 245 m en coincidencia con el mayor desarrollo areal (8,5 % del total) (Fig. 1.6).

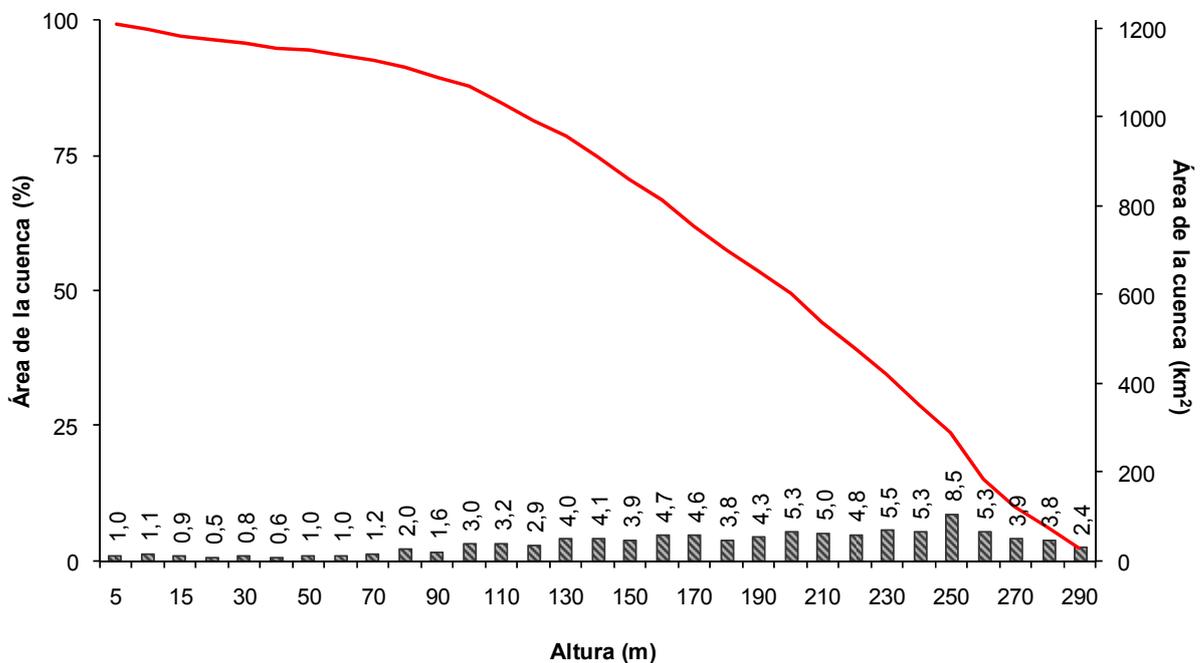


Figura 1.6. Curva hipsométrica y frecuencias altimétricas de la cuenca del río Sauce Chico. Fuente: Elaborado sobre la base de datos hipsométricos (Tabla 1.7).

#### **1.2.1.4. Análisis de las variables del patrón de drenaje**

Las variables que intervienen en el patrón de drenaje se obtuvieron sobre la base de jerarquización de los cursos de agua de la cuenca. Se determinó que la cuenca es de orden 5 lo que indica la magnitud de la ramificación (Tabla 1.4, Fig. 1.7). Desde el punto de vista cuantitativo, el orden de las corrientes es el aspecto más importante en el análisis de la red de drenaje (Verstappen, 1983).

La red hidrográfica principal está constituida por 354 cursos con una longitud aproximada de 536 km, en consecuencia tiene una baja densidad de drenaje,  $0,34 \text{ km/km}^2$ , resultando una textura gruesa, una cuenca pobremente drenada (Smith, 1950; Benítez, 1972). Según Rabassa (1983) la densidad de drenaje es indicadora de unidades litoestratigráficas del sustrato, de ambientes y unidades geomorfológicas, del porcentaje de extensión de roca base, del relieve y de la capacidad de infiltración del suelo. Sin embargo, el relevamiento de campo y análisis cartográfico permitió constatar una notable diferencia entre la cuenca de alimentación, con un área de  $397,2 \text{ km}^2$  que concentra la casi totalidad de los cursos y el resto de la cuenca. El índice de frecuencia es bajo,  $0,22 \text{ cursos/km}^2$ , según Tricart (1965) el valor más importante es el del primer orden, ya que son en definitiva estos cauces, los de mayor poder erosivo. El coeficiente de torrencialidad es también bajo,  $0,16 \text{ cursos/km}^2$  y está asociado a climas subhúmedos. La densidad de drenaje mantiene una relación directa con el índice de frecuencia y torrencialidad, por lo tanto, se concluye que los resultados de Dd, Fd y T obtenidos, son buenos indicadores de las características generales de la cuenca (Tabla 1.4).

Los valores de Dd calculados para las subcuencas indican una baja densidad de drenaje según Strahler (1964), sin embargo, la marcada diferencia entre ellos permite, en este caso, clasificarlas en altas, medias y bajas (Tabla 1.8, Fig. 1.8).

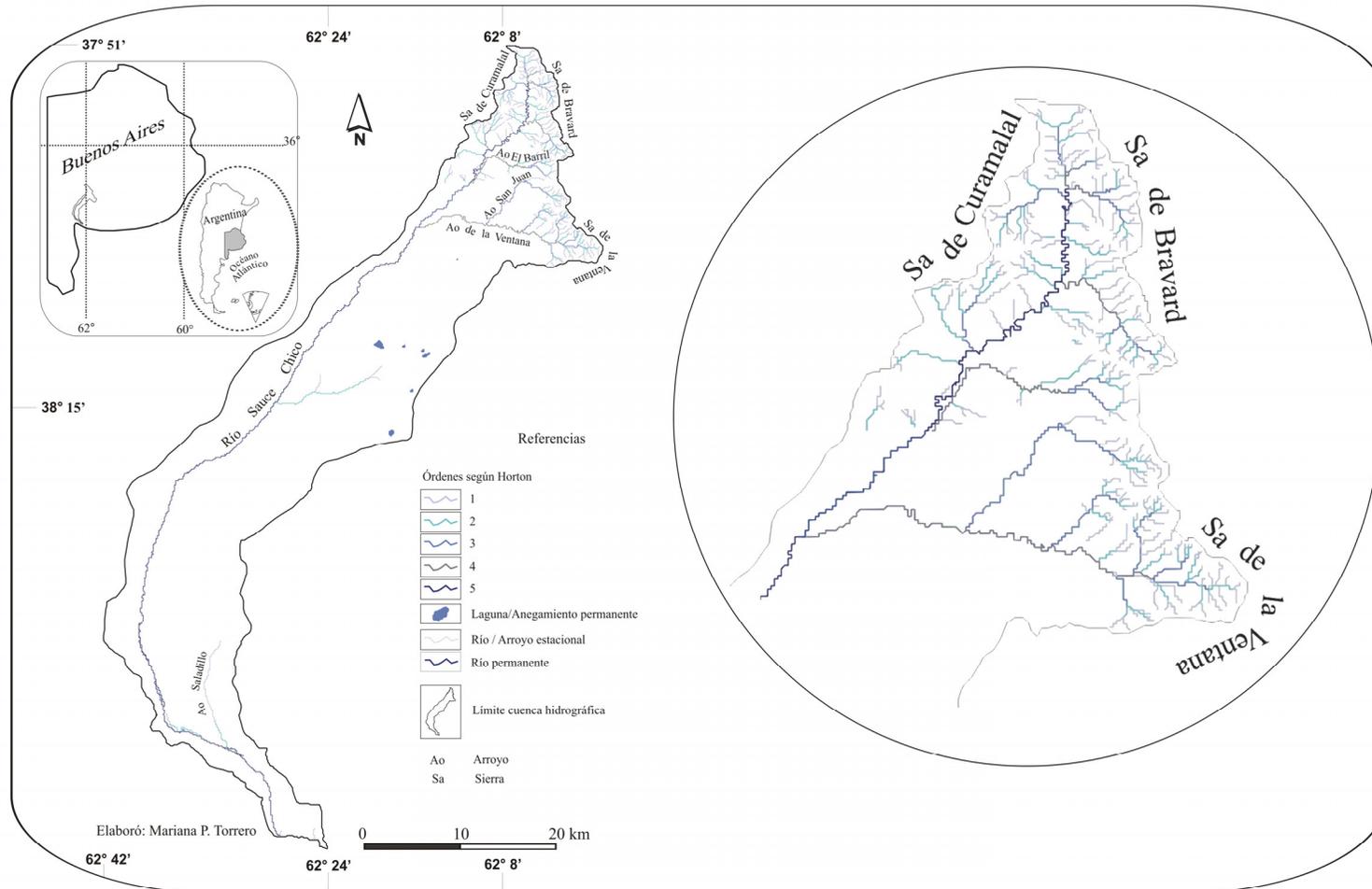


Figura 1.7. Cuenca del río Sauce Chico. Jerarquización de la red de drenaje.

Fuente: Elaborado sobre la base cartográfica del IGM (1968-1979).

<b>Subcuencas</b>	<b>Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Significado</b>
1	0,86	Media
2	1,20	Alta
3	0,13	Baja
4	0,12	Baja
5	0,16	Baja

Tabla 1.8. Densidad de drenaje de las subcuencas del río Sauce Chico.

La jerarquización de la red de drenaje describe el gran número de cauces de primer orden cuyo porcentaje de frecuencia es de casi el 72 %, respecto a los otros órdenes (Tabla 1.4). Esto implica la presencia de un sustrato muy poco permeable próximo a la superficie y atestigua la importancia del proceso erosivo hídrico en las distintas unidades de paisaje. No obstante, cabe aclarar, que el sistema rocoso en la cuenca se encuentra fuertemente diaclasado, como pudo comprobarse en las salidas de campo.

De acuerdo con los valores de la relación de bifurcación ( $R_b$ ), que oscilan entre 3 y 5, se puede concluir que la estructura geológica no condiciona el patrón de drenaje y que existe una condición de equilibrio entre la red y la topografía. Con respecto a la relación de longitud ( $R_l$ ), los valores no son constantes particularmente, en la relación entre los órdenes 4 y 5. En este caso, la disimetría provocada por el sistema orogénico incide en la distorsión de este parámetro. Excepto para el orden 3, se observa una relación directamente proporcional de la  $R_l$  con la  $R_b$ , así cuanto mayor es la primera, mayor aumento presenta la bifurcación de la misma.

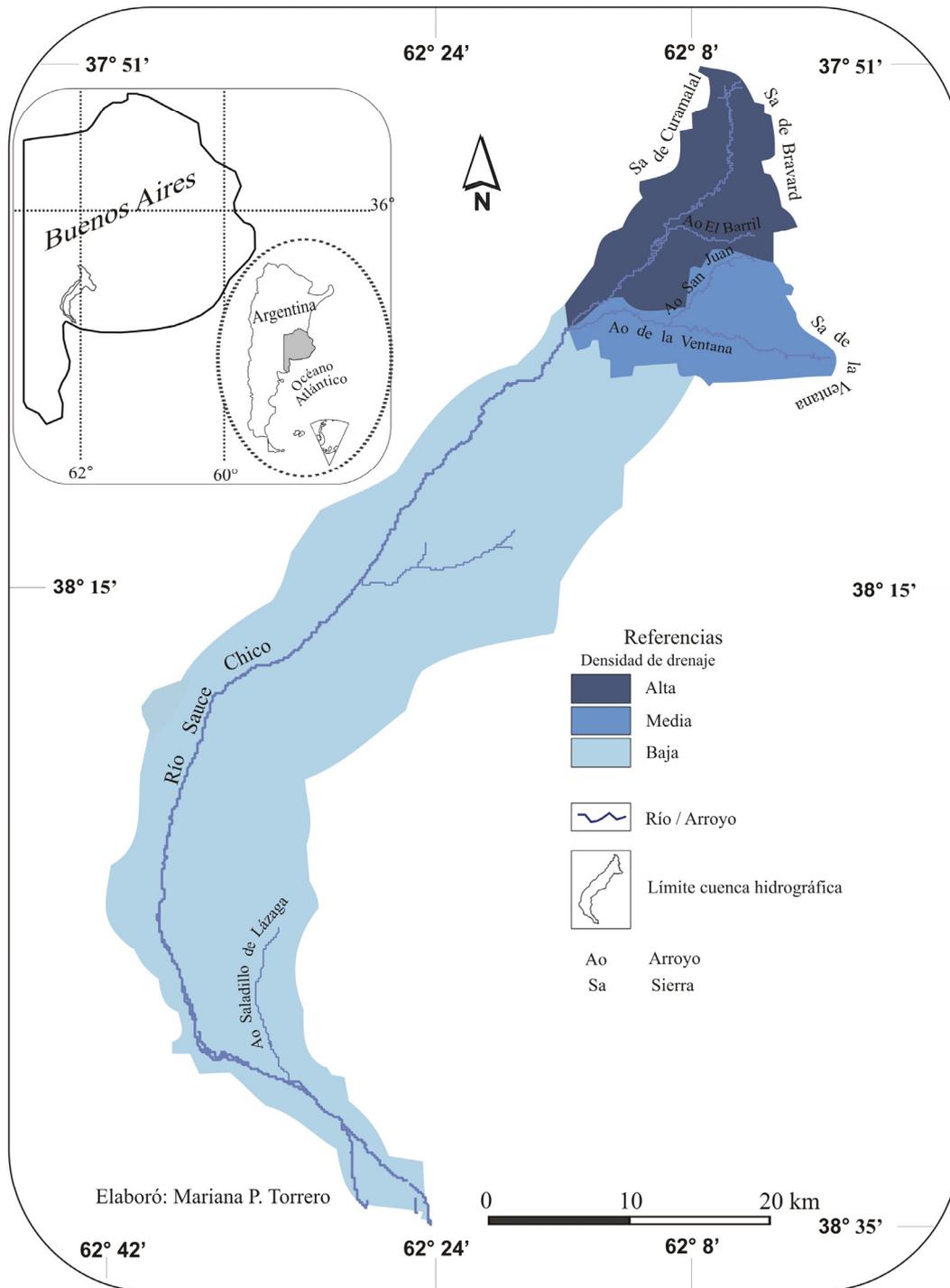


Figura 1.8. Cuenca del río Sauce Chico. Densidad de drenaje de las subcuencas.  
Fuente: Elaborado sobre la base cartográfica del IGM (1968-1979).

El coeficiente de almacenamiento ( $\rho$ ) obtenido es de 6,4. El agua no tiende a ser almacenada por lo tanto, el riesgo creciente de erosión hídrica es elevado. Asociado a este índice se encuentra el tiempo de concentración ( $T_c$ ), que resulta para toda la cuenca de entre 7 hs 30' a 14 hs 30', según las características de cobertura que el suelo presente en ese momento; es el tiempo que tardaría, teóricamente, en llegar a la desembocadura una crecida propiciada por una precipitación situada en el extremo más alejado de la cuenca. El tiempo de concentración tiene gran importancia hidrológica debido a que depende del grado de intervención humana en la cuenca. La compactación de los suelos y las canalizaciones de los cauces fluviales por un lado, reducen considerablemente el tiempo de concentración y por otra parte, facilitan la concentración más rápida de las escorrentías (formación de avenidas). Según Cuesta (2001) la  $D_d$  afecta al tipo de escorrentía y así en zonas de alta densidad, la escorrentía recorre la superficie rápidamente rebajando el  $T_c$  e incrementando el pico de crecida al haber menos infiltración.

La poca pendiente media del río, 0,5 %, que representa 26,6° del ángulo del terreno, supone un relieve llano. Esta condición, contribuiría a mitigar el impacto de una tormenta determinada. Sin embargo, ante un evento de lluvias intensas y fuertes avenidas y por las características que se observan en el perfil longitudinal del río (Fig. 1.9), favorecerían parcialmente el flujo de la corriente. De acuerdo con la clasificación propuesta por Saavedra (2001) según la pendiente media del cauce principal, la topografía del terreno de la cuenca es de tipo llano. El resultado obtenido para el índice de sinuosidad (1,46) refleja un cauce del tipo transicional (Schumm, 1963; Antoneli y Lopes Thomaz, 2007) o rectilíneo pero con tendencia a meandroso según la clasificación propuesta por Pedraza Gilsanz (1996).

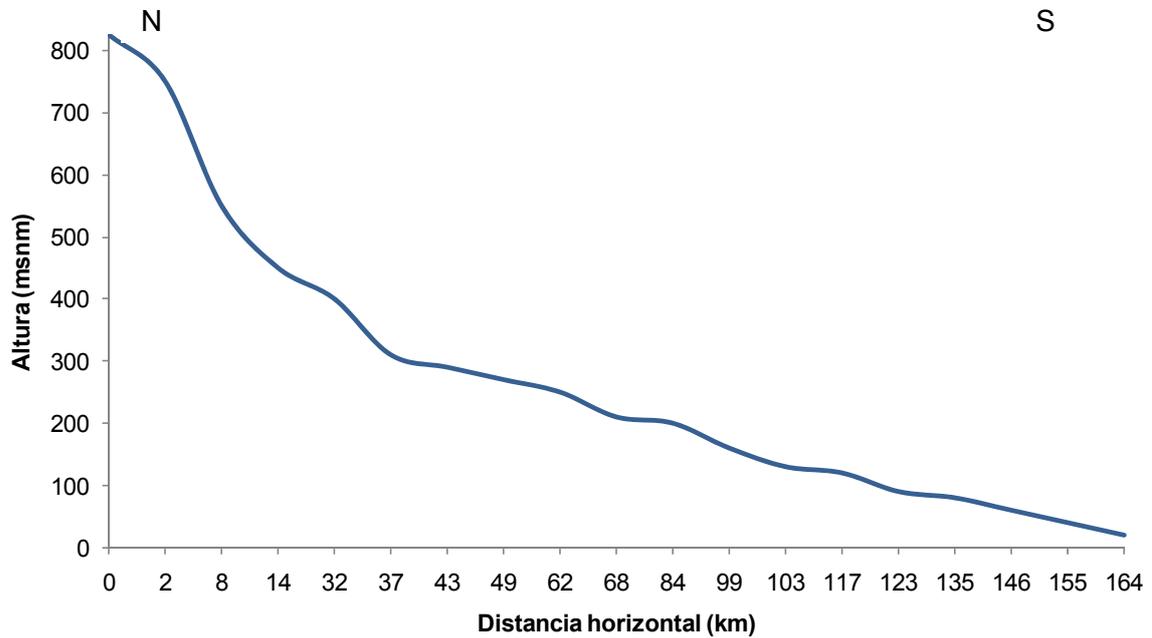


Figura 1.9. Perfil longitudinal del río Sauce Chico.

Fuente: Elaborado sobre la base cartográfica del IGM (1968-1979).

### 1.2.2. Caracterización geomorfológica

El paisaje general forma parte de la denominada *Pampa interserrana y pedemontana* (Fidalgo *et al.*, 1975) y la morfología es resultado del relieve zonal. La cuenca abarca las macrounidades geomorfológicas reconocidas por González Uriarte (1984) como *Sistema serrano* (Ss) y *Nivel de planación general* (Npg) correspondientes al dominio del positivo de Ventania y al primer paleonivel marino, del subdominio litoral (Fig. 1.10).

Dentro del Sistema serrano, los *Cerros y serranías* (Cs) configuran un relieve plano y plano-cóncavo por donde discurre el río Sauce Chico, que junto a las *Planicie de valle* (Pv) correspondientes a las áreas planas interiores al sistema y a los *Valles intraserranos* (Vi) integran esta gran unidad (González Uriarte, 1984; Arbanesi *et al.*, 1988) (Fig. 1.10). Las sierras están formadas por rocas cuarcíticas del Paleozoico inferior, fuertemente plegadas, caracterizadas fundamentalmente por el buzamiento que presentan los grandes pliegues primarios (Harrington, 1947). Los afloramientos

rocosos se encuentran por encima de los 350-400 msnm y se extienden por una superficie de aproximadamente 100 km<sup>2</sup>. Estas rocas constituyen la divisoria de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca por el Norte, Noroeste, Este y Sureste. Su alta resistencia a la erosión permite definir un relieve montuoso, abrupto, continuo y de crestas bien definidas producto de las condiciones litológicas y estructurales que presentan (Albouy, 1994).

En los Cerros y serranías se diferencian dos zonas, el *Frente libre de roca* (FI), coincidente con la vertiente o ladera alta, con gradientes mayores al 20 % y con roca expuesta, donde se da un fuerte control estructural y una faja de *Pie de sierra* (Ps) falda o ladera baja, con predominio de depósitos coluviales y gradientes que varían entre 5 % y 20 %. Las alturas del límite inferior del Pie de sierra oscilan entre los 400 m y 350 m (González Uriarte, 1984; Arbanesi *et al.*, 1988) (Fig. 1.10 y 1.11).

El grado de inclinación de las pendientes occidentales es mayor respecto a las orientales como consecuencia de las características estructurales y la degradación es mayor en las últimas por su orientación respecto al sol. Las geoformas características del relieve serrano son los valles intermontanos. Desde el punto de vista morfológico pueden clasificarse como de vertiente, transversales o *abras* y longitudinales. Los primeros se desarrollan en las laderas, presentan la típica sección en *v* y se encuentran exhondando la fracturación de las rocas. Los cursos de agua que se desarrollan en estos valles son de carácter intermitente, pierden definición en el pie de sierra y desaparecen por infiltración en el piedemonte. Numerosos valles transversales atraviesan la Sierra de Curamalal, éstos determinan un borde occidental caracterizado por la discontinuidad, mientras que el borde oriental conformado por las Sierras de Bravard y Ventana no presenta discontinuidades. Las máximas alturas se alcanzan en los cerros Destierro Primero en las sierras de la Ventana, con 1.172 m; de la Ventana, 1.134 m; La Sofía, 959 m; La Providencia, 929 m; Gran Chaco, 865 m y Pan de Azúcar, 741 m. En el área interserrana se desarrollan valles longitudinales y transversales, que dan lugar a la formación de corrientes de agua, jóvenes y permanentes y a las planicies de valle (Arbanesi *et al.*, 1988). El área presenta una cubierta sedimentaria moderna formada por sedimentos del Plioceno y Cuartario constituidos por depósitos superficiales de origen fluvial, coluvial y eólico, al pie de áreas en pendiente (Albouy, 1994) (Fig. 1.10).

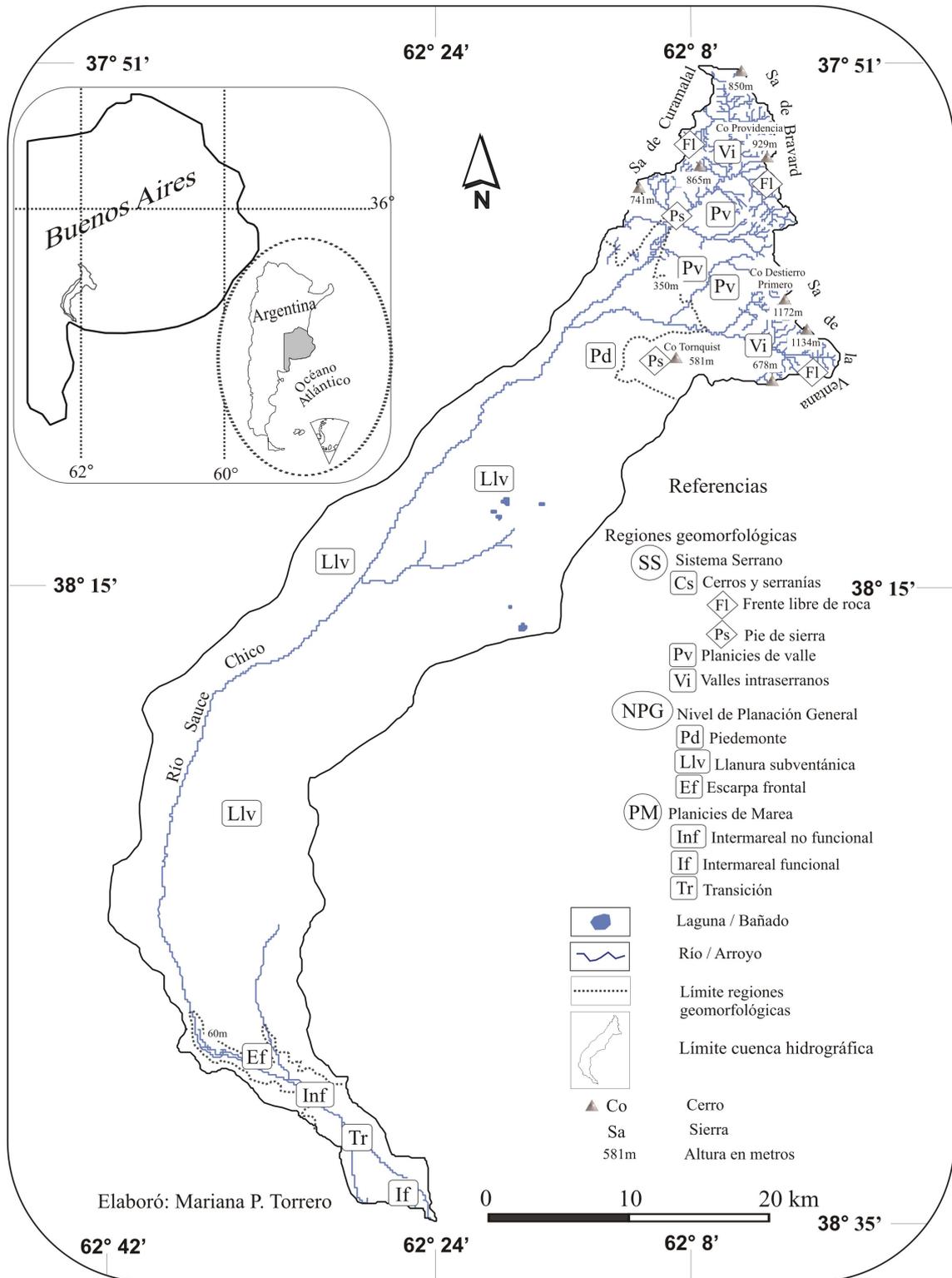


Figura 1.10. Cuenca del río Sauce Chico. Regiones geomorfológicas.

Fuente: Elaborado sobre la base de González Uriarte (1984) y Marengo (1994).

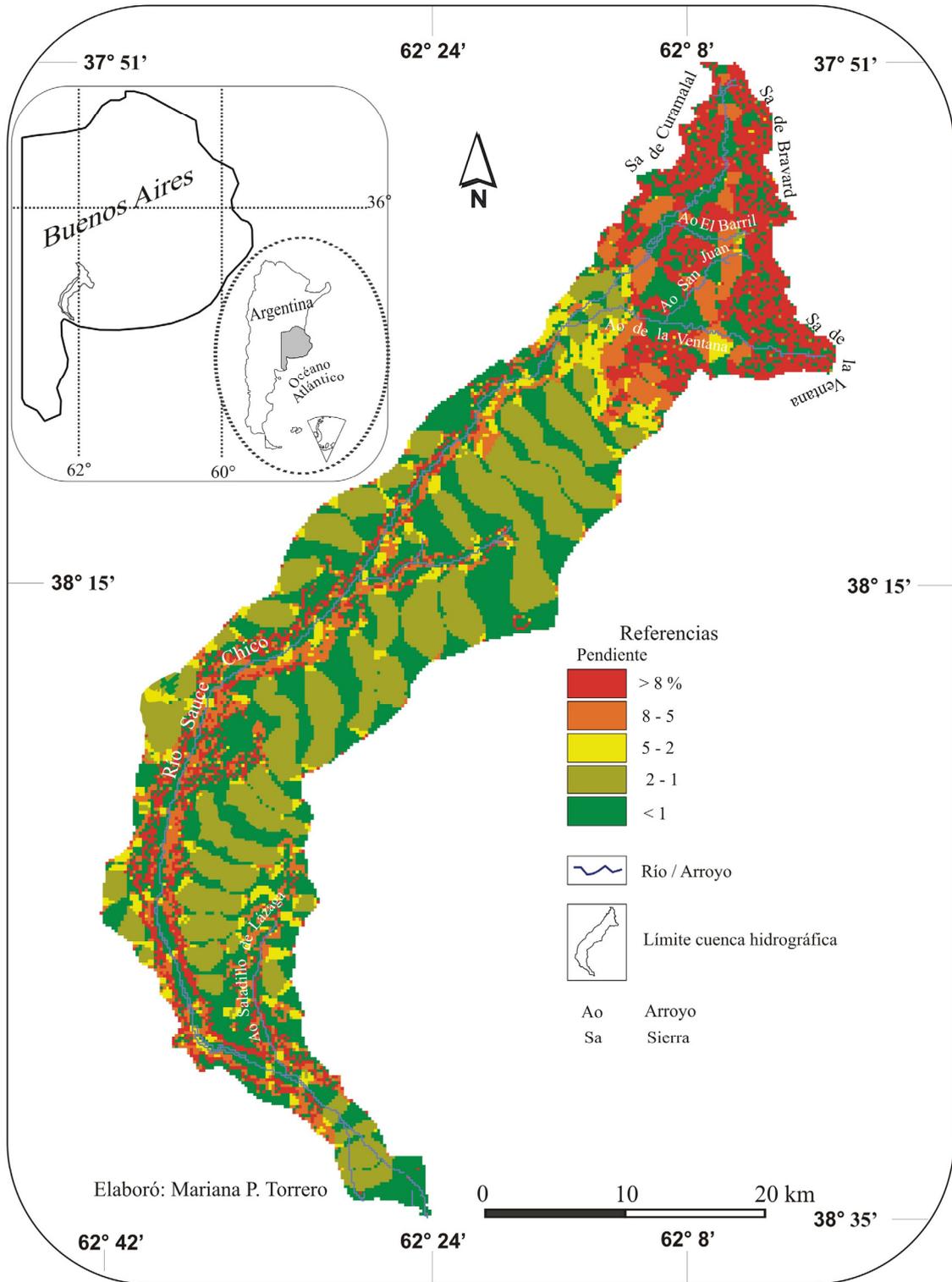


Figura 1.11. Cuenca del río Sauce Chico. Pendientes.

Fuente: Elaborado sobre la base cartográfica del IGM (1968-1979).

El *Nivel de planación general* se caracteriza por ser una planicie plana que se extiende desde el pie de sierra hasta los 70-60 m, en el *frente de escarpa frontal* (Ef), área en pendiente producto de acciones erosivas a partir de la cual el curso de agua pierde rápidamente el carácter encajonado, confundiéndose con la planicie de la terraza moderna. Asimismo, González Uriarte (1984) propone desde el punto de vista morfológico, la subdivisión de este nivel en *Área de piedemonte* (Pd) y *Llanura subventánica* (Llv), que se correspondería a la *Llanura extra serrana* de Arbanesi *et al.*, (1988) según sus características eólicas superficiales, el relieve local y el comportamiento del drenaje.

El área de piedemonte conecta las sierras con la llanura. Es una faja de transición que posee un límite distal difuso y difícil de precisar caracterizado por presentar un gradiente topográfico más fuerte que el de la llanura y procesos coluviales atenuados progresivamente. Es una típica zona de infiltración del agua meteórica evidenciada por la ausencia casi absoluta de cauces erosivos (González Uriarte, 1984; Albouy, 1994). Los gradientes topográficos del sector serrano descienden y oscilan entre 1 y 5 % en el piedemonte y son menores al 1 % en la llanura. En este ambiente llano la pendiente regional se orienta en dirección Sur. En proximidades del valle los desniveles abruptos de hasta 30 m producen un cambio notable de pendiente. El área presenta una cubierta sedimentaria integrada por los sedimentos pampeanos (Fidalgo *et al.*, 1975) y depósitos más modernos de origen eólico y fluvial que se encuentran disectados por el curso del río.

En la zona de depositación, se presentan tres asociaciones (Marenco, 1994) unidades morfológicas reconocidas como planicies de marea y marismas que permiten la interconexión del drenaje continental con el ambiente marino (Fig. 1.10). Según Codignotto (1987) son extensas áreas de escasa pendiente que soportan condiciones subaéreas y subacuáticas vinculadas al ascenso y descenso de las mareas. Adquieren características diferenciadas por efecto de la actividad marina en relación a las propiedades que estos ambientes tienen para sostener especies vegetales.

1. La *Planicie Intermareal funcional, reciente y actual* (If). Ubicada en el terreno próximo al área de contacto del brazo del río con canal principal de mareas. Se diferencian la *planicie de marea* de inundación diaria, amplias superficies subhorizontales, limo-arcillosas, que dominan gran parte del área estuarial son cubiertas por pleamar dos veces al día, de constitución fangosa y nula vegetación y

las *marismas*, cubiertas con mareas extraordinarias. Estas últimas, están atravesadas por canales y paleocanales, es un borde de transición hacia los sectores de seco permanente. Los suelos están constituidos por arenas finas y limo arcillosos consolidados, en parte salinos y sometidos a la erosión hídrica continental.

2. La *Planicie Intermareal no funcional, antigua* (Inf). Compuesta por cordones litorales, de conchillas y por la planicie litoral antigua.
3. La *Planicie de Transición mixta* (Tr), inactiva. Predomina la cobertura de origen fluvio-eólica, corresponde al sector de quintas.

### **1.2.3. Características hidrográficas**

Las respuestas de los fenómenos hidrológicos varían según las geoformas del terreno y éstos a su vez y en conjunción con otros agentes modelan dichas geoformas. En consecuencia, las características hidrográficas de la cuenca del río Sauce Chico dan lugar a cuatro tipos de paisajes (Fig. 1.12):

#### *1. Área con predominio de tramos integrados:*

Es la zona de aportes (Schumm, 1977; Zavala y Quatrocchio, 2001). Se extiende desde las nacientes en el sector serrano hasta el pie de sierra y ocupa una superficie de 397,17 km<sup>2</sup>. Los cursos son de carácter permanente y estacionarios, generados por convergencia de escorrentías y aportes de vertientes. Conforman en esta parte de la cuenca un diseño integrado subdendrítico con marcado control estructural en algunos cursos de 1º y 2º orden, lo que se evidencia por un cierto paralelismo de los mismos (González Uriarte, 1984; Senciales González, 1999). Los sistemas de diaclasas también ejercen un buen control estructural sobre el drenaje confiriéndole una clara angularidad, mientras que las fuertes pendientes favorecen al escurrimiento superficial generando vías de escurrimiento de carácter torrencial (Carrica, 1998) y la profundización del valle. Estas características le otorgan alta capacidad y competencia al curso de agua incrementando el proceso de erosión fluvial.

En sectores del pie de sierra y al ingresar a la planicie de valle la infiltración dificulta la integración de los cursos de menor orden, principalmente en la subcuenca Ventana que por desarrollarse en su mayor parte en la planicie de valle, no logra alcanzar una buena estructuración de su red (Arbanesi *et al.*, 1988).

El colector principal y sus subcolectores son de tipo subsecuente. En algunos tramos del recorrido manifiestan una marcada disposición angular, evidencia de control estructural. Este control se torna más evidente cuando el río se adosa al pie de ladera del Cerro Chaco, en este sector del curso el valle se caracteriza por una marcada asimetría (Arbanesi *et al.*, 1998). La disposición se torna sinuosa en los tramos restantes, con encajonamiento de meandros, indicios de reactivación erosiva que se atribuye a un aumento del gradiente, producto del descenso del nivel del mar durante la última glaciación y el consecuente ascenso del área continental por compensación isostática (Kostadinoff *et al.*, 1981).

### 2. Área alóctona:

Zona de transporte (Schumm, 1977; Zavala y Quatrocchio, 2001). Con un área de 227 km<sup>2</sup>, ocupa la parte superior del nivel de planación general. El río presenta un aspecto divagante y no recibe el aporte de ningún curso de agua.

### 3. Área con tributarios:

Zona de transporte. Ocupa una superficie de 919,1 km<sup>2</sup> y se extiende en la parte inferior del nivel de planación general. El río se vuelve más divagante y conforma albardones semilunares. Recibe por la margen derecha el aporte de dos corrientes intermitentes una al Norte y la del arroyo Saladillo de Lázaga, al Sur, ambas con nacientes en cárcavas. Estos se encuentran beneficiados por su cercanía a las sierras y por tener aportes freáticos. El borde Noreste se caracteriza por el desarrollo de cuerpos lagunares.

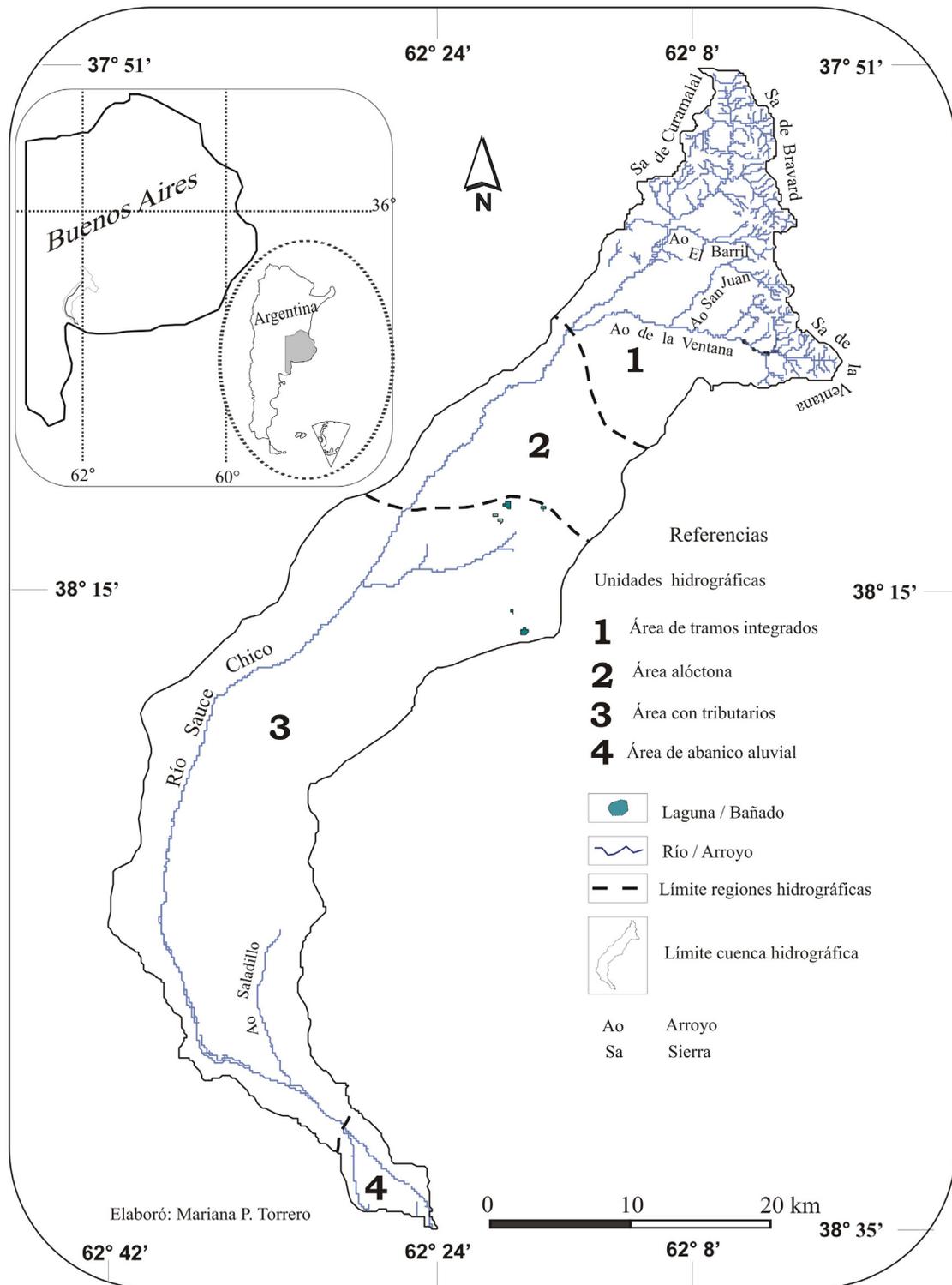


Figura 1.12. Cuenca del río Sauce Chico. Unidades hidrográficas.

Fuente: Mariana P. Torrero.

#### 4. *Área de abanico aluvial:*

Con terrenos inundables y anegamiento. Se extiende por 45 km<sup>2</sup> desde la escarpa frontal hasta su desembocadura confundándose con la planicie de la terraza marina moderna. Es el área en donde el río sufre el mayor impacto antropogénico desde el punto de vista de las obras realizadas como son la rectificación en diferentes puntos de su curso, dragado de su lecho, perforaciones para extracción del agua y la canalización del brazo desde donde se bifurca, a la altura del Paraje La Horqueta, 7 km antes de su desembocadura, demarcando ambos cursos su cono aluvial.

En síntesis, el estudio de las condiciones hidrográficas y geomorfológicas de la cuenca del río Sauce Chico permite caracterizar su dinámica hídrica. Esto posibilita la evaluación de las variables y procesos que intervienen y sus relaciones. El estudio de la red de drenaje se abordó desde dos enfoques, ambos indicadores de los procesos erosivos actuales a través de la mutua influencia de sus parámetros y de la relación con los demás componentes del medio (Cuesta, 2001). El primero, cualitativo, consistió en el análisis descriptivo de la red fluvial, relacionándola con las características litológicas y geológicas del sustrato, la forma y la textura de la red de drenaje. La dinámica erosiva de la red hidrográfica es resultado de la transferencia de materia y energía cuyo grado de eficiencia se refleja en la disposición espacial de la red de drenaje (Cooke y Doornkamp, 1990). El otro análisis fue cuantitativo y se focalizó en la topología de la red de drenaje.

La forma elongada semicircular que desarrolla la cuenca y que definen los índices que evalúan la elongación, junto a las marcadas diferencias de altura entre sus extremos por la presencia del sistema montañoso, otorgan singularidades hídricas a las cuencas alta y baja. En la cuenca alta, asociado a las condiciones geológicas, se desarrolla una red de drenaje del tipo subdendrítica con predominio de cursos integrados. Las pendientes superan el 8 % a partir de los 350 msnm. En el área de transporte el río adquiere características alóctonas y con tributarios intermitentes, destacándose la presencia de cuerpos lagunares al Noreste. En general, las pendientes son menores al 1 %. Un abanico aluvial caracteriza a la zona de depositación que se extiende desde los 60 msnm, a partir de la bifurcación que el curso del río adquiere antes de su desembocadura. Los terrenos son anegables y susceptibles de inundaciones, es la zona de mayor impacto antropogénico.

El relieve de la cuenca es predominantemente llano (75 % de la cuenca) hasta los 300 m. El análisis hipsométrico evidencia una etapa intermedia entre las fases de equilibrio y desequilibrio con tendencia evolutiva hacia la madurez. Sin embargo, estudios recientes demuestran una reactivación tectónica en el área que lleva a un desequilibrio, un rejuvenecimiento de la cuenca y en consecuencia, una reactivación de los procesos erosivos. La distribución de áreas en relación con la altura se considera asimétricamente positiva. La relación área/altura se modifica por los procesos de denudación que actúan sobre la cuenca la cual permite considerar el estado de equilibrio que presenta.

Respecto a las subcuencas principales, la de mayor pendiente media se localiza en el extremo Noroeste de la cuenca y es la segunda en importancia por el área que ocupa. Asimismo, en ella tiene lugar el mayor desarrollo longitudinal de cursos de agua que junto a la superficie la caracterizan con la mayor densidad de drenaje. En el extremo Sureste de la cuenca media se encuentra la subcuenca que presenta el menor número de cauces, es la de menor área y posee una pendiente media intermedia. La subcuenca de mayor superficie se caracteriza por presentar una pendiente media baja.

## C A P Í T U L O 2

---

### ASPECTOS DEL CLIMA TEMPLADO QUE CARACTERIZAN LA CUENCA DEL RÍO SAUCE CHICO

La importancia del clima como dato geográfico es tan elevada y alcanza tantos aspectos de la vida humana que resulta imprescindible tratarlo con el debido énfasis (Strahler y Strahler, 1987). El modelado terrestre, los regímenes hídricos, el paisaje y la cultura de la población son, entre otros factores, producto de las condiciones regionales atmosféricas del medio natural. Por ello, el conocimiento y estudio de la variabilidad espacio temporal de los elementos climáticos que caracterizan al espacio, es de gran importancia práctica para explicar y evaluar sus causas y efectos. La temperatura, precipitación, evaporación, humedad, dirección y velocidad del viento afectan al balance hídrico y a la erosión de una cuenca o influyen en el desarrollo de la vegetación y los cultivos de una determinada zona (Sheng, 1992). Según Miller (1975) la influencia del clima en el modo de vivir y en las costumbres es tan grande como en la antigüedad, en tal sentido, la agricultura en la mayor parte del mundo continúa dependiendo casi exclusivamente del clima y de las variaciones del tiempo.

Los datos se obtienen, en general, de las estaciones meteorológicas localizadas en la cuenca o de estaciones ubicadas en cercanías a la misma. Según el tipo de estudio que se quiera realizar va a depender las variables que se analicen de cada elemento. En el caso de las precipitaciones se deben considerar la forma, cantidad, intensidad y distribución. De las temperaturas, las máximas, mínimas, temperaturas medias y días de heladas y con respecto al viento, la velocidad y dirección. Los datos más importantes para Sheng (1992) son las precipitaciones por su relación con los recursos hídricos, agricultura, erosión y escorrentía.

Las áreas semiáridas son aquellas donde el recurso hídrico es el factor limitante del desarrollo local y provincial y que constituyen, además, sistemas especialmente vulnerables a los cambios actuales del uso del suelo y el clima (Gómez Rodríguez, 2008). Por lo tanto, la elaboración del balance hídrico para una cuenca es un instrumento de gran importancia que permite evaluar cuantitativamente el agua disponible en tiempo y espacio.

## **2.1. Oscilación climática en la cuenca del río Sauce Chico**

La distribución espacial y temporal de los elementos del clima no es fija, sino que oscila, año tras año, alrededor de un valor medio. En algunos años o períodos esa distribución se aleja notablemente de la media; el desplazamiento puede ser brusco o progresivo y dar lugar a un nuevo valor que permanecerá más o menos tiempo, antes de volver al valor medio. Si tal fluctuación climática es suficientemente larga como para influir en una media de 30 años, se puede afirmar que se trata de *una variación climática* (Hufty, 1984; OMM, 1979; Cuadrat y Pita, 1997).

La variabilidad natural de los elementos del clima ocasiona dificultades para detectar y diferenciar las alteraciones del sistema y los cambios o tendencias que éstas pueden indicar. En la actualidad se considera como normales los valores térmicos y pluviométricos de lapsos de 30 años, pero esta normalidad no tiene por qué ser tal en una perspectiva de tiempo de mayor longitud (Cuadrat y Pita, 1997). Entre la terminología utilizada para referirse al tema de los cambios climáticos se encuentran conceptos diferentes para definir este hecho y así se habla tanto de cambio climático, como de ciclo climático, variación climática, fluctuaciones, oscilaciones, alteraciones, etc.

La cantidad y características de los datos analizados permiten reconocer oscilación climática. La nomenclatura propuesta por la Organización Meteorológica Mundial (1979) para la caracterización de las formas de cambios y variaciones climáticas, define a la oscilación climática como una fluctuación en la cual la variable tiende a cambiar gradual y regularmente entre máximos y mínimos sucesivos.

## **2.2. Materiales y métodos para el análisis climático**

Se analizaron los datos climatológicos de las estaciones de Coronel Suárez, Pigüé, Bordenave y Bahía Blanca, correspondientes a las estadísticas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional (1986 y 1992) y por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (2006) perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina (INTA). Si bien algunas estaciones como Coronel Suárez y Pigüé presentan falta de datos en algunos meses, se consideraron para el análisis los promedios históricos. Se analizó el período 1991-2000 y su relación con la década anterior y se estudiaron, en particular, los años 2002 y 2006. El primer año, por registrar importantes precipitaciones en la época primaveral que influyó en la temprana

floración y potenció el desarrollo de los cultivos, situación que consideró para efectuar el análisis de los cambios en la cobertura y uso del suelo. La disponibilidad de los datos de caudal sólo para el año 2006, justificaron el estudio detallado de las condiciones climáticas del mismo que por otra parte, permitieron la posterior caracterización hidrológica de los suelos. Para este último año, no se realizó el balance hídrico correspondiente a Pigué por falta de datos de temperatura y precipitación. Tampoco se analizó el viento para los años 2002 y 2006 por no registrarse datos de referencia en las estaciones consideradas.

Se realizaron y analizaron los diagramas ombrotérmicos de Gausson para determinar la existencia y duración de los períodos secos (Castillo y Castellví Sentis, 2001). Sobre un gráfico cartesiano se representan: en las abscisas los meses del año y en las ordenadas las precipitaciones y las temperaturas. La escala de las precipitaciones, en milímetros, es el doble que la de la temperatura, en grados Celsius, según la hipótesis de Gausson (1954 y 1955) de equivalencia entre 2 mm de precipitación y 1 °C de temperatura. Estos gráficos son útiles en climas templados para detectar sequías y brindar una aproximación de la suficiencia de las precipitaciones para los cultivos. Se elaboraron los mapas de isohietas e isotermas para la región.

Se realizaron y analizaron los balances hídricos empleando el método de Thornthwaite y Mather (1957) para las localidades de Coronel Suárez, Pigué, Bordenave y Bahía Blanca. La precipitación y la evaporación potencial o necesidad de agua son los dos elementos principales necesarios para realizar el cálculo del balance hídrico. En general, el dato de precipitación se encuentra disponible en la totalidad de las estaciones meteorológicas, no así el de evapotranspiración la que se calculó por el método de Thornthwaite y Mather (1957) (Anexo I).

Los balances hídricos reflejan la dinámica de la disponibilidad hídrica en función de la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración y el almacenaje de agua en el suelo. El ingreso de agua está dado por la precipitación y la salida por la evapotranspiración. Si la precipitación es mayor que la evapotranspiración ( $P > E$ ), primero se cubrirán las reservas de agua en el suelo ( $R$ ), la cual depende del tipo de suelo, su capacidad de retención, porosidad, permeabilidad, etc. Si la precipitación es menor que la evapotranspiración ( $P < E$ ), primeramente se utilizará la reserva de agua ( $R$ ) que haya en el suelo. Si esta reserva es insuficiente para compensar la necesidad de agua, se entrará en déficit ( $D$ ). Si la cantidad de precipitación es mayor que la

necesaria para satisfacer esta demanda, se produce un exceso de agua (Ex) (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). El exceso se refleja en el sistema en la generación de escorrentía subterránea alimentando a las capas freáticas, o superficial, en dirección hacia las depresiones naturales del terreno y/o hacia la red hidrográfica. En el caso de producirse lluvias torrenciales y dependiendo de la tasa de infiltración del suelo, la intensidad de la lluvia, la cobertura vegetal, etc., el escurrimiento superficial puede producirse sin necesidad de haberse colmado esta capacidad. Asimismo, las aguas subterráneas también pueden alimentar a la red hidrográfica (ríos o lagunas) o moverse lentamente hacia el mar.

La relación entre el déficit y la necesidad de agua está dada por el índice de aridez. El índice de humedad muestra la relación entre el exceso y la necesidad de agua. Las variaciones estacionales de la efectividad hídrica se reflejan en la variación del índice hídrico, que determina el tipo climático de las distintas estaciones meteorológicas. La clasificación del tipo climático por el índice hídrico tiene rango de 20 en 20, cuanto mayor es la diferencia entre los índices hídricos son más marcadas las diferencias climáticas entre las décadas analizadas (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

Para el año 2002 se obtuvo la Evapotranspiración Potencial (EVP) por los métodos de Penman-Monteith (Monteith y Unsworth, 1990; Smith *et al.*, 1992; Clarke *et al.*, 1996-1999; Allen *et al.*, 1998; Abbate, 2004) y Thornthwaite (Thornthwaite, 1948 y Thornthwaite y Matter, 1957) (Anexo I). El objetivo fue conocer el agua que se pierde por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas, la cantidad de agua almacenada en el suelo y aquella que se escurre superficialmente y en profundidad. Este análisis permitió comprobar cuál de los dos métodos refleja las condiciones naturales. La ventaja de la aplicación del método de Thornthwaite está en la fácil obtención de los datos de temperatura y en ello radica la vigencia de su implementación (Bouwer *et al.*, 2003; da Silva *et al.*, 2007; Stonevičius *et al.*, 2008). Por otra parte, este método sólo considera la temperatura media mensual, por lo tanto, los resultados son estimativos y pueden utilizarse únicamente en estudios preliminares o de generalización. Estas características constituyen desventajas frente al empleo de otros métodos. Sin embargo, la fórmula para el cálculo de la EVP, presenta otras limitaciones como: la temperatura no es un buen indicador de la disponibilidad de energía para evapotranspiración; la fórmula no incluye el efecto del viento, un factor importante en algunas áreas y no considera el efecto del aire cálido y fresco sobre la temperatura de un lugar (Chang, 1968).

Cálculos para la evapotranspiración potencial:

- Según Thornthwaite (1948):

$$EVP_i = \left( \frac{10 \times T_i}{I} \right)^a \times 0,53$$

Donde:

EVP : Evapotranspiración Potencial del i, cm.

$T_i$  : Temperatura del mes i, °C.

I : Índice de calor.

$a : 0,675 \times 10^{-6} \times I^3 - 0,771 \times 10^{-4} \times I^2 + 1,792 \times 10^{-2} \times I + 0,49239$

- Según Penman – Monteith (Penman, 1948, adaptada por Monteith y Unsworth, 1990):

$$\lambda E = \frac{\Delta R_n (1 - e^{-kL}) + \left( \frac{\rho C_p}{r_a} \right) (e_{as} - e_a)}{\Delta + y \left( \frac{1 + r_c}{r_a} \right)}$$

Donde:

$\lambda$  : Calor latente de vaporización,  $J kg^{-1}$ .

E: Flujo de evaporación,  $kg m^{-2} s^{-1}$ .

$\Delta$  : Pendiente de la curva de presión de vapor de saturación en función de la temperatura,  $kPa k^{-1}$ .

$R_n$  : Radiación neta,  $W m^{-2}$ .

$1 - e^{-kL}$  : Radiación interceptada por el cultivo.

$\rho$  : Densidad del aire  $kg m^{-3}$ .

$C_p$  : Calor específico del aire  $J kg^{-1} k^{-1}$  a presión constante.

$r_a$  : Resistencia externa o aerodinámica  $s m^{-1}$ .

$e_{as}$  : Presión del vapor del aire saturado kPa.

$e_a$  : Presión del vapor del aire kPa.

y : Constante psicométrica  $kPa k^{-1}$ .

$r_c$  : Resistencia interna del dosel vegetal a la transmisión del vapor de agua  $s m^{-1}$ .

Penman (1956) desarrolló un modelo de EVP basado en una combinación de presupuesto de energía y métodos aerodinámicos. Este utiliza cuatro variables meteorológicas para la estimación de la EVP: la radiación neta, temperatura del aire, humedad del aire y características del viento. La ventaja está en la mayor precisión al calcular la EVP y la desventaja en la dificultad de obtención de los datos. Esta ecuación fue modificada y ajustada pero el principio en que se basa sigue siendo el mismo. La ecuación de Penman es la más ampliamente utilizada en la literatura

hidrológica y la de Penman-Monteith la que mejores estimaciones proporciona (Dooronbos and Pruitt, 1975; Allen *et al.*, 1994; Dingman, 2002; Burt *et al.*, 2005).

Se calcularon los balances hídricos por el método de Thornthwaite y Mather (Thornthwaite y Mather, 1955; da Silva *et al.*, 2007; Stonevičius *et al.*, 2008) con los datos de EVP por Penman-Monteith y Thornthwaite para Bahía Blanca y Coronel Suárez y por falta de datos, sólo por el último para las estaciones de Bordenave y Pigüé. La comparación de los resultados determinó el uso del método más adecuado para evaluar la disponibilidad de agua en el suelo en función de las condiciones naturales, a través de la aplicación de un método de gran vigencia, el de Thornthwaite y Mather y de uno de los más precisos, el de Penman-Monteith.

### **2.3. Análisis de la oscilación climática**

La distribución espacial de las precipitaciones a lo largo del año es de gran importancia para los estudios de anegamiento y erosión. En el Suroeste bonaerense muestra mayores valores al Norte y Noreste y decrecen hacia el Sur, donde se incrementan las condiciones de aridez. El trazado de las isohietas presenta pequeñas variaciones en el período 1981-1990 respecto de la distribución de la década anterior. En 1971-1980 la isohieta de 800 mm que se localizaba al Noreste de la localidad de Tres Arroyos, al Este de Bahía Blanca, se desplaza hacia el Suroeste en la década siguiente y las de 400, 500 y 600 mm hacia el Noreste. En el caso de la isohieta de 600 mm, el desplazamiento se debe al descenso del orden de los 100 mm en la precipitación media anual en la ciudad de Bahía Blanca que varió de 712 mm a 613 mm (Capelli y Campo, 1994; Campo de Ferreras *et al.*, 2004). Coronel Suárez, al Norte de la región presenta el mayor registro estival y anual en 1981-1990 (868,10 mm) (Tabla 2.1 y Fig. 2.1).

La década siguiente se caracteriza por un notable incremento en las precipitaciones anuales que se observa con la desaparición en el área de la isohieta de 600 mm. Por otra parte, también se presenta un cambio radical en la dirección pasando de Noreste-Suroeste en 1981-1990 a Noroeste-Sureste en el período siguiente (Fig. 2.1). Las precipitaciones de 1991-2000 sufren un marcado incremento en el verano y una importante disminución para el resto del año aumentando así el período de sequía. El total anual más elevado se registra en Bordenave con 830,4 mm (Tabla 2.2 y Fig. 2.2).

Estación meteorológica	Elemento climático	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
Coronel Suárez	T (°C)	20,57	13,27	6,67	13,33	13,46
	P (mm)	265,80	251,10	87,60	263,60	868,10
Pigüé	T (°C)	20,37	13,13	6,80	13,23	13,38
	P (mm)	125(x)	88,5(x)	(x)	154(x)	367,50
Bordenave	T (°C)	22,00(x)	14,67	7,60	14,47	14,68
	P (mm)	142,5(x)	238,80	17,1(x)	115,1(x)	513,50
Bahía Blanca	T (°C)	22,70	14,60	8,10	14,83	15,06
	P (mm)	167,70	187,40	85,60	173,00	613,70

(x): dato incompleto o estimado

Tabla 2.1. Valores medios estacionales de temperatura y precipitación 1981-1990.

Fuente: Campo de Ferreras *et al.*, 2004.

A diferencia de las precipitaciones, la variación de las temperaturas no es gradual sino que responde a factores locales como la altitud y continentalidad. Las localidades próximas al Sistema de Ventania muestran los valores más bajos del área en las dos décadas. Pigüé y Coronel Suárez, registran una media anual de 13,4 °C y 13,7 °C para 1981-1990 y 1991-2000 respectivamente y los menores valores estivales respecto de las demás localidades. Hacia el Sureste los registros son mayores destacándose Bahía Blanca con 15,1 °C (1981-1990) y 15,5 °C (1991-2000), máximo valor anual en el área (Tabla 2.1 y 2.2; Fig. 2.1 y 2.3).

Estación meteorológica	Elemento climático	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
Coronel Suárez	T (°C)	19,97	14,23	7,27	13,33	13,70
	P (mm)	275,37	219,34	73,01(x)	182,80	750,52(x)
Pigüé	T (°C)	20,00	14,13	7,27	13,40	13,70
	P (mm)	278,33	187,01	79,88(x)	199,85	745,07(x)
Bordenave	T (°C)	21,33	15,20	8,20	14,67	14,85
	P (mm)	365,30	219,20	86,80	159,10	830,40
Bahía Blanca	T (°C)	22,30	15,56	8,63	15,30	15,45
	P (mm)	237,60	173,00	115,40	158,80	684,80

(x): dato incompleto o estimado

Tabla 2.2. Valores medios estacionales de temperatura y precipitación 1991-2000.

Fuente: Elaborado sobre datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (INTA, 2006).

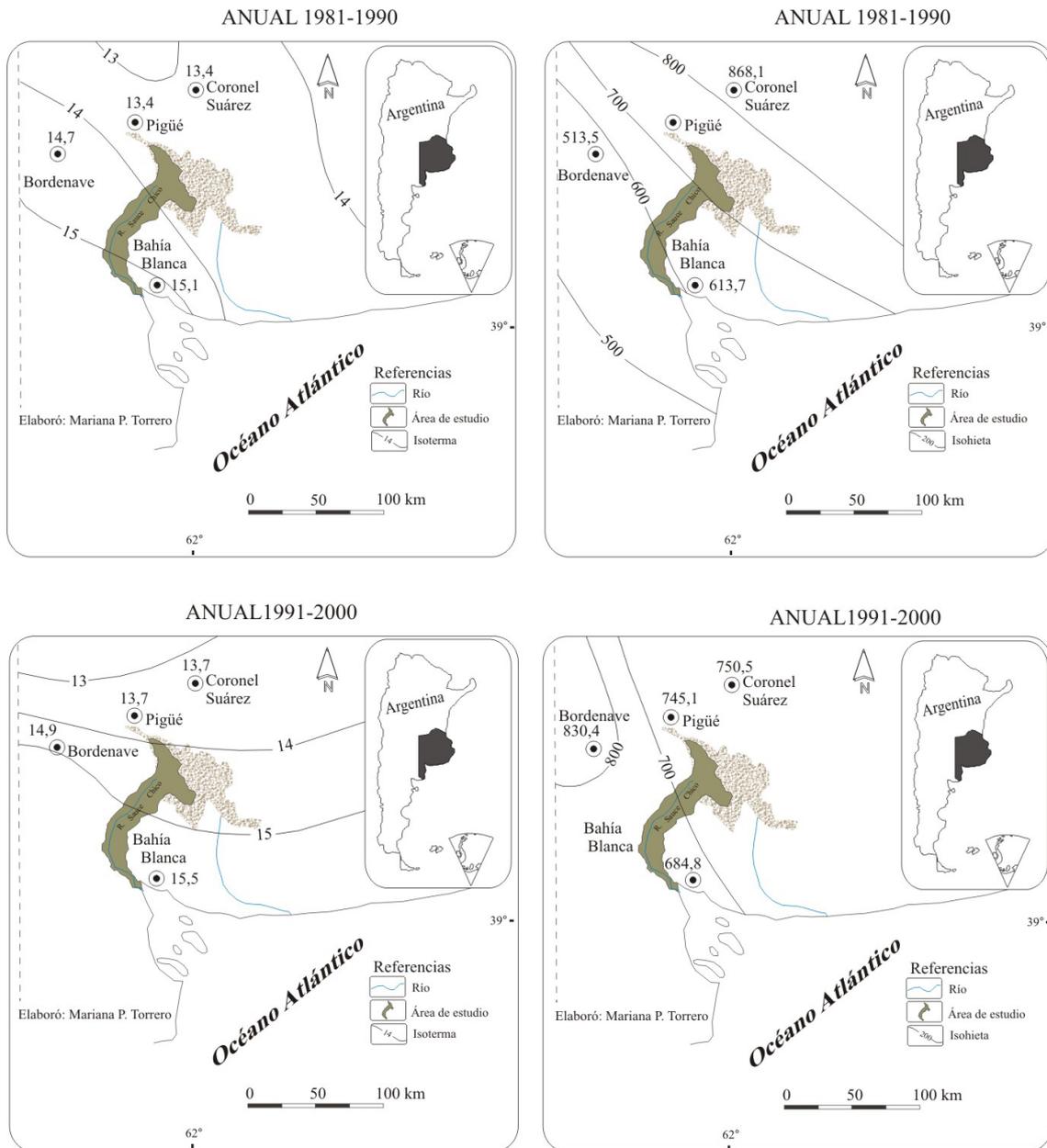


Figura 2.1. Isothermas e isohietas anuales.

Fuente: Isohietas 1981-1990, Campo de Ferreras *et al.* (2004); isothermas 1981-1990, modificado de Campo de Ferreras *et al.*, (2004). 1991-2000 elaboración propia sobre datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (INTA, 2006).

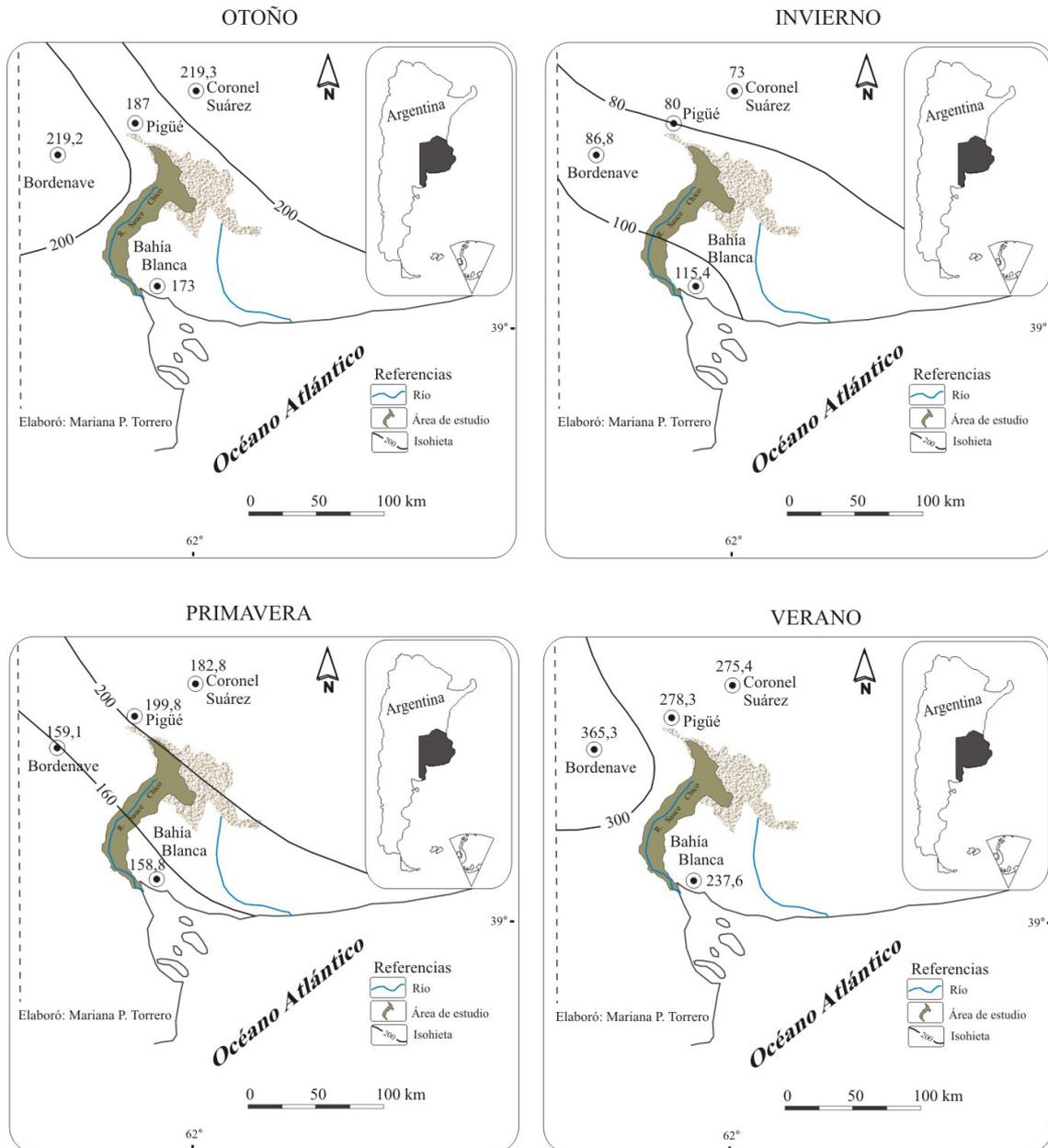


Figura 2.2. Isohietas estacionales 1991-2000.

Fuente: Elaboración propia sobre datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (INTA, 2006).

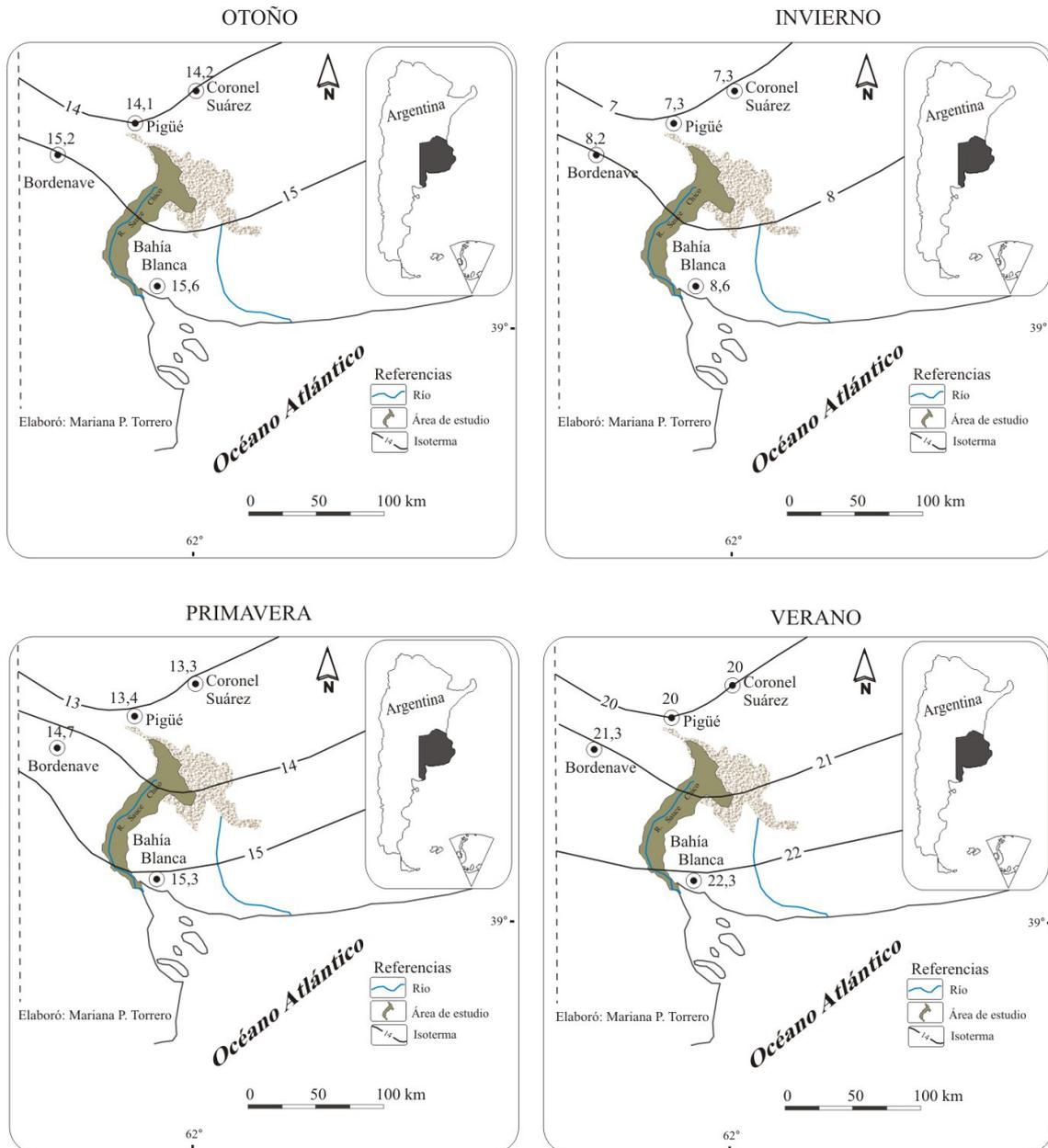


Figura 2.3. Isothermas estacionales 1991-2000.

Fuente: Elaboración propia sobre datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (INTA, 2006).

Con respecto a la década anterior, para 1991-2000 Pigüé y Coronel Suárez presentan un descenso en la temperatura media estival y mantienen los registros más bajos. Bahía Blanca y Bordenave registran mayores temperaturas. En todos los casos, los registros medios estivales muestran un descenso y las del resto de las estaciones un ascenso en relación con 1981-1990. En las áreas serranas de Pigüé y Coronel Suárez los inviernos son más fríos que en el resto del área donde los valores son más homogéneos. En otoño y primavera las temperaturas medias oscilan en los 14 °C para 1981-1990 y en 14-15 °C para 1991-2000 siendo de casi 1 °C el aumento en la temperatura media en estas estaciones del año para algunas localidades (Tabla 2.2).

Los diagramas ombrotérmicos (Fig. 2.4 y 2.5) muestran la presencia y extensión de períodos secos solamente para Pigüé y Bordenave en la década 1981-1990. En 1991-2000 ninguna de las estaciones indica períodos secos. Por lo tanto y para Bahía Blanca, según la clasificación propuesta por Bruniard (1992), ante la ausencia de dos o más meses secos en el período estival que indica un clima templado cálido mediterráneo, los datos de esta década están mostrando una situación de clima templado cálido húmedo tropical.

El Segundo Informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, estima un incremento de la temperatura media global para este siglo de 0,3 °C por década, el que podría oscilar entre 0,2-0,5 °C. El cambio en las condiciones climáticas a nivel mundial puede detectarse en el área de estudio, en donde comienzan a apreciarse los períodos más cálidos, siendo la década 1991-2000 la más cálida hasta el presente registrada (Velázquez de Castro, 2008).

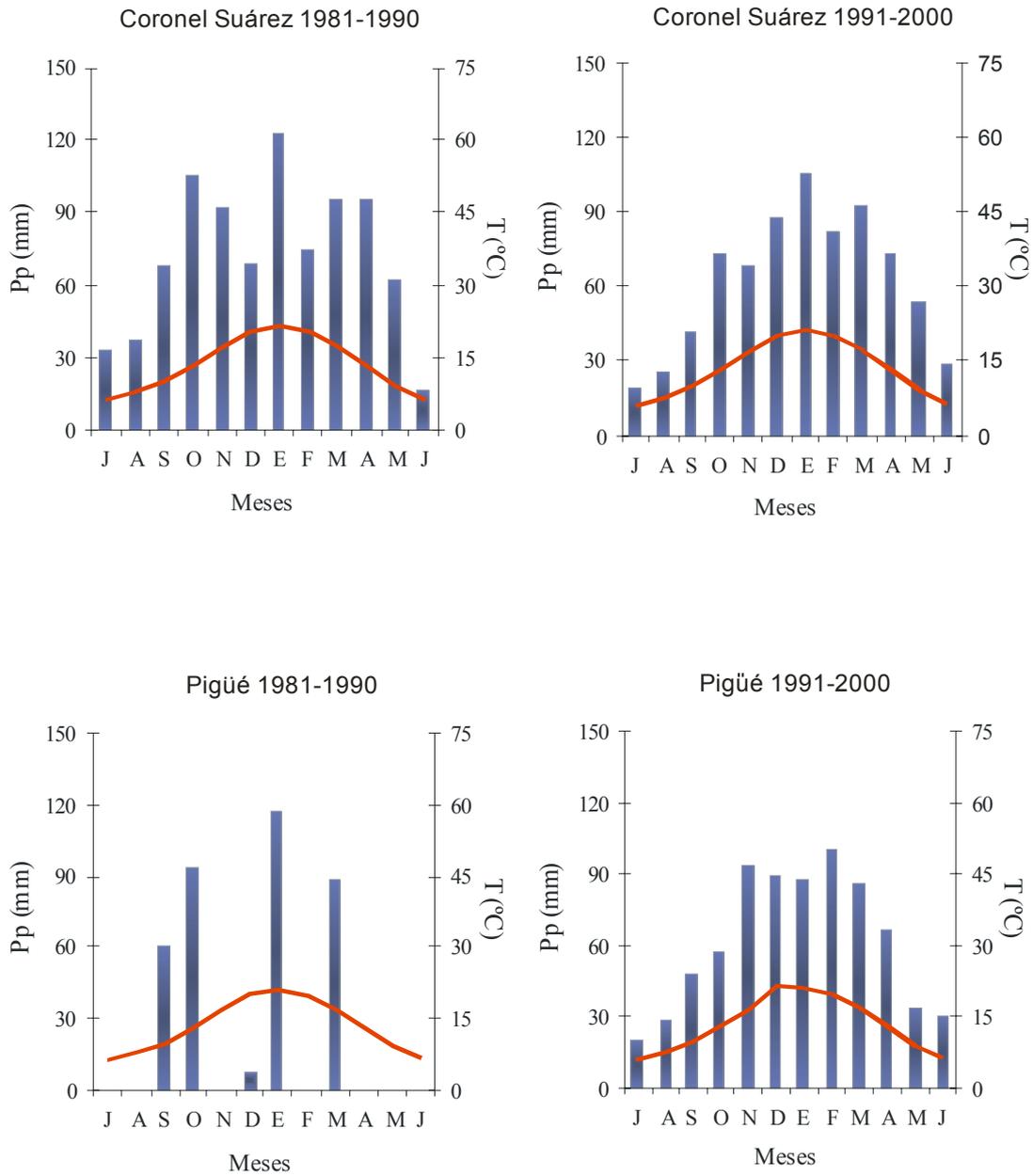


Figura 2.4. Diagramas ombrotérmicos Coronel Suárez y Pigüé 1981-1990 y 1991-2000.

Fuente: 1981-1990, Campo de Ferreras *et al.*, (2004). 1991-2000, elaboración propia sobre datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (INTA, 2006).

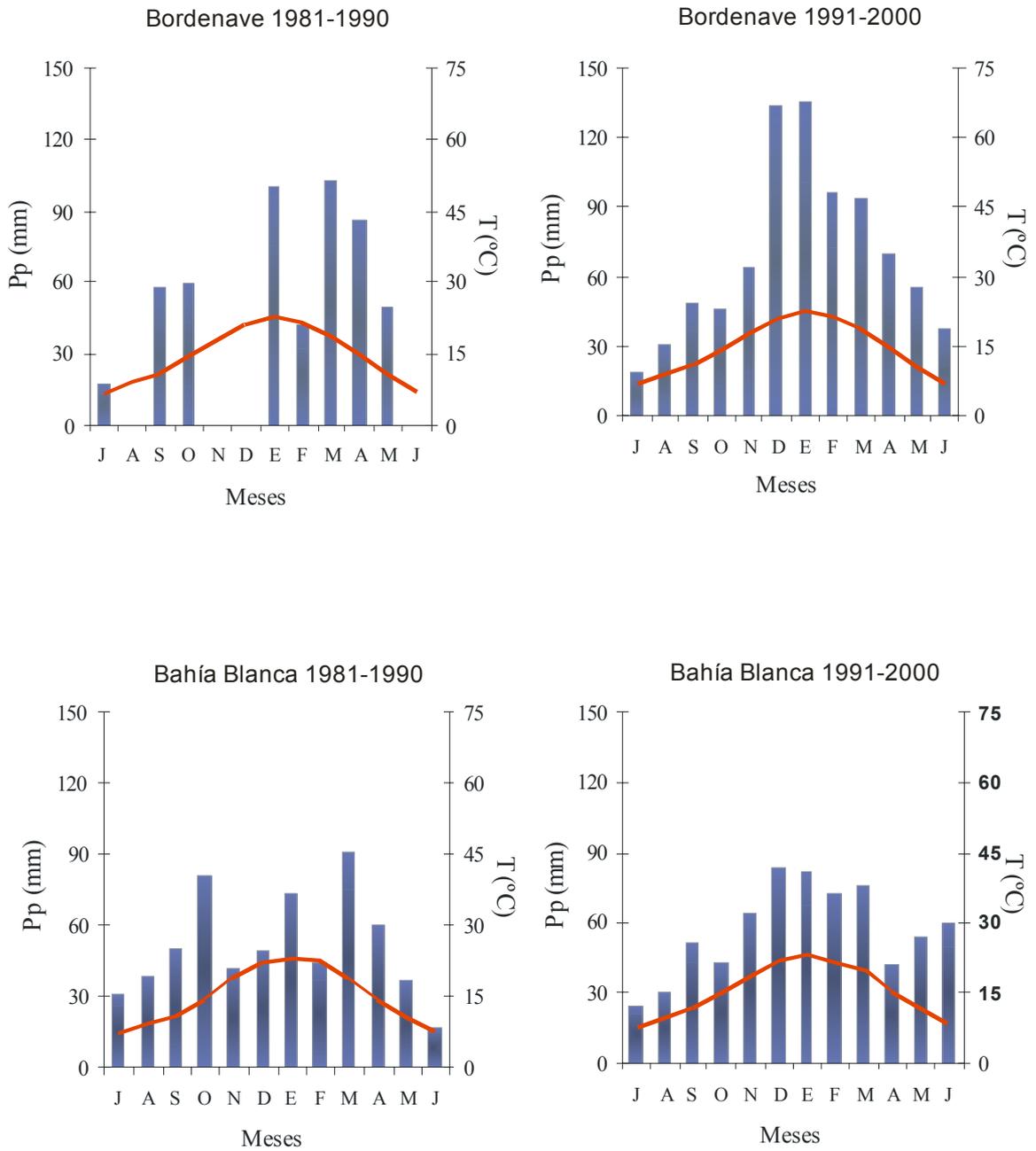


Figura 2.5. Diagramas ombrotérmicos Bordenave y Bahía Blanca 1981-1990 y 1991-2000.

Fuente: 1981-1990, Campo de Ferreras *et al.*, (2004). 1991-2000, elaboración propia sobre datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (INTA, 2006).

### 2.3.1. Viento

La cuenca está localizada en un área de transición climática entre la región semiárida del Oeste y la templado húmeda del Este bonaerense, como consecuencia de la influencia de diferentes masas de aire que afectan la zona. Los inviernos son rigurosos y los veranos cálidos y secos con frecuentes días de polvo en suspensión. Los vientos son constantes todo el año. La característica principal que presentan todas las estaciones es la variabilidad en las condiciones del tiempo. Cuando predominan las condiciones de sitio, sean éstas derivadas del ambiente natural o producidas por la actividad del hombre, se observan variaciones a escala local. Hacia el Sur del Sistema de Ventania la frecuencia predominante de vientos es del cuadrante Noroeste y Oeste y hacia el Norte de las sierras se evidencia un mayor predominio con componente Norte (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

El comportamiento de los vientos de la región es similar para los períodos 1971-1980 y 1981-1990. Coronel Suárez y Bordenave ubicadas al Norte de las sierras, presentan direcciones del viento predominante del cuadrante Norte. En Bahía Blanca, al Sur, dominan los vientos del Norte y Noroeste. Una situación particular se observa en Pigüé donde no registra prácticamente vientos de los cuadrantes Noroeste y Sureste sino que además, no domina ninguna dirección en especial. Las localidades de Coronel Suárez y Pigüé sobresalen por la frecuencia de calmas anuales con registros de valores muy elevados respecto la frecuencia de vientos por direcciones 329 ‰ y 394 ‰ respectivamente (Capelli y Campo, 1994; Campo de Ferreras *et al.*, 2004) (Fig. 2.6).

Para Bahía Blanca, en el período comprendido entre 1991-2000 la dirección del viento que predomina ampliamente por sobre los restantes cuadrantes, es del Noroeste, con una frecuencia superior a 340 ‰. La frecuencia de calmas es menor a la década anterior. Las variaciones estacionales destacan por un lado al otoño e invierno con una dirección predominante del sector Noroeste y una menor frecuencia del Sureste en la estación invernal. En la primavera y verano las condiciones difieren aún entre ellas. En el verano se destacan los vientos del cuadrante Noroeste y Sureste y la estación equinoccial los del Este y Noreste, siendo menor en esta última y respecto de los que sucede en las demás estaciones, los vientos del Noroeste. Respecto a las calmas, el verano es período en que se registra el menor promedio.

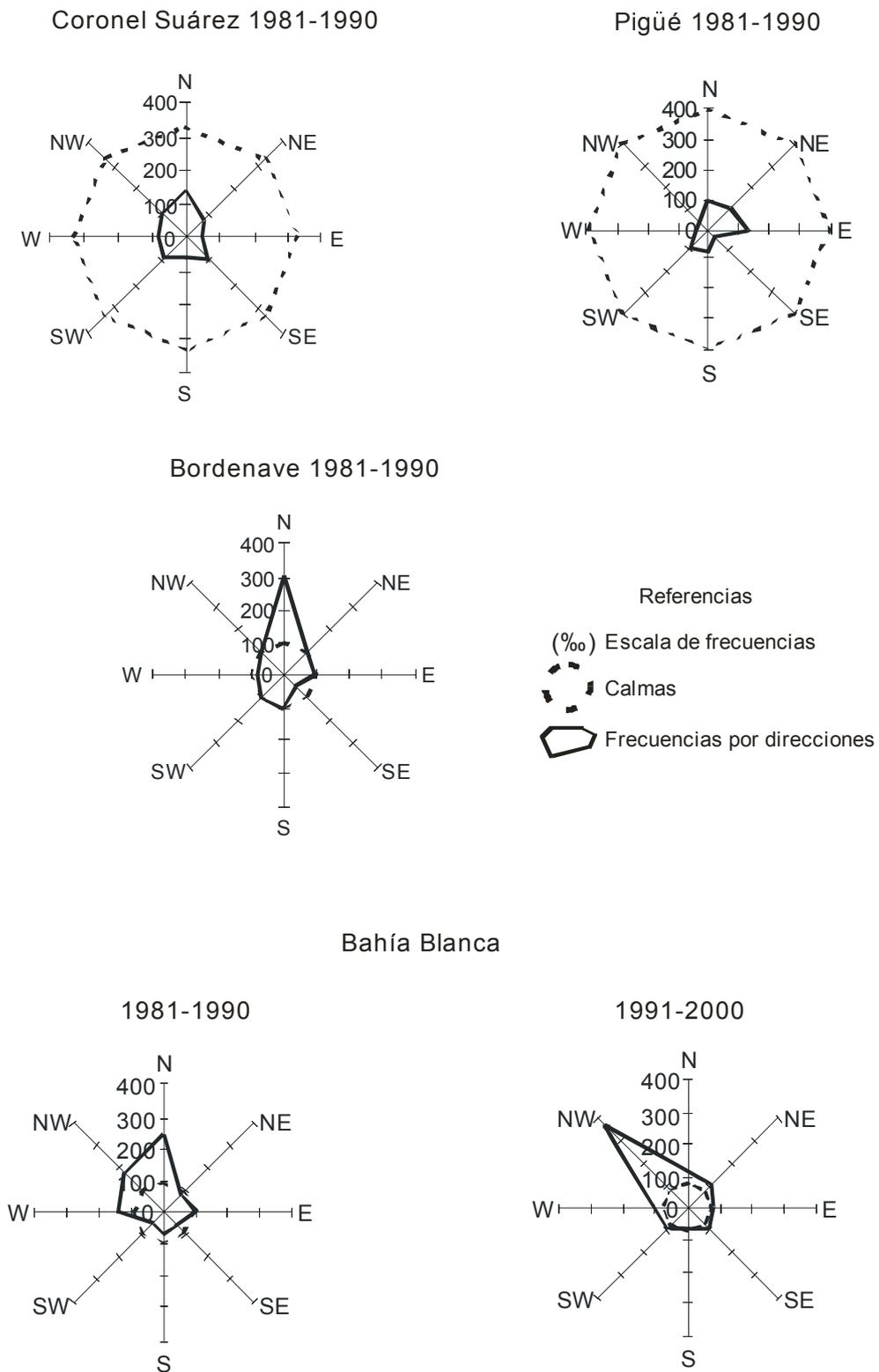


Figura 2.6. Rosas de los vientos anuales.

Fuente: 1981-1990, modificadas de Campo de Ferreras *et al.*, (2004).  
1991-2000, elaboración propia sobre estadísticas climatológicas  
1991-2000 (SMN, 1986, 1992).

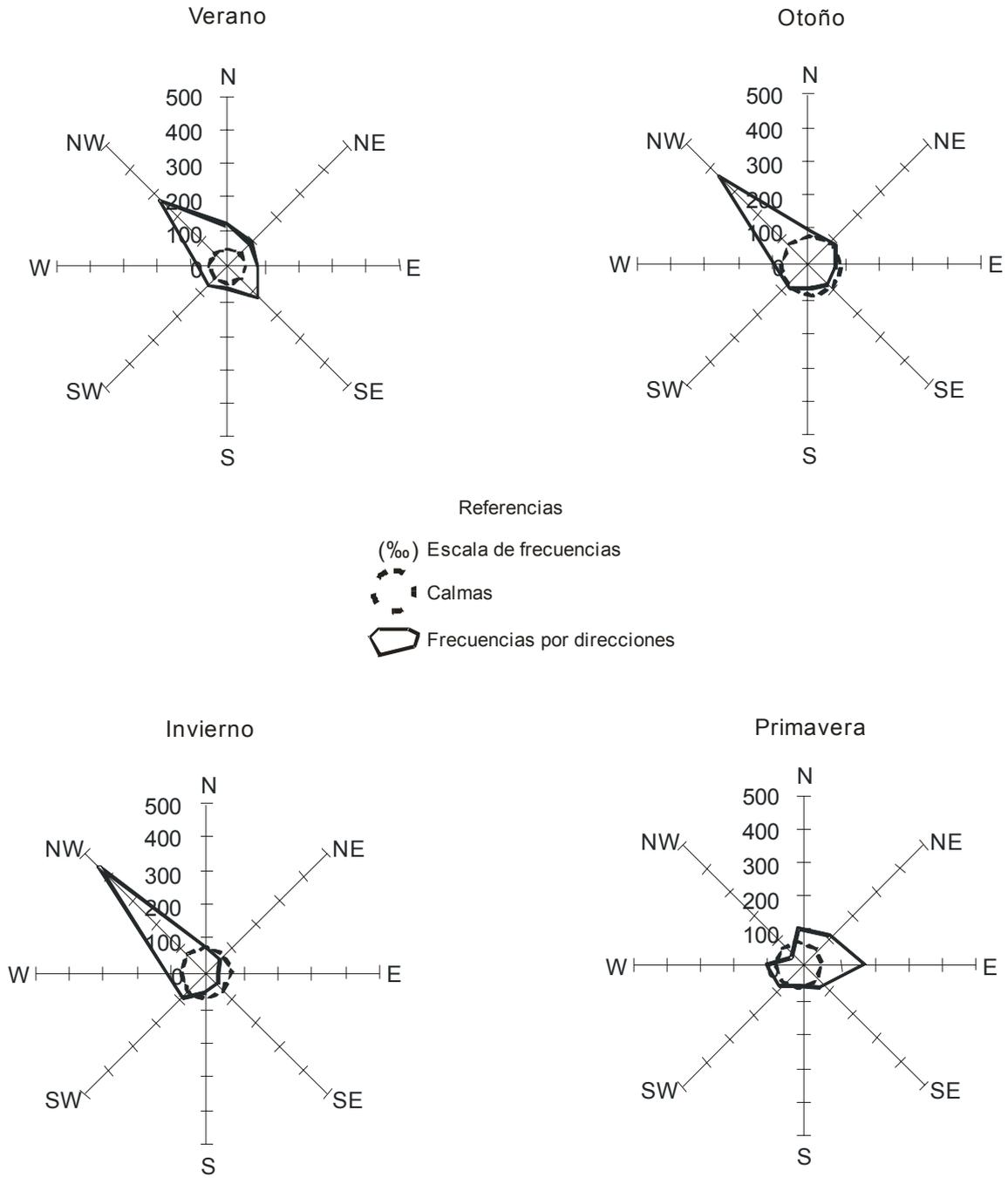


Figura 2.7. Rosas de los vientos estacionales 1991-2000.

Fuente: Elaboración propia sobre estadísticas climatológicas 1991-2000 (SMN, 1992).

### **2.3.2. Dinámica hidroclimática – Años 2002 y 2006**

Las características propias de la cuenca del río Sauce Chico como la forma, orientación y localización influyen en los valores de los datos climatológicos marcando importantes diferencias entre los puntos extremos de la misma. Se consideró el año 2002 para un análisis individual por ser un período de intensas precipitaciones y que permite continuar con el estudio de las variables climatológicas hasta tanto se dispongan de los datos correspondientes al próximo decenio. Por otra parte, las condiciones de humedad que el mismo presenta, permitieron evaluar la manifestación de distintos procesos físicos en la cuenca. El análisis de las características climáticas del año 2006 permitió estudiar la relación entre éstas y la dinámica fluvial. Mediante los resultados obtenidos se logró caracterizar la dinámica hidroclimática de la cuenca, la respuesta de la vegetación, el suelo y los cambios en los usos de la tierra.

En los diagramas ombrotérmicos (Fig. 2.8) para el año 2002, la variación espacio temporal de los valores pluviales muestra una modificación de las condiciones de inviernos húmedos y veranos secos que identifican a los climas templados siguiendo con la tendencia reflejada en el análisis de los datos correspondientes al período 1991-2000 (Torrero y Campo, 2008). Cuatro años después (Fig. 2.9), vuelven a aparecer períodos secos coincidentes con el otoño e invierno sin embargo, en la primavera y el verano las precipitaciones muestran un notable incremento respecto a lo registrado en el 2002.

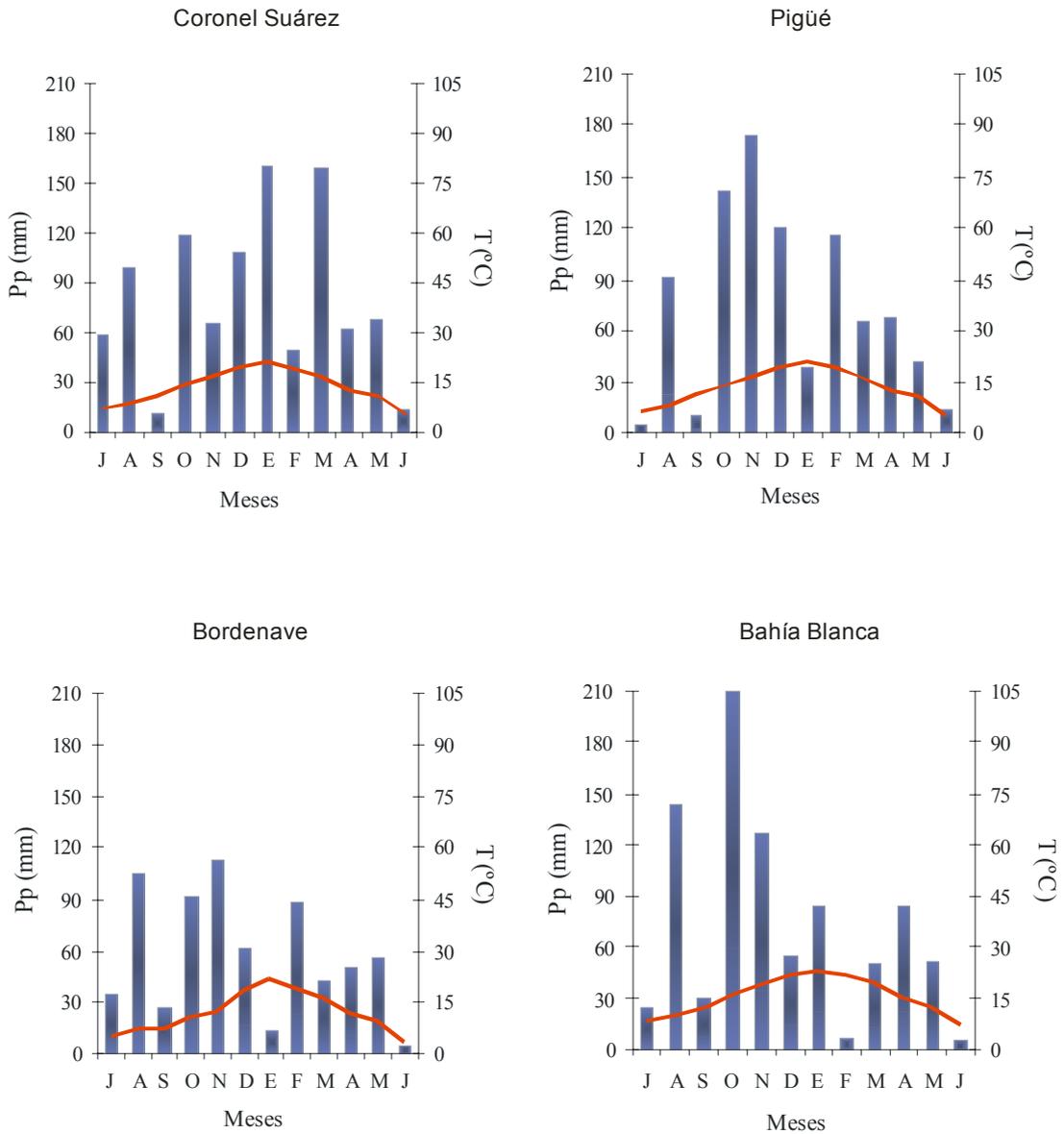


Figura 2.8. Diagramas ombrotérmicos. Año 2002.

Fuente: Elaboración propia sobre datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (INTA, 2006).

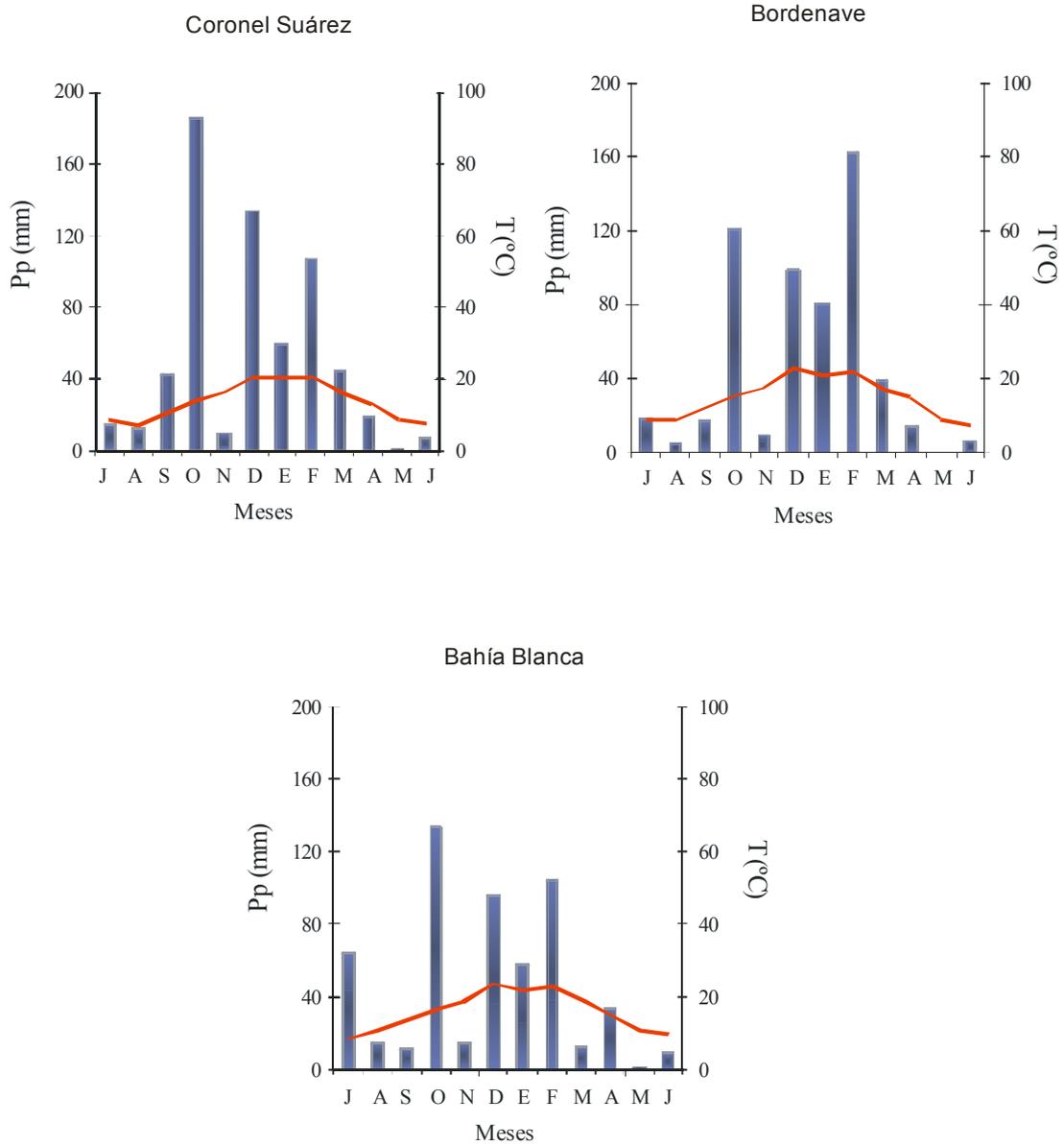


Figura 2.9. Diagramas ombrotérmicos. Año 2006.

Fuente: Elaboración propia sobre datos suministrados por el Instituto de Clima y Agua de Castelar (INTA, 2006).

#### **2.4. Balance hídrico de la cuenca**

El estudio del balance hídrico local y regional es una de las principales fuentes de análisis y explicación de las variaciones en el tiempo y en el espacio de las condiciones climáticas y sus repercusiones en el régimen hidrográfico. No se elaboraron los balances hídricos para Bordenave y Pigüé para el período 1981-1990 y para Pigüé en el 2006 por falta de información climatológica. El análisis y comparación de los balances hídricos para las localidades de Bahía Blanca y Coronel Suárez para las décadas 1981-1990 y 1991-2000 y de Bordenave y Pigüé para 1991-2000, permitieron detectar cambios en la disponibilidad hídrica.

En Coronel Suárez el balance para 1981-1990 muestra que la utilización y reposición del agua del suelo asciende a 85,53 mm. El período de variación de agua de utilización se da de diciembre a febrero reponiéndose posteriormente, desde marzo a mayo mes en que comienza el período de exceso (119,68 mm) que se extiende hasta noviembre. Las condiciones cambian notablemente en la década siguiente donde se produce una importante alternancia de los procesos en el período que en 1981-1990 presenta exceso (mayo a noviembre). En 1991-2000 un mínimo exceso de 0,80 mm se da en octubre. La recarga se produce entre marzo y julio (60,12 mm) y luego en septiembre (17 mm) ocurriendo en agosto un período de utilización (0,55 mm). Hay una disminución respecto la década precedente en la utilización y reposición del agua del suelo que asciende a 77,12 mm (Fig. 2.10 y 2.11).

Bordenave, al igual que Coronel Suárez, no presenta período de déficit en 1991-2000. Las reservas de agua del suelo comienzan a reponerse en diciembre y enero, en febrero se registra una pequeña utilización (2,76 mm) continuando en marzo la reposición hasta el mes de junio en que comienza el período de exceso (29,32 mm) que se extiende hasta octubre (Fig. 2.12). En Pigüé comienza a manifestarse la aridez. La humedad del suelo se agota desde fines de octubre hasta comienzos de enero (59,78 mm) comenzando un período de déficit que se extiende hasta febrero (5,26 mm). A partir de este momento las precipitaciones superan a la evapotranspiración potencial y las reservas de agua del suelo se reponen, le suceden períodos de alternancia de utilización y recarga sin alcanzar en ningún momento el exceso de agua (Fig. 2.13).

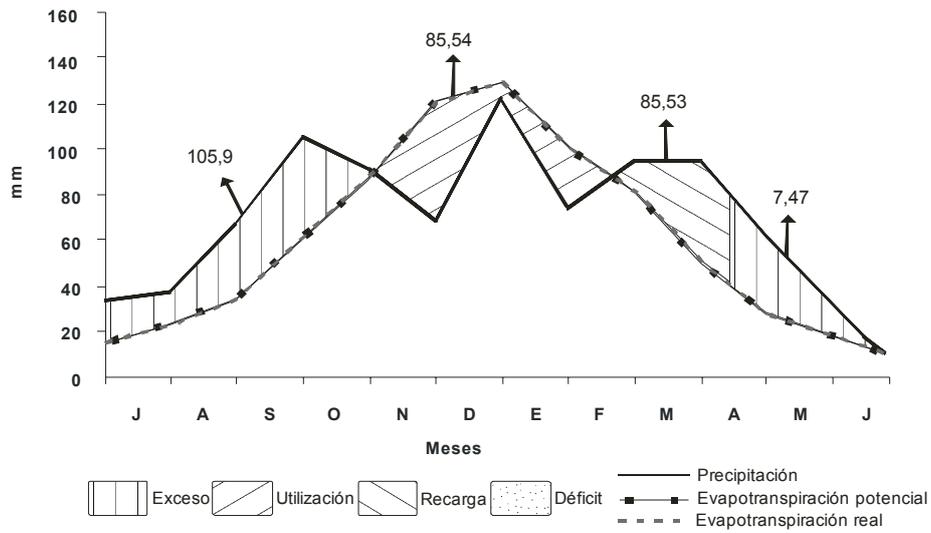


Figura 2.10. Balance hídrico para Coronel Suárez 1981-1990.

Fuente: Modificado de Campo de Ferreras *et al.* (2004).

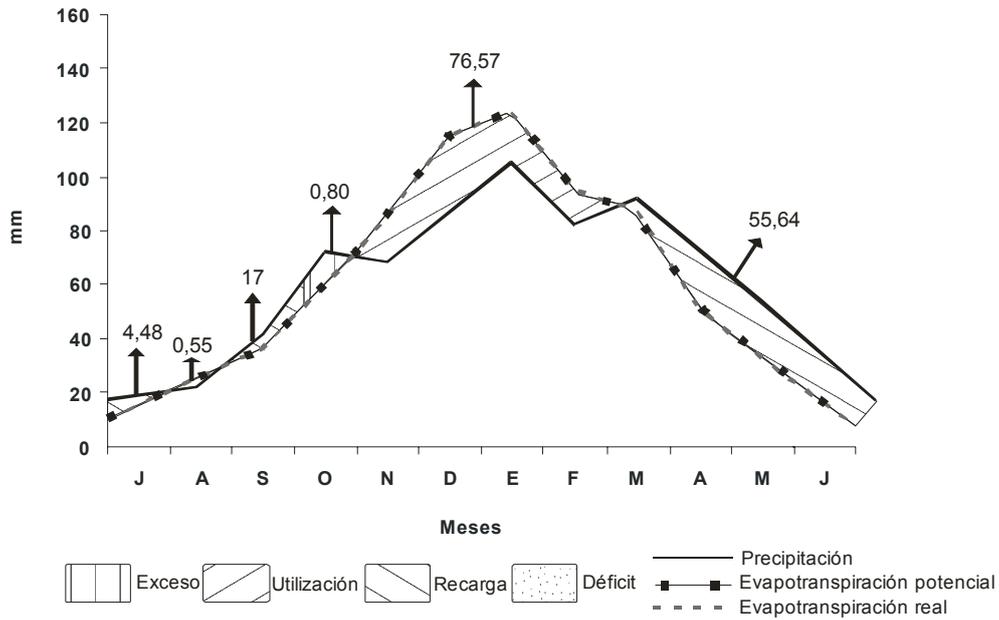


Figura 2.11. Balance hídrico para Coronel Suárez 1991-2000.

Fuente: Elaboración propia.

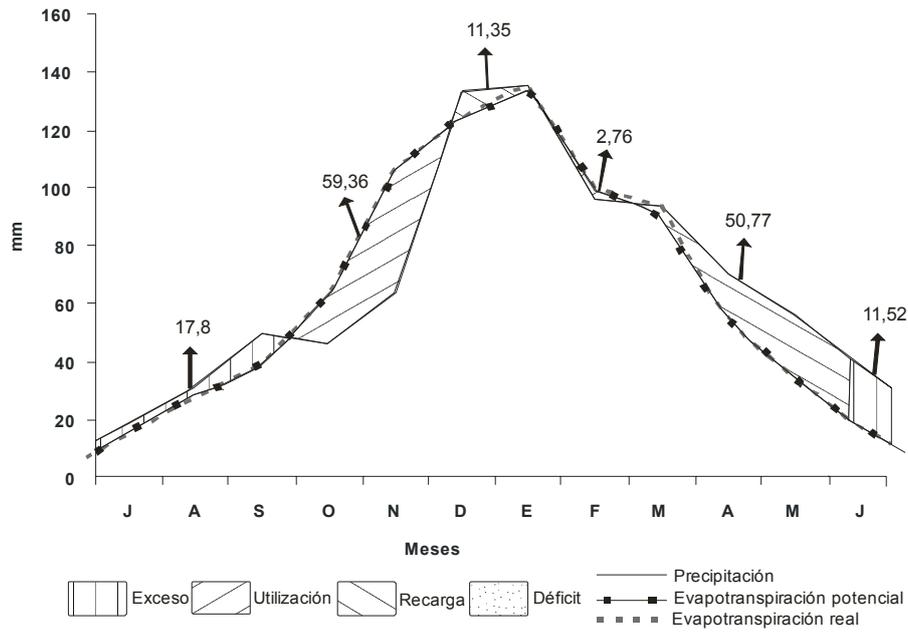


Figura 2.12. Balance hídrico para Bordenave 1991-2000.

Fuente: Elaboración propia.

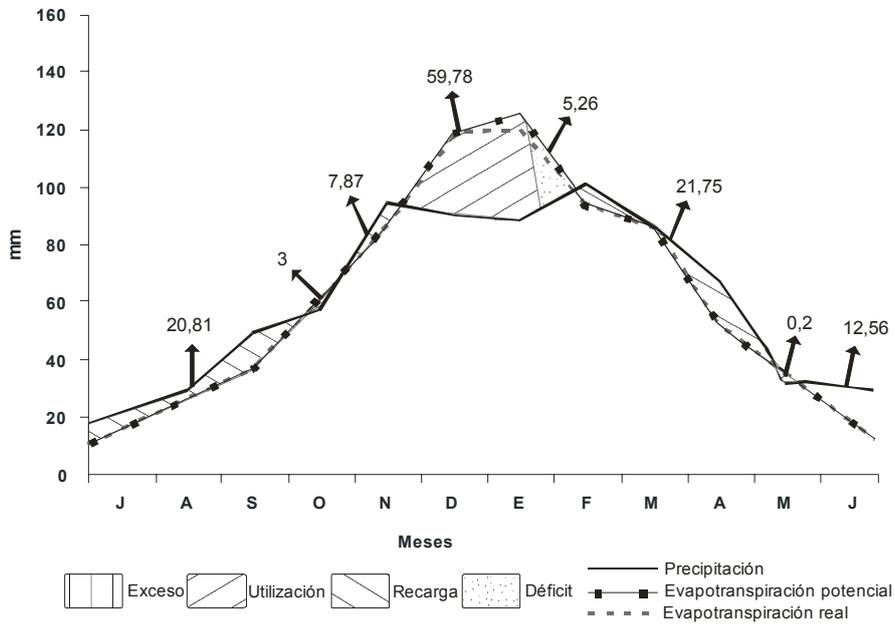


Figura 2.13. Balance hídrico para Pigüé 1991-2000.

Fuente: Elaboración propia.

La aridez se presenta en los balances hídricos de Bahía Blanca. El período en que se extiende esta situación es menor en la década 1981-1990 que en 1991-2000, sin embargo, los valores son mayores en el primer período (199,03 y 135,80 mm). El tiempo de reposición se corre aproximadamente un mes de una década a otra como consecuencia de la extensión de la situación de aridez, ocurriendo en este caso una variación de los valores producto de las mayores precipitaciones en mayo y junio y menores entre julio y octubre (1991-2000) superando siempre la evapotranspiración potencial (Fig 2.14 y 2.15).

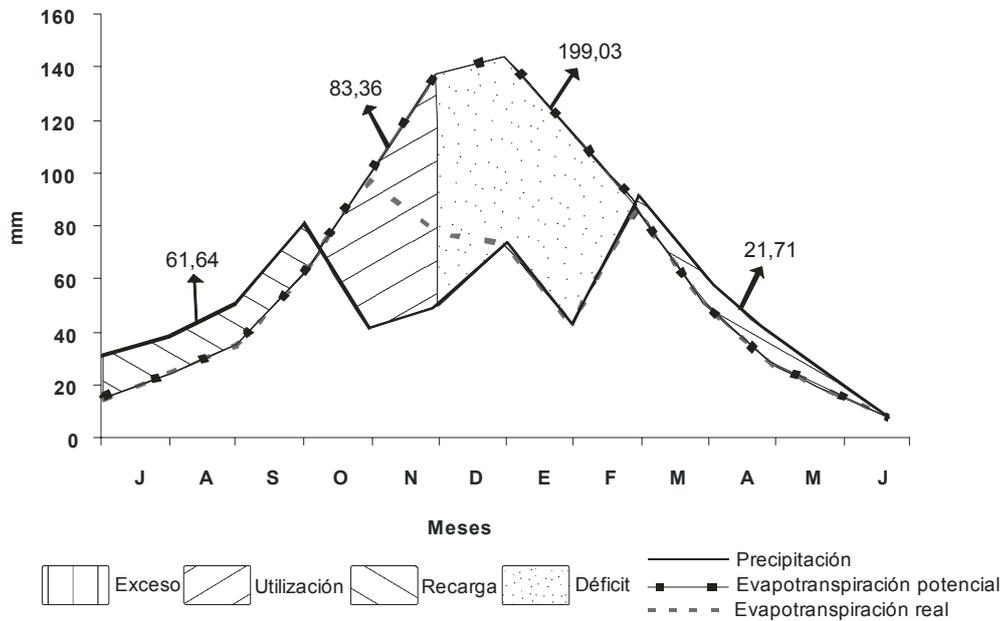


Figura 2.14. Balance hídrico para Bahía Blanca 1981-1990.

Fuente: Modificado de Campo de Ferreras *et al.* (2004).

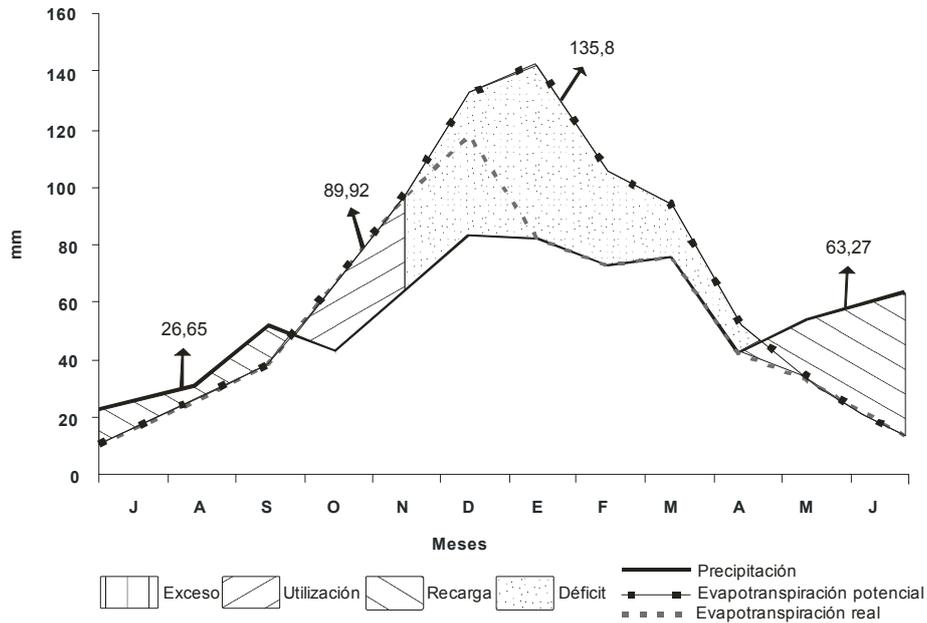


Figura 2.15. Balance hídrico para Bahía Blanca 1991-2000.

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.4.1. Variaciones de los índices hídrico, de aridez y de humedad

En el análisis y comparación de los valores obtenidos con los estudios realizados previamente (Capelli y Campo, 1994 y Campo de Ferreras *et al.*, 2004) se detectaron variaciones en el índice de aridez únicamente para Bahía Blanca. En 1981-1990 se registró una gran deficiencia de agua respecto a la década anterior, para 1991-2000 ocurre un período aún más lluvioso. Coronel Suárez presenta una nula diferencia de agua en los tres períodos al igual que Bordenave en 1991-2000. Pigüé registra una pequeña diferencia en la última década. Excepto Coronel Suárez que 1971-1980 y 1981-1990 presenta un exceso moderado de agua en invierno, las otras localidades presentan nulo exceso de agua en todos los períodos. Estas variaciones estacionales de la efectividad hídrica se reflejan en la variación del índice hídrico que determina el tipo climático en las diferentes estaciones meteorológicas. No se observan variaciones en la clasificación climática de las estaciones de Bahía Blanca y Coronel Suárez. El tipo climático correspondiente a Bahía Blanca y Pigüé es el subhúmedo seco ( $C_1$ ) y a Coronel Suárez y Bordenave el subhúmedo ( $C_2$ ). El incremento negativo del índice hídrico en la década 1981-1990 para Bahía Blanca se

debe a una disminución de casi 100 mm entre esta década y la anterior, acompañado de un leve incremento de temperatura de 0,17 °C. El último decenio presenta un incremento en las precipitaciones por lo cual disminuye este índice pero sin alcanzar los valores de 1971-1980 (Tabla 2.3).

	Índice de Aridez			Índice de Humedad			Índice Hídrico		
	1971-80	1981-90	1991-00	1971-80	1981-90	1991-00	1971-80	1981-90	1991-00
Coronel Suárez	r = 0	r = 0	r = 0	s = 11,24	s = 16	d = 0,11	C2 = 11,24	C2 = 16	C2 = 0,11
Pigüé	s/d	s/d	r = 0,70	s/d	s/d	d = 0	s/d	s/d	C1 = -0,42
Bordenave	s/d	s/d	r = 0	s/d	s/d	d = 3,66	s/d	s/d	C2 = 3,66
Bahía Blanca	r = 10,99	s = 24,49	r = 16,55	d = 0	d = 0	d = 0	C1 = -6,59	C1 = -14,69	C1 = -9,93

s/d: sin dato

Tabla 2.3. Índices de aridez, humedad e hídricos para las décadas de 1971-1980, 1981-1990 y 1991-2000.

#### 2.4.2. Balances hídricos del año 2002 a partir de datos de evapotranspiración potencial calculada Penman-Monteith y Thornthwaite

La evapotranspiración potencial calculada por el método de Penman-Monteith presenta mayores valores que los obtenidos por Thornthwaite (Tabla 2.4). Esta diferencia del orden de los 200 mm se refleja en los balances hídricos de Bahía Blanca y Coronel Suárez con la variación de los períodos de recarga, utilización, exceso y déficit y sus valores, principalmente en el incremento del período de sequía y la desaparición del período de exceso. El análisis de los balances según Thornthwaite para todas las estaciones, muestra la paulatina manifestación de condiciones de sequía hacia el Sur de la cuenca. El 2002 fue un año húmedo, situación que favoreció la aparición de excesos (balances según Thornthwaite) en el área de Bahía Blanca. Los excesos se centran en otoño, invierno y primavera y son mayores en los extremos de la cuenca, los déficits en otoño, primavera y verano y aumentan hacia el Sur (Fig. 2.16 a 2.21).

	Según Thornthwaite				Según Penman-Monteith			
	EVP Real	EVP Potencial	Exceso	Déficit	EVP Real	EVP Potencial	Exceso	Déficit
Corone Suárez	747,63	747,63	225,87	0	973,5	1339,8	0	366,3
Pigüé	746,43	746,43	145,67	0	s/d	s/d	s/d	s/d
Bordenave	577,02	693,32	111,28	116,3	s/d	s/d	s/d	s/d
Bahía Blanca	654,78	822,17	214,42	167,39	869,2	1659,1	0	789,9

Tabla 2.4. Evapotranspiración anual real y potencial en mm según Thornthwaite y Penman-Monteith.

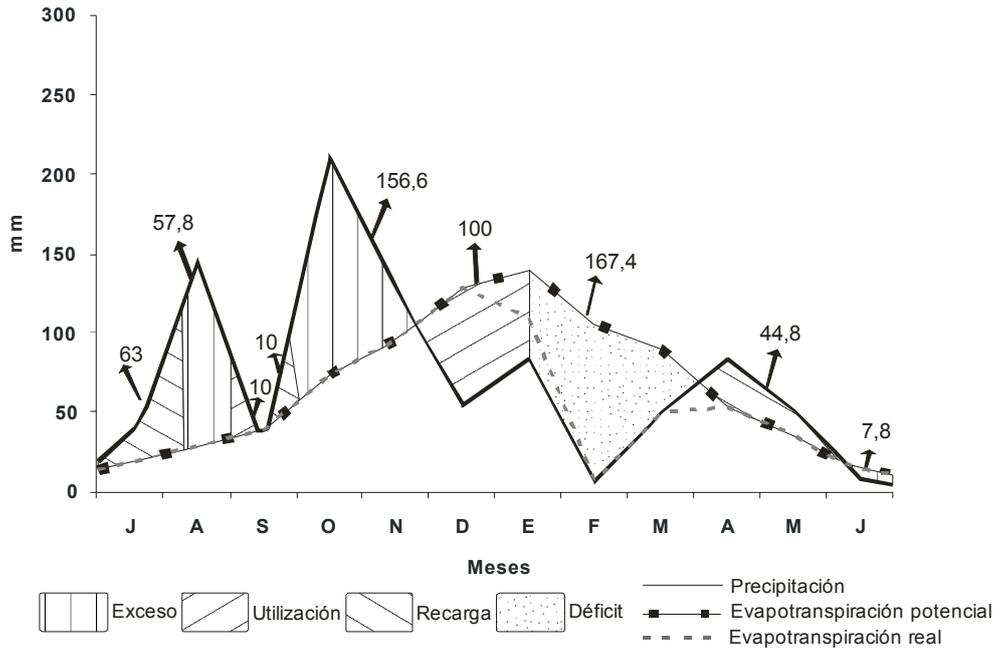


Figura 2.16. Balance hídrico para Bahía Blanca. Año 2002.

Fuente: Elaboración propia sobre datos de EVP según Thornthwaite.

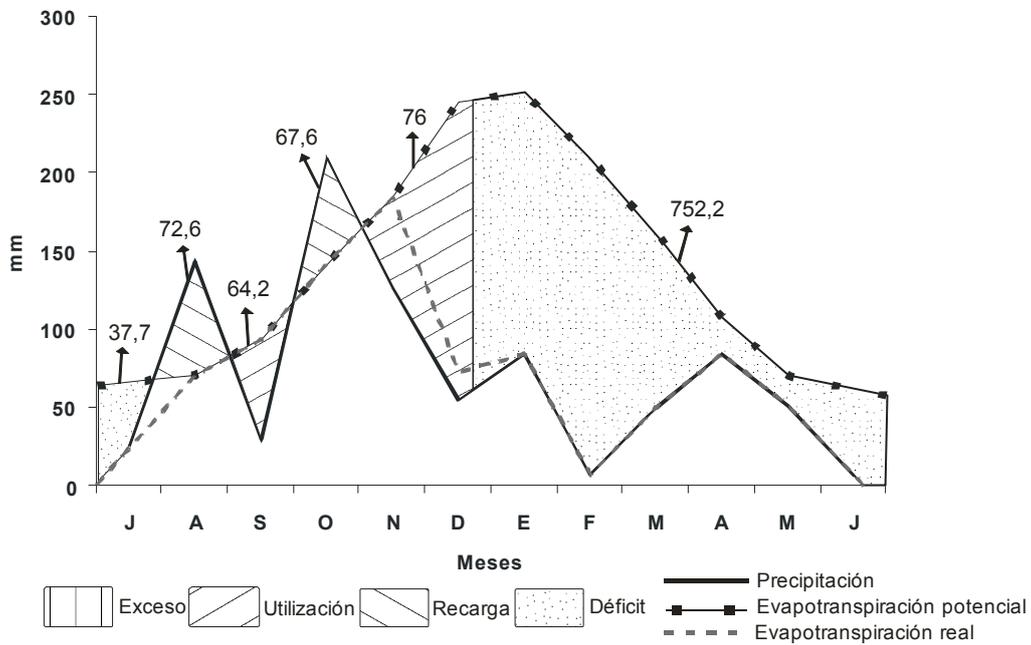


Figura 2.17. Balance hídrico para Bahía Blanca. Año 2002.

Fuente: Elaboración propia sobre datos de EVP según Penman-Monteith.

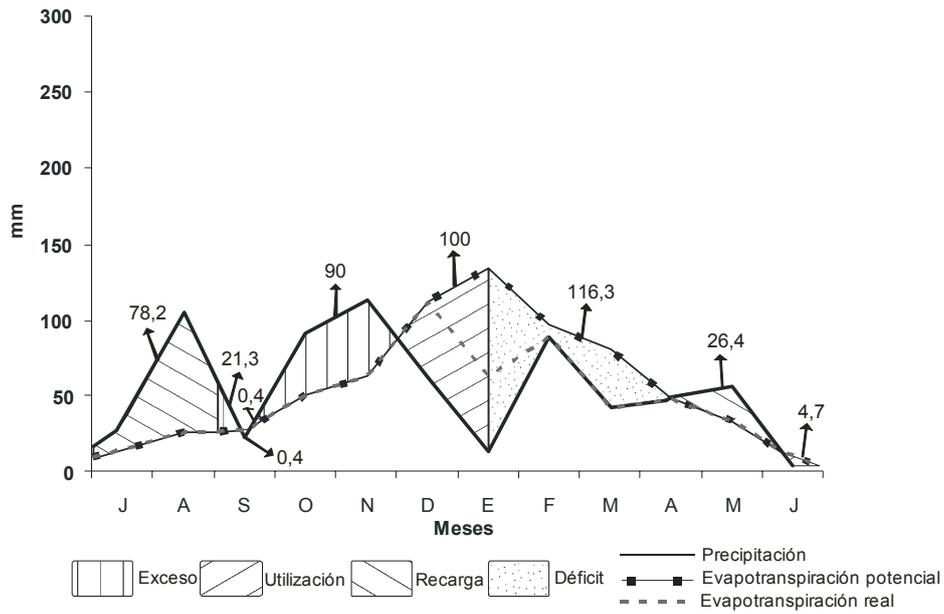


Figura 2.18. Balance hídrico para Bordenave. Año 2002.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de EVP según Thornthwaite.

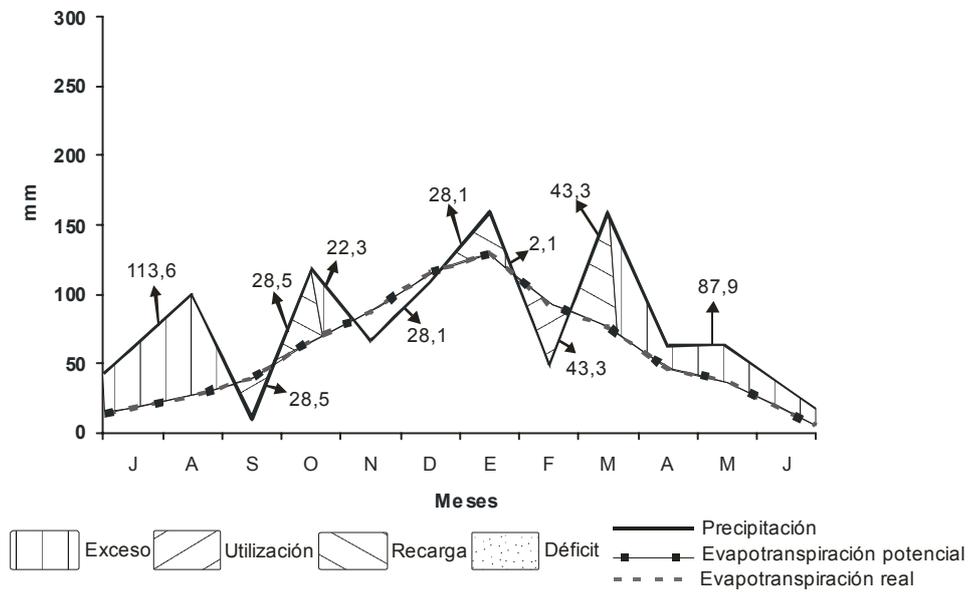


Figura 2.19. Balance hídrico para Coronel Suárez. Año 2002.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de EVP según Thornthwaite.

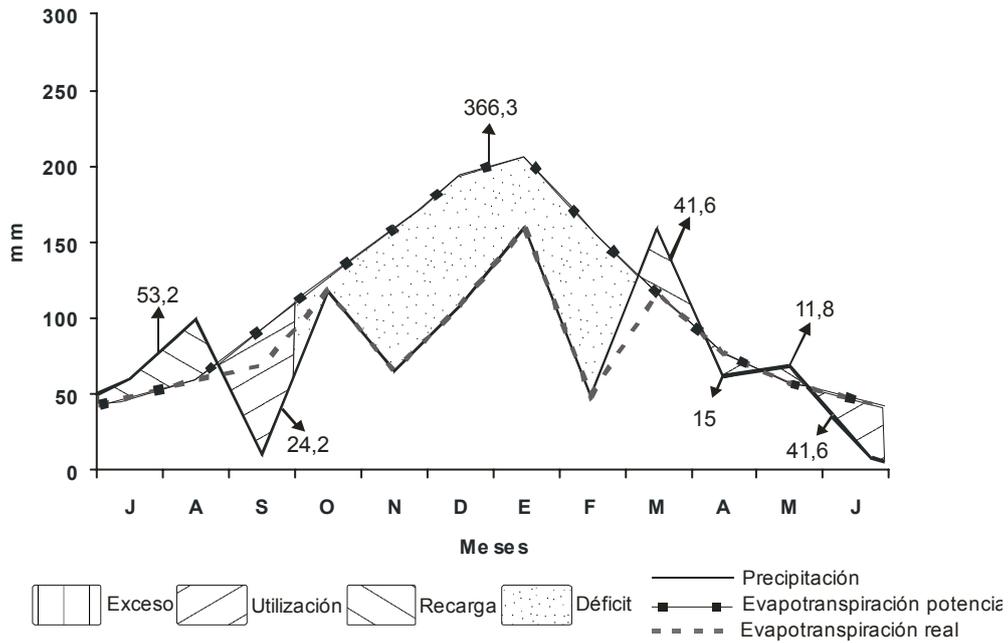


Figura 2.20. Balance hídrico para Coronel Suárez. Año 2002.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de EVP según Penman-Monteith.

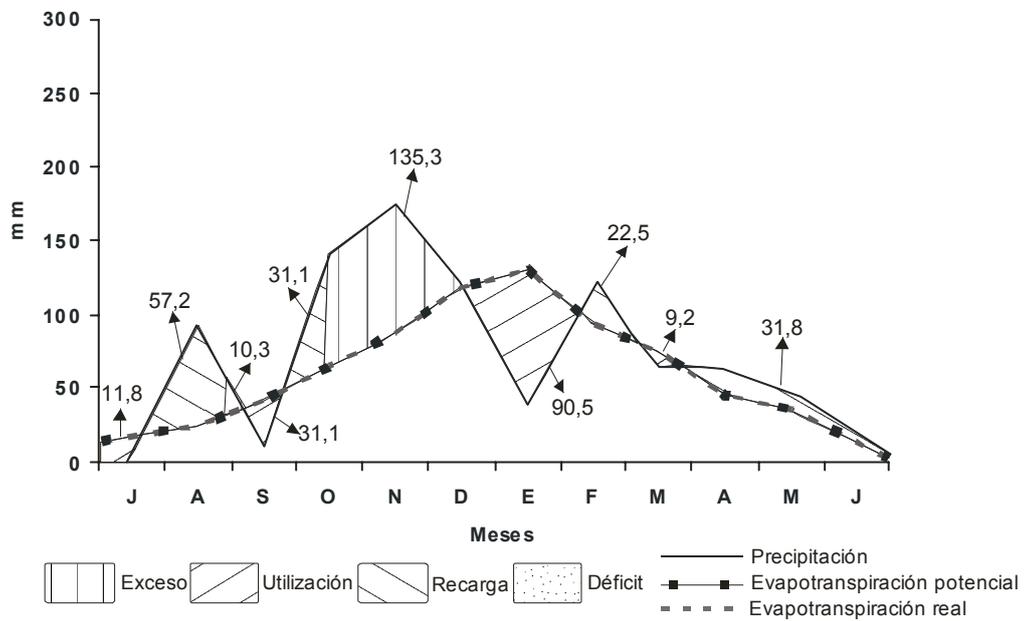


Figura 2.21. Balance hídrico para Pigüé. Año 2002.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de EVP según Thornthwaite.

### **2.4.3. Balances hídricos del año 2006: La importancia para el análisis hidrológico de los suelos**

Las escasas precipitaciones del año 2006 ocurridas en el Suroeste bonaerense, quedaron reflejadas en los balances hídricos de la región analizada. El balance hídrico de Coronel Suárez es el único en el que se observó un pequeño exceso (23,99 mm) en octubre. En el año 2002 esta estación registró los mayores excesos (201,5 mm) precisamente, en el mismo período que en el año 2006 presentó déficit (115,86 mm) (Fig. 2.22). En Bordenave no se registró ningún período de exceso hídrico y las condiciones de déficit se prolongaron desde fines de abril hasta mediados de septiembre y reaparecieron entre noviembre y hasta finales de enero (Fig. 2.23). A diferencia de la situación presentada en el año 2002, en este período tampoco se produjeron excesos de agua y las condiciones de déficit hídrico se incrementaron considerablemente en tiempo y espacio para el área de Bahía Blanca (Fig. 2.24). Contrariamente a lo que se pudo observar en los diagramas ombrotérmicos para este mismo año (Fig. 2.9), las precipitaciones aunque abundantes, no alcanzan para cubrir la necesidad de agua dando lugar a la aparición e intensificación del período de déficit hídrico.

El análisis de las características hídricas de la cuenca durante el año 2006 permitió la posterior determinación de las condiciones hidrológicas para la infiltración en función del grado de humedad antecedente del suelo (Capítulo 6).

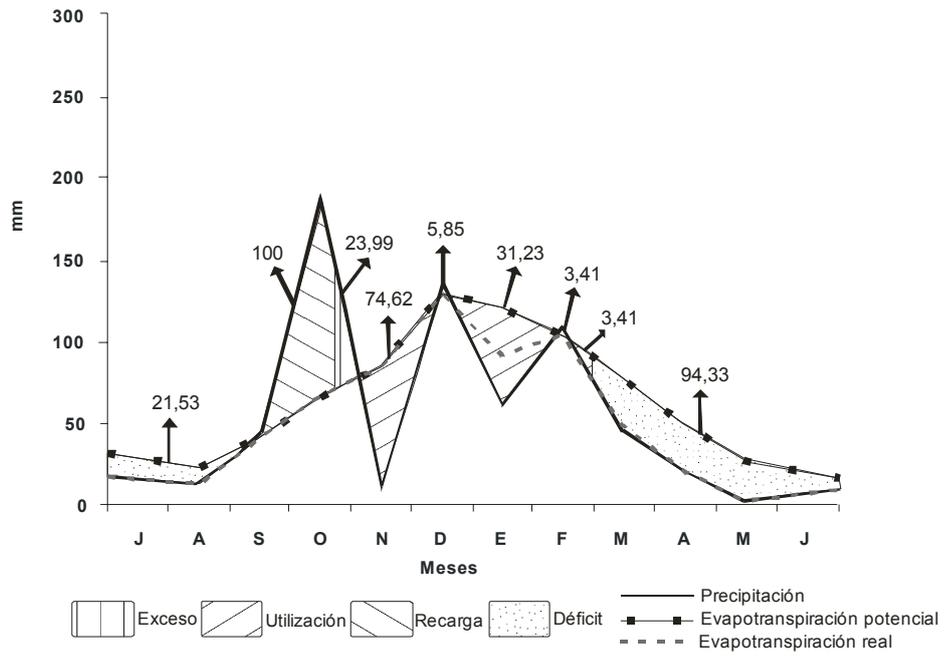


Figura 2.22. Balance hídrico para Coronel Suárez. Año 2006.

Fuente: Elaboración propia.

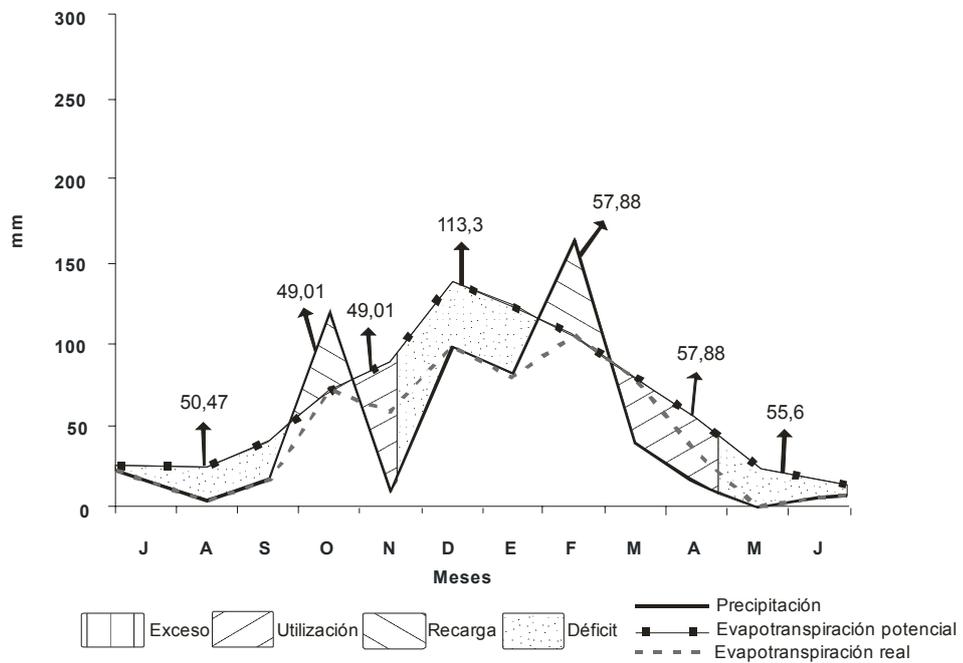


Figura 2.23. Balance hídrico para Bordenave. Año 2006.

Fuente: Elaboración propia.

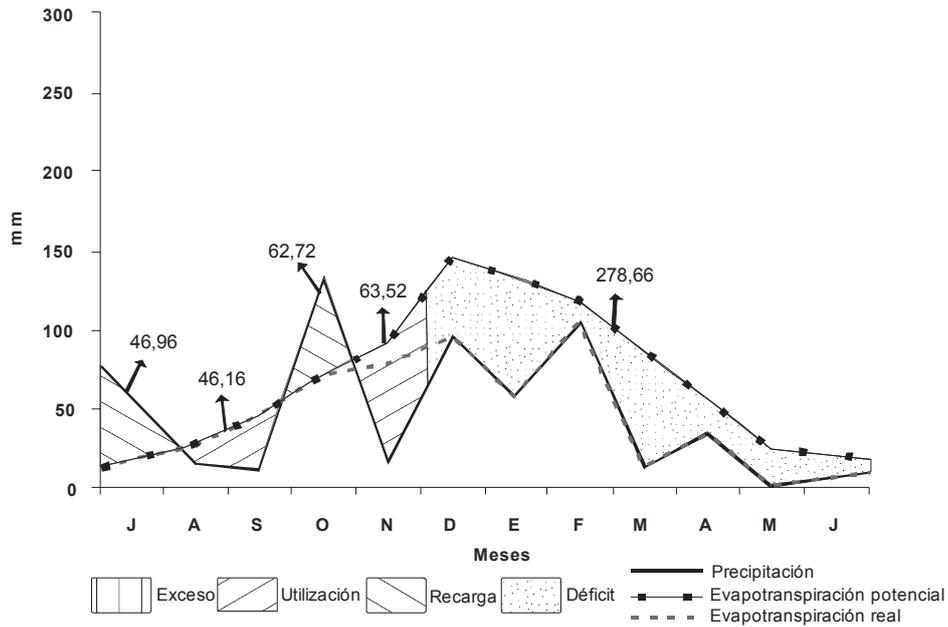


Figura 2.24. Balance hídrico para Bahía Blanca. Año 2006.

Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, las oscilaciones climáticas evidencian las principales características estacionales y ponen de manifiesto aspectos del cambio climático. Se observó una variabilidad espacial y temporal de los elementos climatológicos con un ascenso de casi 1 °C en la temperatura media en las estaciones de otoño y primavera y un incremento de entre 0,2-0,4 °C en las medias anuales en un período de 20 años. Las oscilaciones interdecádicas en los índices de aridez y humedad no fueron lo suficientemente importantes para producir cambios en la variación de la clasificación climática.

Las oscilaciones climáticas ocurridas en este espacio permitieron observar la tendencia manifiesta en el aumento paulatino de la temperatura y su impacto en la cantidad de agua del suelo. Se pudo observar un notable incremento de las precipitaciones anuales en 1991-2000 que contribuyeron a disminuir el período de sequía particularmente para Bahía Blanca. Sin embargo, continuó el prolongado estado de deficiencia hídrica estival que junto a la ocurrencia de vientos fuertes y constantes durante este mismo tiempo, incrementan la aparición y extensión del

proceso de desertización en la región, principalmente en los partidos de Bahía Blanca y Pigüé.

El análisis del diagrama ombrotérmico para Bahía Blanca en 1991-2000 permitió detectar el pasaje de una condición de clima templado con características de cálido mediterráneo a otra con características de cálido húmedo tropical. Contrariamente a ello, continuó prevaleciendo el contexto de condiciones climáticas subhúmedas secas que propician el desarrollo del proceso de desertización, sumadas las variaciones climáticas y las intervenciones antropogénicas adversas. Su consecuencia negativa es directa sobre la actividad agropecuaria, principal motor de la economía regional, a la vez que genera una degradación ambiental que dificulta e impide la conservación de los recursos naturales, fundamentales para el desarrollo sustentable.

La comparación de los datos de evapotranspiración potencial calculados por los métodos de Penman-Monteith y Thornthwaite y posteriormente la elaboración de los balances hídricos permitió identificar que la metodología que mejor refleja las condiciones naturales es la propuesta por este último autor. La evapotranspiración es sobredimensionada cuando se calcula por Penman-Monteith, en consecuencia, los balances hídricos no reflejan las situaciones de excesos como sí se observan en el otro caso. Por lo tanto, se consideraron en el presente trabajo, los resultados obtenidos por Thornthwaite.

Los diagramas ombrotérmicos no reflejan períodos de sequía importantes durante el año 2002. Los meses más críticos para las estaciones analizadas son, febrero para Bahía Blanca, enero para Bordenave, septiembre para Coronel Suárez y julio y septiembre para Pigüé. Los balances hídricos muestran la paulatina manifestación de la necesidad de agua hacia el Sur y períodos de exceso hídrico en todas las estaciones, con la particularidad de registrarse los mayores valores en los extremos de la cuenca. Por el contrario, en el año 2006, se dieron importantes precipitaciones en octubre y durante la estación estival sobre toda la cuenca y en el mes de julio sólo para Bahía Blanca. Sin embargo, para el resto del año prevalecieron las condiciones de sequía. La dinámica hidroclimática quedó así reflejada en los balances hídricos, en los cuales se observó un aumento y extensión del período de déficit de agua en toda el área.

La información generada sobre la variación de la humedad del suelo junto con el análisis del resto de las variables climáticas, permite mejorar el conocimiento de los procesos básicos relacionados con la cantidad, calidad y gestión de los recursos hídricos superficiales. Asimismo, se podrán articular estrategias junto a las políticas de desarrollo local y regional para la gestión sustentable de los recursos hídricos, que consideren la vulnerabilidad de los ecosistemas semiáridos a cambios actuales. Se trata todavía de sistemas poco estudiados a pesar de su extensión mundial y su manifiesta vulnerabilidad en futuros escenarios de cambio global.

### C A P Í T U L O 3

---

#### LA DINÁMICA HIDROLÓGICA DEL RÍO SAUCE CHICO: CAUDAL Y ESCORRENTÍA

Los cursos fluviales poseen un vínculo directo con las diferentes formas de vida y fundamentalmente con el desarrollo de las actividades humanas. En proximidades de su curso se localizan grandes ciudades y también pequeños poblados, industrias y puertos. El caudal de un río es el parámetro más importante que permite analizar sus variaciones espacio-temporales. Por tal motivo, desde el punto de vista geográfico, su estudio es de gran interés porque a partir de su dinámica, permite explicar o predecir geoformas, problemas de degradación y erosión. El conocimiento de su comportamiento ayuda a plantear soluciones y determinar las posibilidades de aprovechamiento del recurso hídrico.

En una cuenca hidrográfica el caudal de un río, definido como el volumen de escorrentía superficial por unidad de tiempo (Bruniard, 1992; Monsalve Sáenz, 1999) depende de factores como el clima, la vegetación y el complejo suelo-sustrato. Por lo tanto, procesos como la precipitación, evaporación, intercepción, transpiración, infiltración y almacenamiento inciden directamente sobre el caudal. Asimismo, factores de naturaleza humana como los relacionados con la intervención antropogénica, influyen en la escorrentía superficial. Por ello, es indispensable conocer la respuesta del río frente a cada uno de esos factores (Heras, 1972; Pedraza, 1996; Monsalve Sáenz, 1999).

Según Remenieras (1974) existe una estrecha relación entre las precipitaciones y el caudal de un arroyo, sin embargo, esto no significa que ante una precipitación de intensidad determinada le corresponda un caudal igual, dado que este último está condicionado por muchos factores. Por lo tanto, los caudales pueden ser muy diferentes ante años de precipitaciones semejantes. Uno de los factores principales que regula la escorrentía es la capacidad de retención del terreno. Los suelos próximos a un arroyo sufren intensa acción erosiva e inundaciones es por ello, que para mitigar estas situaciones es necesario conocer el comportamiento del caudal.

El primer estudio realizado en la provincia de Buenos Aires, que relaciona las variaciones de los excesos del balance hídrico y sus consecuencias en el régimen de

los escurrimientos superficiales, data de 1999 y se aplicó a la cuenca del río Quequén Grande (Campo de Ferreras y Píccolo, 1997 a-d). A partir de entonces, esta metodología fue aplicada por diversos investigadores que consideraron la importancia de este tipo de estudios (Marini y Píccolo, 2000; Munguía, 2003; Carbone, 2003).

Con respecto al río Sauce Chico, son pocos los estudios sobre su caudal y en general, siempre estuvieron centrados en la cuenca alta (Campo de Ferreras y Gaetano de Oroz, 1986; Albouy, 1994; Goligorsky, 1939; Posadas, 1944; Dirección General de Agua y Energía Eléctrica, 1950; Consejo Federal de Inversiones, 1962). Hace 4 años y por la importancia que reviste el vertido de sus aguas al estuario de la bahía Blanca se instaló una estación de aforo en la cuenca baja con el fin de estudiar los efectos de la variación de su caudal (Carbone *et al.*, 2008). Asimismo, un informe puntual de detalle fue realizado por Gentili (2008) en el sector del cauce localizado a los 38° 42' 08" de latitud Sur y 62° 27' 26" de longitud Oeste, en la cuenca baja.

Sin embargo, los datos aforados conocidos siguen siendo escasos. Por lo tanto, teniendo en cuenta la importancia del rol que tiene el escurrimiento como parte del sistema de alimentación de la cuenca en la dinámica fluvial del río, el objetivo de este capítulo es determinar el escurrimiento superficial sobre la base de los excesos del balance hídrico y relacionar el caudal medio mensual con las precipitaciones según la información disponible.

### **3.1. Materiales y métodos para el análisis de la dinámica hidrológica**

Para el análisis y caracterización de la dinámica del río Sauce Chico, en primer lugar se investigaron datos históricos y actuales sobre los caudales del mismo. En una segunda instancia, se calculó la escorrentía mensual en la cuenca para lo cual se consideró que el concepto físico de evaporación en el análisis hidrológico está asociado a los procesos biológicos. La evaporación y la evapotranspiración influyen directamente sobre la escorrentía, por tal motivo, en la ecuación del balance hídrico de una cuenca el caudal escurrido es la diferencia entre la precipitación y la evaporación (Bruniard, 1992).

$$Q = P - E$$

Donde:

Q : Caudal escurrido

P : Precipitación

E : Evaporación

Por lo tanto, se determinó el escurrimiento superficial sobre la base de los excesos arrojados por los balances hídricos (Fig. 2.10, 2.11, 2.15, 2.17-18 y 2.20) de las estaciones analizadas para el período 1991-2000 y para los años 2002 y 2006 según el método de escurrimiento progresivo de Thornthwaite. El cálculo se realizó considerando que el 50 % del excedente de agua del mes analizado se escurre hacia los cursos de agua durante ese mes. El 50 % restante se infiltra hacia los mantos freáticos y escurre a través de fuentes naturales. Este resto disminuye y se distribuye progresivamente en los meses siguientes (Hufty, 1984).

Los escurrimientos calculados para el 2006 se compararon con los valores de escurrimiento mensual real y se relacionaron con las precipitaciones para el mismo período. Se calcularon el índice y el coeficiente de escurrimiento (Bruniard, 1992). Los datos de caudales correspondientes al año 2006 fueron proporcionados por Limbozzi y Marcovecchio (2009) y pertenecen a la estación de aforo localizada en Villarino Viejo (Lat Sur: 38° 43' 42"; Long Oeste: 62° 27' 08"). Por un desperfecto técnico el sensor de la estación dejó de funcionar entre el día 20 de febrero y 31 de marzo, motivo por el cual se carece de los datos correspondientes a dicho período.

### **3.2. Evolución histórica de los caudales del río Sauce Chico**

En enero de 1939 se habilitó una estación de aforo en Paso Bower, a 15 km de la estación Tornquist del Ferrocarril Sud, adosada a una alcantarilla que luego de una crecida quedó fuera de servicio. Por entonces, el río registró el mayor caudal durante la sequía de ese año con un valor de 0,285 m<sup>3</sup>/seg (Goligorosky, 1939; Schefer, 2004). Posteriormente, entre los años 1940 y 1946, en el mismo sitio, la Dirección General de Agua y Energía Eléctrica de la Nación instaló una estación de aforo hidrométrica la cual salió de servicio en 1947. La cuenca tributaria considerada por entonces cubría una superficie de 420 km<sup>2</sup>. Los datos de caudales registrados fueron: máximo 570 m<sup>3</sup>/seg, mínimo 0,310 m<sup>3</sup>/seg y un módulo de 1,504 m<sup>3</sup>/seg (Anuario hidrológico 1945-1946).

Durante ese período, los caudales medios mensuales destacan al mes de abril de 1943-1944 y febrero de 1944-1945 con los mayores registros. Le siguen abril de 1945-1946 y marzo de 1940-1941, en tanto que enero se constituye en el mes de estiaje (Fig. 3.1) (DGAE, 1950). En el año 1945, los mayores caudales se registraron en la estación estival y los menores en la invernal. Las estaciones equinocciales

presentaron situaciones intermedias pero nunca superaron la media estacional de 5,25 m<sup>3</sup>/seg (Fig. 3.2).

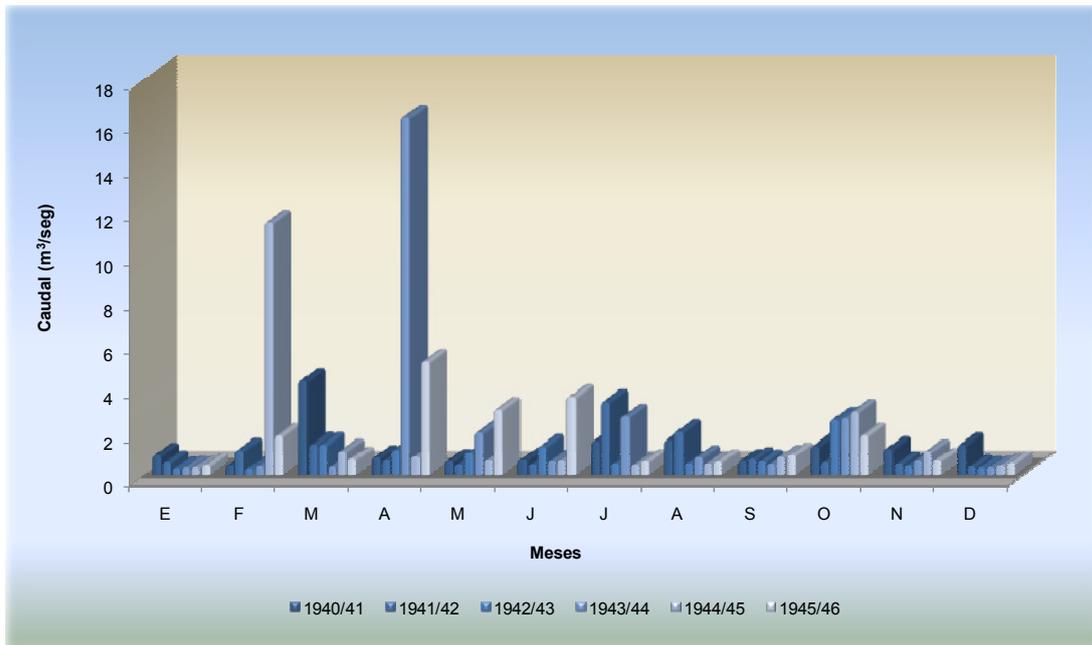


Figura 3.1. Caudales medios mensuales en m<sup>3</sup>/seg del río Sauce Chico.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos obtenidos del Anuario hidrológico 1945-1946 (DGAE, 1950).

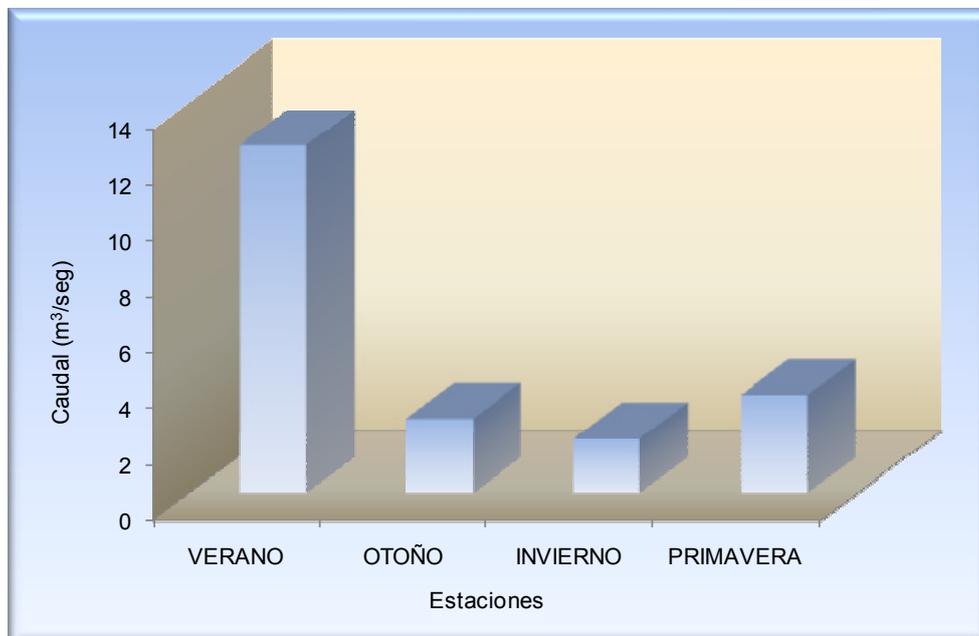


Figura 3.2. Caudales medios estacionales del río Sauce Chico para 1945.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos obtenidos del Anuario hidrológico 1945-1946 (DGAE, 1950).

Los caudales medios diarios registrados en febrero del año 1945 fueron superiores a la media anual ( $1,725 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) prácticamente durante casi todo el mes. Los mayores valores se concentraron entre los días 6 y 13 alcanzando el día 7 un máximo absoluto de  $156,665 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Durante el resto del año los registros fueron más uniformes y no superaron en ningún caso los  $2 \text{ m}^3/\text{seg}$  (Fig. 3.3). El importante incremento del caudal puede asociarse con una lluvia de milimetraje extraordinario (LNP, 10/5/1980).

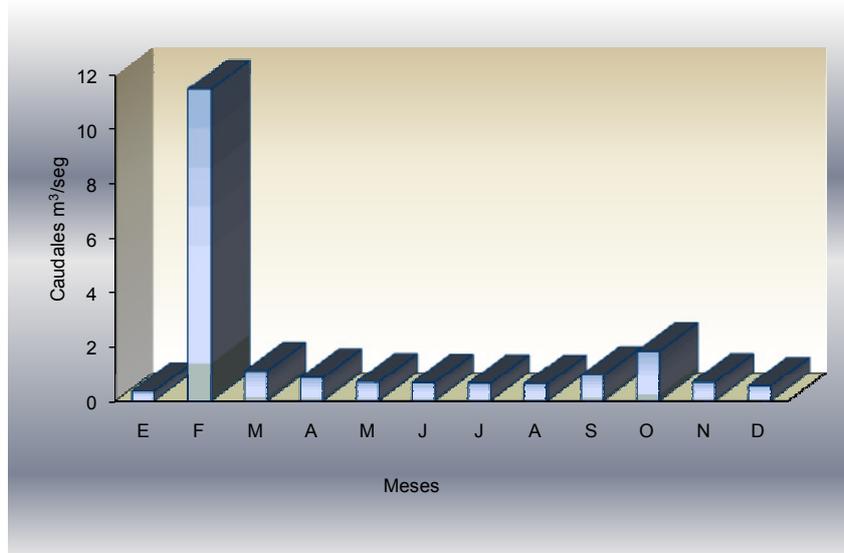


Figura 3.3. Caudales medios mensuales del río Sauce Chico para 1945.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos obtenidos del Anuario hidrológico 1945-1946 (DGAEE, 1950).

Según los informes técnicos, el río Sauce Chico tiene la particularidad de llevar poco sedimento, con excepción de alguna creciente en particular. El módulo, para toda la cuenca, apenas llega a los  $1,8 \text{ m}^3/\text{seg}$ , considerado demasiado escaso para la demanda que se presenta en las explotaciones agrícolas (LNP, 29/1/2000). Según Luque y Paoloni (2005) el río Sauce Chico tiene un caudal promedio entre  $1,6$  a  $2,0 \text{ m}^3/\text{seg}$  (30 años). En períodos de copiosas lluvias y principalmente cuando las precipitaciones se dan sobre toda la cuenca, el caudal puede alcanzar los  $60 \text{ m}^3/\text{seg}$ . El estudio de caso efectuado por Gentili (2008) en un sector en la cuenca baja, arrojó un caudal que osciló entre  $0$  y  $0,09 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Esta notable diferencia se atribuye principalmente a las distintas escalas espaciales y temporales de trabajo y al período de sequía actual.

### 3.3. Distribución de los caudales medios mensuales y su relación con las precipitaciones

En el año 2006 el caudal medio del río Sauce Chico fue de 1,46 m<sup>3</sup>/seg, el mínimo lo alcanzó en diciembre con 0,91 m<sup>3</sup>/seg y el máximo caudal correspondió al mes de octubre con 3,06 m<sup>3</sup>/seg, producto de las intensas precipitaciones ocurridas durante ese mes (133,3 mm) (Carbone, 2008; INTA Castelar, 2006). El caudal específico (q) para este período es de 0,92 l/seg/km<sup>2</sup> este valor determina una pobre riqueza hidrológica (Bruniard, 1992). La distribución anual de los caudales presenta un primer pico muy pequeño, en el otoño, que a pesar de la falta de datos y por las entrevistas realizadas, es posible asumir. Un segundo pico, que apenas supera la marca del caudal medio anual, se da en el invierno y un tercero y máximo en octubre, durante la primavera, consecuencia de un máximo de 3,1 m<sup>3</sup>/seg. Los más bajos caudales coinciden con el período estival (Carbone *et al.*, 2008) (Fig. 3.4 y 3.5).

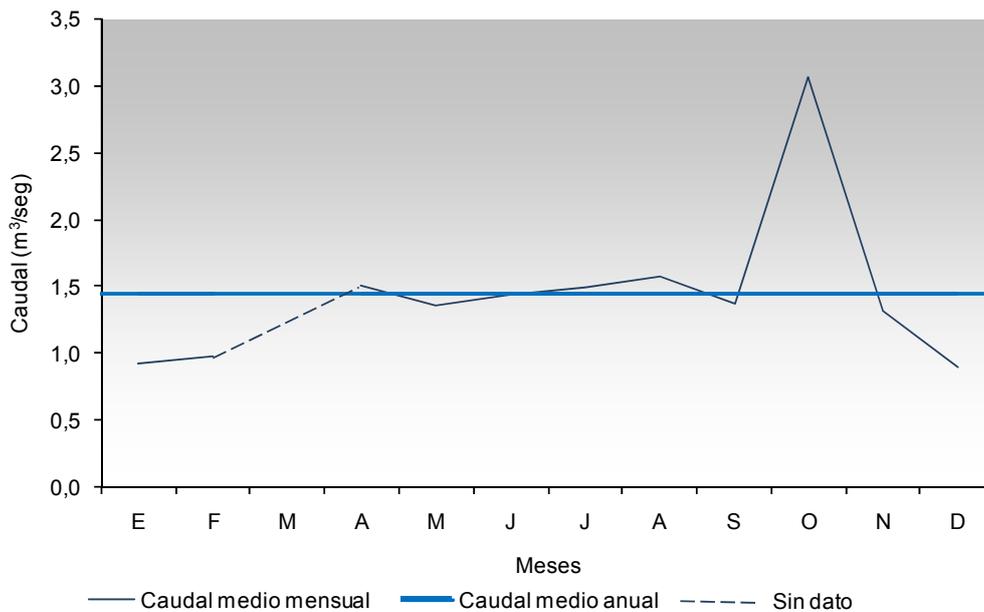


Figura 3.4. Distribución anual de los caudales medios mensuales y caudal medio anual del río Sauce Chico. Año 2006.

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por Limbozzi y Marcovecchio (2009).

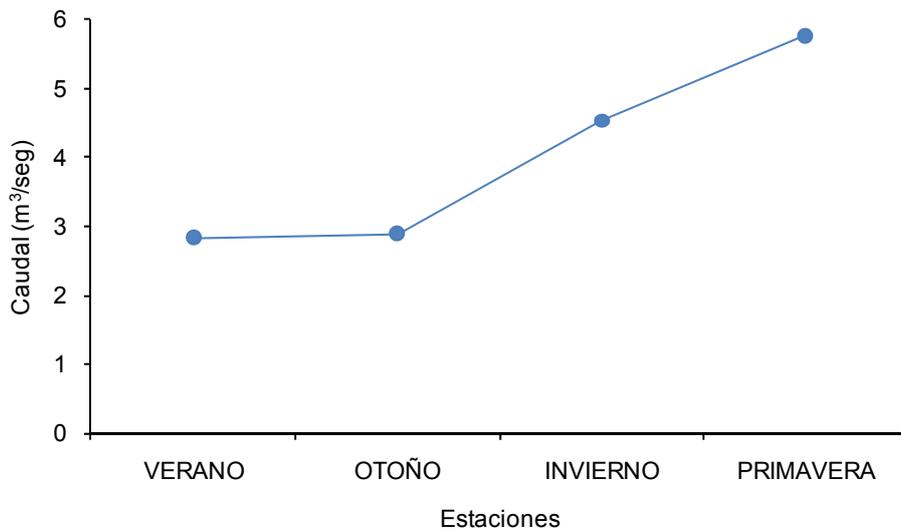


Figura 3.5. Distribución estacional de los caudales del río Sauce Chico. Año 2006.

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por Limbozzi y Marcovecchio (2009).

Para el período comprendido entre el 11 de noviembre de 2005 y el 31 de octubre de 2007, el caudal promedio fue de  $1,72 \text{ m}^3/\text{seg}$  siendo el mes de octubre de 2006 el que registró el mayor caudal y el máximo absoluto. El mínimo absoluto se dio en enero de 2007 con un valor de  $0,03 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Los menores registros siempre ocurrieron en los meses de diciembre como consecuencia de las bajas precipitaciones y la elevada evapotranspiración (Carbone *et al.*, 2008). Según el análisis efectuado por Carbone *et al.* (2008) las intensas precipitaciones de octubre de 2006 marcan la existencia de una relación entre los caudales y las lluvias.

A fin de analizar la dinámica anual de ambos elementos durante el año 2006, se graficaron las curvas de caudales y de las precipitaciones correspondientes a las estaciones analizadas. El comportamiento es producto de la relación entre los factores de interceptación, retención, infiltración y evapotranspiración. Así se comprobó que la distribución de las precipitaciones con respecto a la distribución anual de caudales tiene un desfase de un mes al finalizar el verano y en el invierno y ninguno en la primavera. No obstante, se observa y se corroboró a través de los balances hídricos (Fig. 2.21 a 2.23) que la alta evapotranspiración estival impidió que las importantes lluvias reflejen incremento en el caudal (Fig. 3.6).

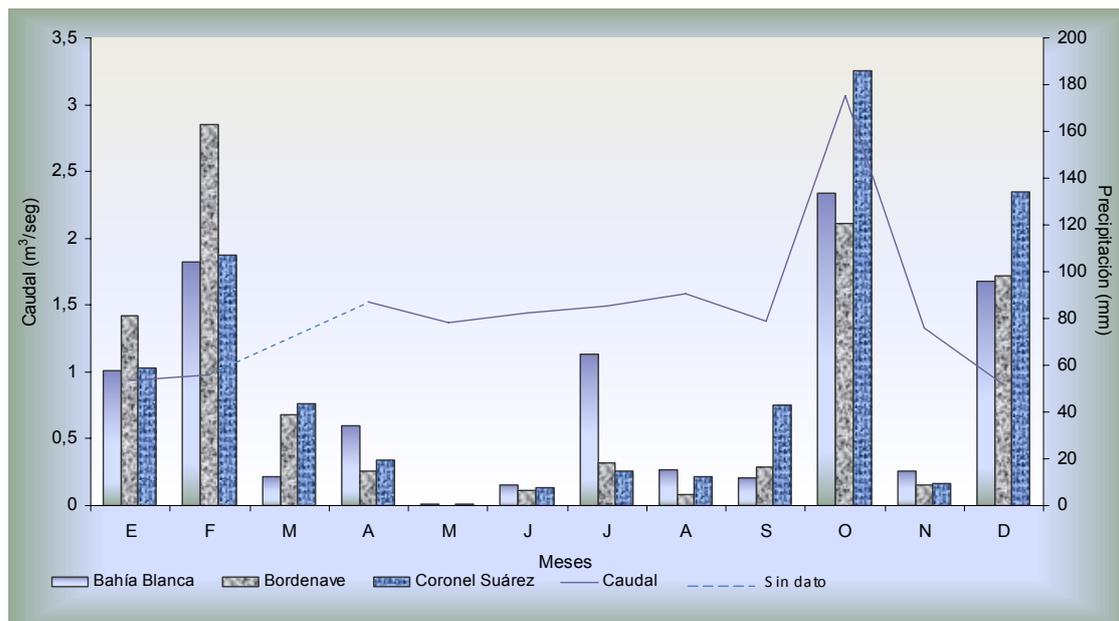


Figura 3.6. Distribución anual de los valores de precipitación (en barras) en la cuenca y caudal (en línea) del río Sauce Chico en el año 2006.

Fuente: Elaboración propia con datos de caudal suministrados por Limbozzi y Marcovecchio (2009).

Exceptuando la evidente relación entre precipitación y caudal en el mes de octubre, las importantes lluvias registradas durante el resto del año no reflejan una respuesta inmediata sobre el caudal. Esta distribución del caudal y las precipitaciones demuestra la dominancia del proceso de infiltración durante la mayor parte del año, excepto en octubre, reflejado en el desplazamiento del incremento de caudal. En octubre, con una situación precedente de sequía, la intensidad y el monto de la precipitación que duplican los registros medios, determina como proceso dominante al escurrimiento superficial, como así también cobran importancia los procesos de anegamiento e interceptación como factor de retención del agua.

### 3.4. El efecto del clima sobre el sistema hidrológico

#### 3.4.1. Escurrimiento superficial

El escurrimiento mensual por excesos ( $Es_E$ ) calculado para la cuenca del río Sauce Chico (Tabla 3.1) presentó en el período 1991-2000 un mayor registro entre junio y septiembre en Bordenave, que marcó un total anual de 29,04 mm y una muy pobre distribución para Coronel Suárez que sólo registró 0,70 mm (Fig. 3.7).

El análisis de los escurrimientos para todas las estaciones en el año 2002, el período más húmedo de los estudiados (Capítulo 2), determinó el mayor escurrimiento en el mes de octubre para el área de Bahía Blanca (70,47 mm). Le siguieron Pigüé en noviembre y Coronel Suárez en agosto con 55,6 y 49,85 mm respectivamente. Coronel Suárez fue la única que registró los valores más bajos durante la primavera y los más altos durante el otoño y el invierno. La distribución de los escurrimientos en el resto de las estaciones fue muy similar.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
<b>Coronel Suárez</b>													
Exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,80
										0,40	0,20	0,10	
Escorrimento (1991 - 2000)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,20	0,10	0,70
Exceso	2,14	0,00	38,73	15,63	31,45	2,06	41,09	72,48	0,00	22,29	0,00	0,00	225,87
	1,07	0,53	0,27	0,14									
			19,37	9,69	4,85	2,43	1,22	0,61	0,31	0,16	0,10		
				7,82	3,91	1,96	0,98	0,49	0,25	0,13			
					15,73	7,87	3,94	1,97	0,99	0,50	0,25	0,13	
						1,03	0,52	0,26	0,13				
	0,33	0,17	0,10				20,55	10,28	5,14	2,57	1,29	0,65	
								36,24	18,12	9,10	4,50	2,30	
										11,15	5,58	2,79	
Escorrimento (2002)	2,80	1,40	20,09	17,83	24,59	13,29	27,21	49,85	24,94	23,61	11,72	5,87	223,20
Exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	24,00
										12,00	6,00	3,00	
	1,50	0,80	0,40	0,20	0,10								
Escorrimento (2006)	1,50	0,80	0,40	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	6,00	3,00	24,00
<b>Pigüé</b>													
Exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,34	0,00	45,36	87,22	2,74	145,67
								5,17	2,59	1,30	0,65	0,33	
	0,17	0,10											
	2,84	1,42	0,71	0,36	0,18	0,10				22,68	11,34	5,67	
	10,91	5,46	2,73	1,37	0,69	0,35	0,18	0,10			43,61	21,81	
	0,69	0,35	0,18	0,10								1,37	
Escorrimento (2002)	14,61	7,33	3,62	1,83	0,87	0,45	0,18	5,27	2,59	23,98	55,6	29,18	145,51
<b>Bordenave</b>													
Exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,52	3,21	3,28	11,31	0,00	0,00	0,00	29,32
						5,76	2,88	1,44	0,72	0,36	0,18	0,10	
							1,61	0,81	0,41	0,21	0,11		
								1,64	0,82	0,41	0,21	0,11	
									5,66	2,83	1,42	0,71	
	0,36	0,18	0,10										
Escorrimento (1991 - 2000)	0,36	0,18	0,10	0,00	0,00	5,76	4,49	3,89	7,61	3,81	1,92	0,92	29,04
Exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,32	0,00	39,41	50,54	0,00	111,28
								10,66	5,33	2,67	1,34	0,67	
	0,34	0,17	0,10										
	2,47	1,24	0,62	0,31	0,16	0,10				19,71	9,86	4,93	
	6,32	3,16	1,58	0,79	0,40	0,20	0,10				25,27	12,64	
Escorrimento (2002)	9,13	4,57	2,30	1,10	0,56	0,30	0,10	10,66	5,33	22,38	36,47	18,24	111,14
<b>Bahía Blanca</b>													
Exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,79	0,00	126,48	30,15	0,00	214,42
								28,9	14,45	7,23	3,62	1,8	
	0,45	0,23	0,12										
	7,91	3,96	1,98	0,99	0,5	0,25	0,13			63,24	31,62	15,81	
											15,1	7,55	
	3,78	1,89	0,95	0,48	0,24	0,12							
Escorrimento (2002)	12,14	6,08	3,05	1,47	0,74	0,37	0,13	28,9	14,9	70,47	50,34	25,16	213,75

Tabla 3.1. Escurrimiento mensual del exceso de los balances hídricos.

Las características climatológicas disímiles de los años 2002 y 2006 se reflejan en cantidad y distribución de los escurrimientos que únicamente es posible observar en Coronel Suárez. Cabe recordar que Bahía Blanca y Bordenave no presentaron excesos y Pigüé careció de información (Tabla 3.1; Fig. 3.7).

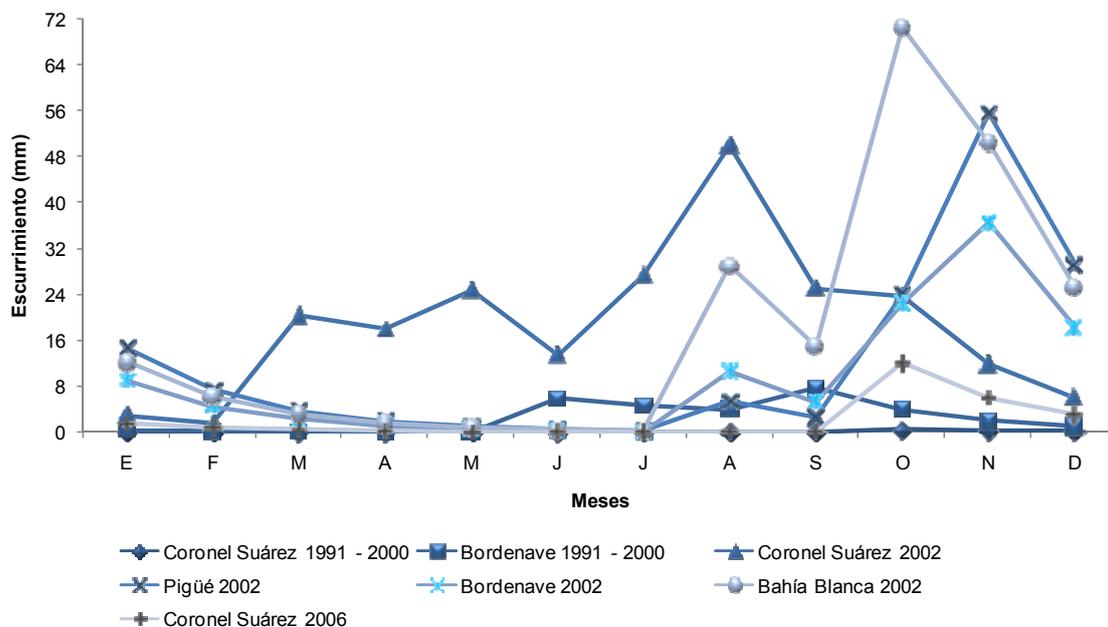


Figura 3.7. Distribución anual de los escurrimientos calculados por exceso de los balances hídricos.

Fuente: Elaboración propia.

El escurrimiento mensual real ( $Es_R$ ) equivale al caudal aforado y se expresa en milímetros por consiguiente, la distribución anual es igual a la distribución de los caudales anteriormente analizada. El  $Es_R$  se observa en la tabla 3.2 y se calculó utilizando los datos de caudales del año 2006 (Limbozzi y Marcovecchio, 2009). El área considerada corresponde a toda la superficie de la cuenca porque es la que drenan todos los cursos de agua hasta la estación de aforo.

Los valores calculados por excesos presentan marcadas diferencias mensuales respecto del escurrimiento real, excepto en el mes de enero. De febrero a septiembre los registros del  $Es_E$  son muy inferiores a los del  $Es_R$  siendo 0 mm a partir de junio, por el contrario, de octubre a diciembre los superan hasta un 300%. La variación del  $Es_R$  es pequeña salvo en el mes de octubre que alcanza los 5,2 mm. Sin embargo, el total

anual es prácticamente igual. A pesar de las diferencias, ambos escurrimientos muestran un único pico anual centrado en el mes de octubre (Tabla 3.2; Fig. 3.8).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
Q (m3/seg)	0,94	0,98*	s/d	1,5	1,4	1,4	1,5	1,6	1,4	3,1	1,3	0,9	1,34
Escorrimento (mm)	1,6	1,6*	s/d	2,4	2,4	2,3	2,5	2,7	2,3	5,2	2,1	1,3	24,8
Escorrimento Estación Coronel Suárez (mm)	1,5	0,8	0,4	0,2	0,1	0	0	0	0	12	6	3	24

Área de la cuenca: 1.595 km<sup>2</sup>  
 \*: Dato estimado  
 s/d: Sin dato

Tabla 3.2. Relación entre el caudal del río Sauce Chico y el escurrimiento calculado para el año 2006.

Fuente: Elaboración propia. Los valores de caudal fueron suministrados por Limbozzi y Marcovecchio (2009)

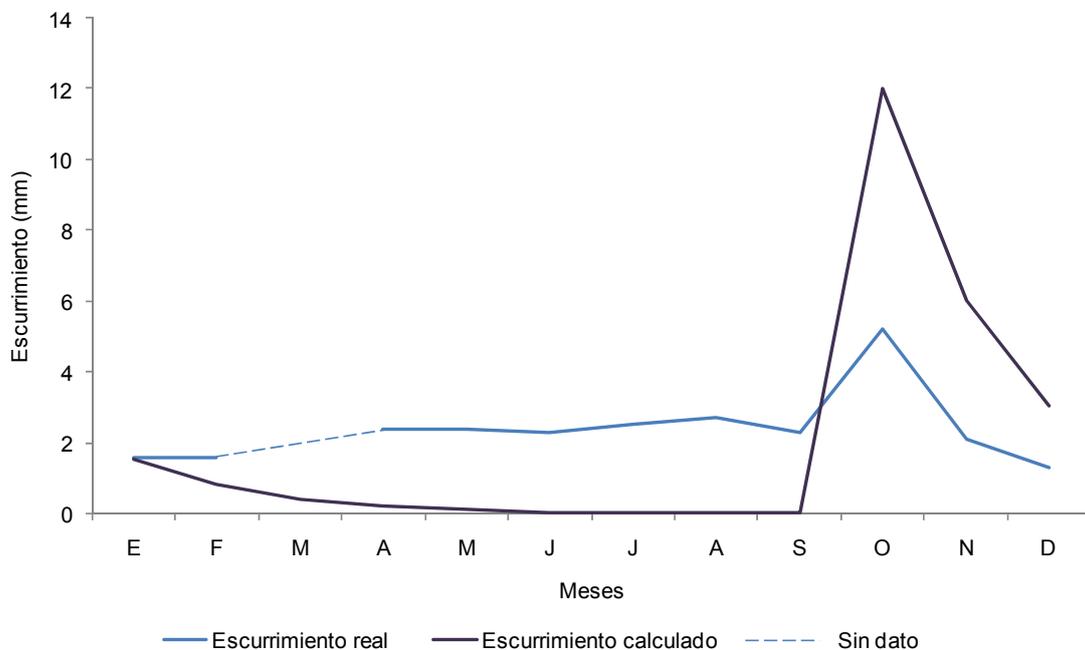


Figura 3.8. Escurrimiento real y escurrimiento calculado por excesos hídricos en el año 2006 para el río Sauce Chico y Coronel Suárez.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, si bien se comprobó la existencia de excesos durante la primavera y se observó y analizó la distribución entre las precipitaciones y el caudal, se calculó el coeficiente de esorrentía a fin de establecer la relación entre estos dos últimos elementos. El resultado expresa cuánta agua se convierte realmente en caudal del río. Este parámetro adquiere valores entre 0 y 1, donde 0 indica que no hay escurrimientos

superficiales y 1 que no existe infiltración, evaporación u otro consumo hídrico (Alonso Otero *et al.*, 1981). Para el río Sauce Chico el coeficiente de escorrentía es 0,042 lo que significa que prácticamente toda del agua precipitada se infiltra. Sin embargo, las características de las precipitaciones ocurridas en el mes de octubre no influyen en este valor y su significado entonces, no representa lo que ocurre con el agua en la cuenca durante todo el año. Por lo tanto, este resultado sólo permite generalizar la relación entre precipitaciones y caudal advirtiendo la existencia de situaciones particulares.

El año 2006 fue, en general, un año caracterizado por presentar importante sequía. El porcentaje de precipitaciones que se convierte en caudal, 4,2 %, puede considerarse en consecuencia, como referente de lo que sucede durante condiciones extremas en esta cuenca.

El coeficiente de correlación de precipitaciones y caudales mensuales indicó una tendencia a la nulidad de relación entre estos elementos durante el período considerado, excepto para el mes de octubre. Sin embargo entre las estaciones analizadas, el mayor valor es para (0,37) Coronel Suárez, significando que las precipitaciones allí son las de mayor influencia sobre el caudal.

El valor geográfico del régimen fluvial, definido como el comportamiento medio a lo largo de un año, se halla en que refleja la interrelación de diversos factores que permiten comprender su forma de alimentación (Bruniard, 1992). Dentro de la clasificación según el régimen de alimentación propuesta por Ceppi (1937), el río Sauce Chico integraría el tercer grupo, con un régimen de alimentación estival. Sin embargo, las variaciones espacio temporales de los elementos climáticos, las modificaciones y alteraciones del medio ambiente por causas naturales y antropogénicas son causas de modificaciones para esta clasificación.

Esas mismas características son la que hacen posible clasificarlo como un régimen simple de alimentación pluvial, ante la presencia de un sólo modo de alimentación preponderante. Dentro de esta forma, se corresponde con el régimen como pluvial del tipo continental "americano" (Bruniard, 1992). El mismo corresponde a una combinación entre el régimen pluvial oceánico, o ponderado del oriente americano y el continental estival del interior. El ritmo pluviométrico se caracteriza por presentar máximos al finalizar la primavera y al comenzar el otoño, estos aportes no llegan a moderar las elevadas temperaturas del verano y el río refleja este ritmo con cierto

atraso. En Argentina se encuentran al Este de la provincia del Chaco y en Corrientes (Bruniard, 1992). De acuerdo con la clasificación propuesta por Grondona (1975), el régimen se clasifica como de alimentación pluvial con doble crecida.

La disponibilidad de los datos, históricos y actuales, del río Sauce Chico es escasa para realizar un estudio profundo del caudal. Por lo tanto, sobre la información recabada y analizada de caudal del río Sauce Chico se concluye, que existen notables diferencias en los valores del escurrimiento, entre los calculados y los registrados y su régimen. No existe una correlación entre ellos durante prácticamente todo el año, por la escasa pendiente que presenta, en general, la cuenca y la importante infiltración que genera un retraso de casi un mes. Ante condiciones de copiosas precipitaciones los escurrimientos coinciden.

Esto afirma una importancia relativa de los elementos climáticos en la interpretación del comportamiento hidrológico. Las características físicas de esta cuenca con una extensa superficie de pendientes muy suaves y permeables, favorece el retardo desde fines del verano hasta el inicio de la primavera. Sin embargo, aún cuando no se comprobaron aportes por excesos, se observó una pequeña oscilación en el incremento del caudal que puede inferirse como provenientes de aportes freáticos.

En relación con esta última conclusión se destaca que los relevamientos de campo que se realizaron en la cuenca del río Sauce Chico, fueron en épocas de sequía momentos en los cuales el cauce del río siempre contó con caudal, excepto en la cuenca alta. El curso principal del río Sauce Chico es de carácter permanente desde los 350 msnm hasta su desembocadura.

El interés de proseguir con las mediciones de caudal del río Sauce Chico por su importancia como recurso fluvial de la región, ya se mencionaba en la década del '60 (Consejo Federal de Inversiones, 1962). Sin embargo, la investigación y recopilación histórica realizada demuestra que aún no se han efectuado las inversiones correspondientes que permitan contar con esta información.

## C A P Í T U L O 4

---

### HIDROGRAFÍA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL RÍO SAUCE CHICO

La disposición del sistema orográfico de Ventania actúa como dispersor del flujo que recorre la red de drenaje del río Sauce Chico, el que a lo largo de su recorrido, puede sufrir algún tipo de contaminación por fuentes de diversos orígenes (Chow *et al.*, 1994, Falkenmark, 1990). Cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico puede contaminar el agua y de su concentración dependerá la limitación o prohibición del uso del recurso, que en forma pura rara vez se encuentra en la naturaleza. En el área de estudio, la agricultura es una de las principales actividades y puede contribuir a la contaminación en cualquiera de las formas antes mencionadas, por organismos vivos, compuestos químicos y sólidos en suspensión (Kite, 1977, Sagardoy, 1993, Rickert, 1993).

Junto a la agrícola, la ganadera es otra de las actividades que se desarrollan en las cuencas alta y media, en los partidos de Saavedra y Tornquist y la horticultura en la cuenca baja, partidos de Tornquist, Villarino y Bahía Blanca. Solamente una industria, Papelera del Sur – División Cartulinas de Interpack S.A, se localiza al Norte en la cuenca media, en la intersección de las rutas nacional N° 33 y provincial N° 76, partido de Tornquist.

Como resultado de las observaciones de campo, las entrevistas realizadas y el análisis de material bibliográfico, se pudo establecer, que una de las problemáticas de tendencia creciente en la cuenca es la salinidad con concentraciones que presentan fluctuaciones estacionales. Lo mismo ocurre con contaminantes específicos como el arsénico, boro, flúor, fosfatos y nitratos. Con respecto al arsénico, es un contaminante de origen natural en la cuenca, aunque sus valores podrían incrementarse también por causas antropogénicas aún no identificadas (Fiorentino, 1999). En tal sentido, es oportuno mencionar el nombre del pueblo Chasicó, palabra de origen mapuche, cuyo significado hace referencia a “aguas malas”, “aguas duras” ó “aguas salobres o saladas”. Asimismo, los estudios estadísticos efectuados por Fiorentino (1999) afirmaron la incidencia que tienen las aguas freáticas sobre las superficiales en variar las concentraciones salinas, principalmente en períodos de sequía.

#### 4.1. Materiales y métodos para el análisis hidrogeoquímico

Por ser la cuenca baja la que recibe el mayor impacto de las actividades y procesos que se suceden aguas arriba, se decidió analizar datos actuales del contenido químico de las aguas fluviales en este sector y relacionarlos con los estudios previos realizados en el área por García y García (1964), Pucci y López (1990) y Fiorentino (1999).

La aptitud del agua para uso agrícola ganadero se estableció a través del estudio de los datos proporcionados por el Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad Nacional del Sur (Freije *et al.*, 2007) correspondientes al análisis físico-químico de muestras de agua (Fig. 4.1). Las mismas fueron obtenidas en la cuenca baja del río Sauce Chico, en un verano lluvioso (2005) y uno seco (2006). Se determinaron las concentraciones de sales, nutrientes y otros iones propios del agua. Los datos obtenidos se relacionaron con los establecidos por la ONU y con el método propuesto por U.S. Salinity Laboratory Staff (Bailarón Pérez, 2002).

Asimismo, se realizó la clasificación de las aguas por su composición química según el método de Maucha (1932) modificado por Broch y Yake (1969) (Álvarez Cobelas *et al.*, 1987; Almirón, 1989; Tracanna *et al.*, 1991; Fernández *et al.*, 2002; Vieira *et al.*, 2005; Morandé *et al.*, 2008) consistente en un polígono estrellado donde los aniones y cationes principales se expresan en porcentajes de miliequivalentes. Los datos de las cuatro muestras se graficaron en el diagrama de Schoeller (Schoeller, 1959; Almirón, 1989; Huísar-Álvarez *et al.*, 1999; Hernández y González, 2003; Auge *et al.*, 2004; Intendencia de Recursos Hídricos de Perú, 2004; Sánchez-Martos *et al.*, 2005; Saracho *et al.*, 2007). Sobre el eje de las abscisas se representaron los iones y sobre el eje de las ordenadas los iones en me/l. La ventaja de esta gráfica es mostrar las características químicas comunes de las muestras de agua y resaltar las particularidades que presenten.

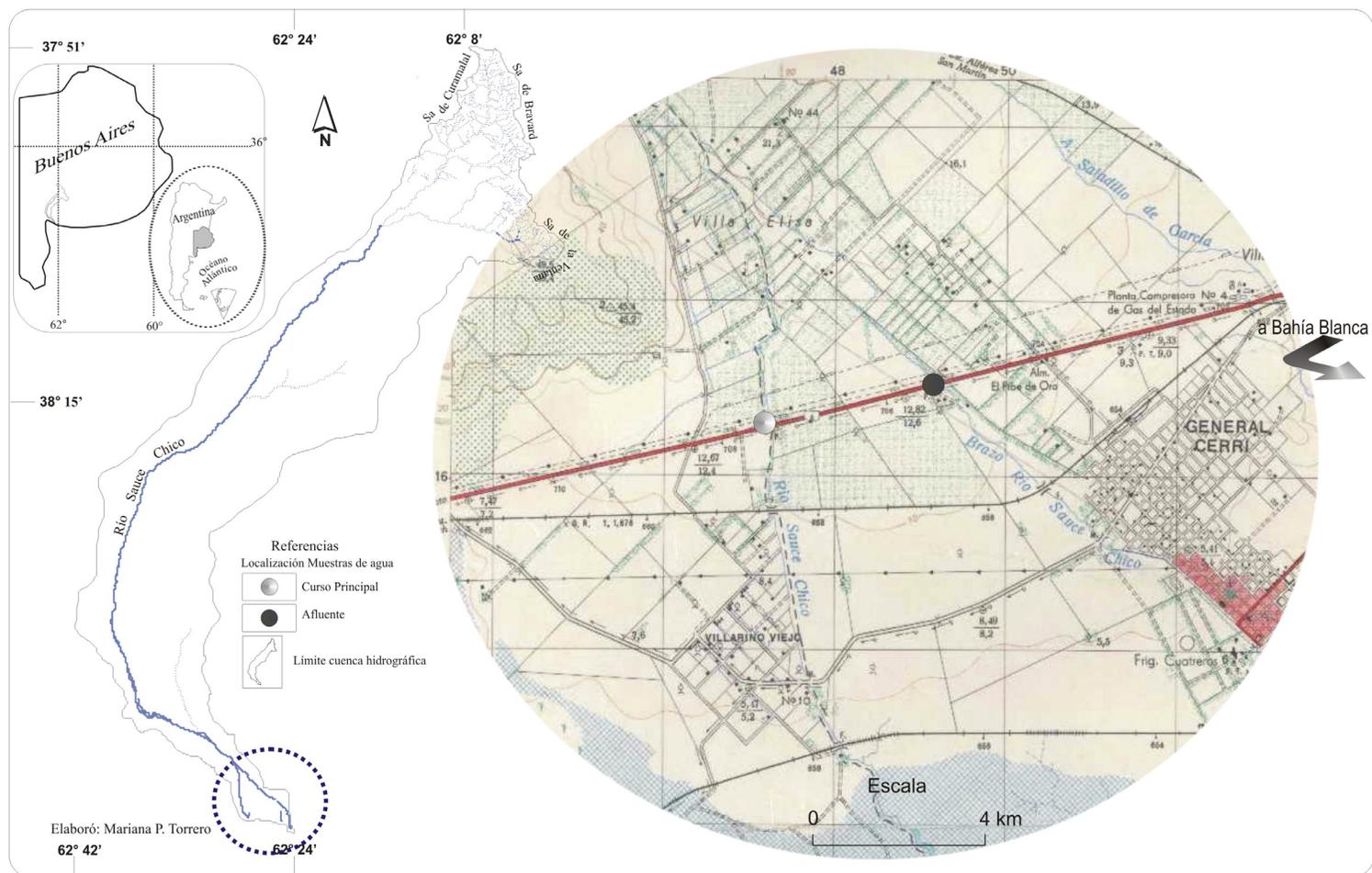


Figura 4.1. Localización de los sectores de tomas de muestras de agua. Cuenca inferior del río Sauce Chico.  
Fuente: Carta Bahía Blanca 3963-17-1 (IGM, 1969).

Se calculó la  $RAS = Na^+ / [(Ca^{++} + Mg^{++})/2]^{1/2}$  (Relación de Adsorción de Sodio) donde  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  se expresan en miliequivalentes por litro (me/l) y representan las concentraciones de los respectivos iones. La sodificación se produce por adsorción preferencial de  $Na^+$  en el suelo, manifestada en la RAS; disolución de minerales a causa de la baja salinidad del agua de lluvia o riego y por precipitación de los minerales y especies químicas disueltas (carbonato y sulfato de calcio) al superarse su producto de solubilidad. A fin de evaluar la salinidad del agua de riego y su influencia sobre las plantas se la relacionó con la concentración total de sales. La salinización se expresa como Conductividad Eléctrica (CE) en deciSiemens por metro (dS/m) y es consecuencia del aumento de la concentración de la solución del suelo debida a la disminución del agua aplicada ya sea por evaporación desde el suelo como por absorción por las plantas, generando una solución de concentración creciente y mayor que la del agua aplicada (Suero *et al.*, 2002).

La concentración salina se ve afectada por las condiciones climáticas. La humedad ambiental y la intensidad de la luz interaccionan fuertemente con la salinidad. Frente a alta intensidad lumínica y baja humedad del aire el efecto de la concentración salina es más pronunciado (Savvas, 2001). La variabilidad espacio temporal de las precipitaciones puede ocasionar importantes cambios en la calidad del recurso hídrico (Bonorino, 1989, 1991; Paoloni *et al.*, 1984; Ferrer Polo, 1990; OMM, 1986). El agua de precipitación es, en general, el componente esencial del proceso de meteorización como disolvente de las sales. Se consideró el balance hídrico de Bahía Blanca para 1991-2000 (Fig. 2.14) a fin de identificar períodos secos y húmedos; los índices hídrico, de humedad y aridez y el tipo climático (Tabla 2.3).

La aptitud del agua para riego según problemas de infiltración se determinó mediante  $CSR = (CO_3^{--} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$  (Carbonato de Sodio Residual) (Bailarón Pérez, 2002) donde los constituyentes iónicos se expresan en me/l. Se calculó la RAS ajustada [ $RAS = Na^+ / (Ca^{++} + Mg^{++})/2$ ] para la cual se utilizó el valor corregido de la concentración de calcio,  $Ca^{++}$  (Bailarón Pérez, 2002). Se calculó la proporción en el agua de los iones cloro y sodio para determinar el grado de toxicidad como factor limitante en los cultivos.

Las aguas con elevado tenor salino, así como aquellas que contienen elementos tóxicos representan un peligro para los animales y pueden afectar la calidad de la carne y leche, tornándolas inadecuadas para el consumo o pudiendo llegar a producir mortandad en el ganado con las consecuentes pérdidas económicas.

#### 4.2. Contaminación industrial de las aguas del río Sauce Chico

El trabajo de campo junto con las entrevistas a los pobladores rurales y a los estudios realizados en la cuenca (García y García, 1964; Pucci y López, 1990 y Fiorentino, 1999) demuestran que la calidad del agua del río Sauce Chico, se ve aún afectada periódicamente por el vertido de residuos industriales que disminuyen el poder autodepurable de las mismas, con efectos directos sobre la fauna y flora acuática e indirectos sobre las actividades en la cuenca. En proximidades a la industria papelera se siembran truchas, su presencia o ausencia las califica como fieles indicadores del grado de contaminación. Esta situación se genera como consecuencia del vertido de la totalidad de las aguas residuales debajo del puente de la Ruta Nacional N° 33 por la Papelera del Sur (Fig. 4.2 y 4.3). Esta industria constituye una alteración en el ecosistema que irá deteriorando en forma paulatina la calidad y restringirá su uso.



Figura 4.2. Complejo industrial Papelera del Sur.

Fuente: Vuelo aéreo mayo de 2008.

El efecto negativo de la acción de estas aguas residuales se transporta aguas abajo, siendo importantes también su impacto en el área de la localidad de Chasicó. Altos valores de conductividad eléctrica, brusco descenso del pH de épocas húmedas a secas y un repentino descenso del contenido de oxígeno disuelto, reflejo de la presencia de nutrientes como nitratos y fosfatos, cuando se produce la descarga de efluentes, como también el fuerte olor e intenso color blanco azulado, fundamentan el impacto (Pucci y López, 1990 y Fiorentino, 1999).



Figura 4.3. Vertido de desechos industriales al cauce del río Sauce Chico provenientes de Papelera del Sur.

Fuente: Fotografías suministradas por la Asociación Ambientalista Unión 20 de Agosto.

Desde 1990 a 1996 la empresa sufrió reiteradas sanciones por el Organismo Obras Sanitarias de Buenos Aires y recién en 1997 cumplió con los parámetros establecidos legalmente. Nuevamente, en el año 2006 por Resolución N° 1172/06 de la Secretaría de Política Ambiental perteneciente al Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Buenos Aires, se procedió a la Clausura Preventiva Parcial de la empresa Papelera Sur – División Cartulinas de Interpack S.A. por considerar la existencia de “grave peligro de daño inminente sobre la salud de los trabajadores, de la población o del medio ambiente”. Actualmente la empresa continúa con su actividad con los consiguientes impactos sobre el medio.

#### **4.3. Aptitud agrícola ganadera de las aguas**

Las explotaciones en las cuencas alta y media son del tipo extensivo, donde el agua para el crecimiento de los cultivos proviene de las lluvias. Sin embargo, para incrementar el rendimiento productivo y por la presencia de nuevos cultivos de alto

valor económico como es la papa, se está tendiendo a implementar, cada vez más, el riego. Esto implica el uso de altas dosis de fertilizantes.

Como consecuencia de la irrigación se plantean problemas económicos graves. El manejo inadecuado del riego puede tornar salinos a suelos que no lo eran en su origen y/o acelerar el ascenso de la capa freática cuando no se repara en el drenaje. En consecuencia, el uso aguas salinas para riego sin que medie lavado o drenaje, produce la acumulación de sales en el suelo (Bonnet, 1960) (Fig. 4.4). Para el crecimiento óptimo de los cultivos se realiza el drenaje agrícola, que consiste en profundizar la capa freática más próxima a la superficie. En períodos de sequía y entre riego y riego, las sales y el agua ascienden por acción capilar y favorece el proceso de salinización del suelo cuando esta agua llega a la zona de las raíces y se junta con el agua de riego (Campo de Ferreras, 1999).



Figura 4.4. Cultivos y manifestaciones salinas en suelos de quintas localizadas en la cuenca baja del río Sauce Chico.

Fuente: Relevamiento realizado en el invierno de 2007.

Los productores que trabajan en la zona de Nueva Roma, Alférez San Martín, Sauce Chico, Colonia La Merced y Cerri, son pequeños empresarios y agrupaciones familiares en su mayoría. El área forma parte del cinturón hortícola de la ciudad de Bahía Blanca. Producen verduras, a cielo abierto: zapallo, verduras de hoja, tomate, melón, morrón, zanahoria, etc. y cultivo de frutales de carozo como duraznero, damasco y ciruelo y de pepita, como manzano y membrillo. Participan de programas

de intervención, como son CAMBIORURAL del INTA (de la Fuente, 2007) o el PAM, Programa de Apoyo Mecanizado (Universidad Nacional del Sur y Municipalidad de Bahía Blanca).

La principal fuente de abastecimiento de agua para riego y bebida de ganado es el río Sauce Chico. Las quintas se localizan en los sectores más fértiles, próximos al curso principal, el pastoreo se realiza en las tierras menos fértiles. Los suelos del área son altamente salinos y con grandes dificultades de drenaje. Se encuentran Asociaciones, de Haplustoles típicos, fino en el fondo del valle, Ustifluents ácuicos y Salortid acuólico en las llanuras de inundación y Haplustoles énticos y líticos en los interfluvios. En fracciones menores se presentan los Entisoles sódicos (INTA-CIRN, 1989; Sánchez y Amiotti, 1991). Al aplicar agua de riego existen riesgos de salinización y/o sodificación del suelo, que deben ser considerados para mantener la sustentabilidad del sistema de producción (Suero *et al.*, 2002).

El sistema de riego utilizado por los productores hortícolas es el de gravedad o de superficie y según Vallarino (1997) en la modalidad de riego por infiltración. Actualmente existe una demanda por parte de los pobladores del sector de estudios referidos a las condiciones hídricas, por ser un recurso vital y del cual depende su desarrollo económico (Fig. 4.5).



Figura 4.5. Acequias. Sector de quintas en la cuenca baja del río Sauce Chico.

Fuente: Relevamiento realizado en el invierno de 2007.

#### **4.3.1. Calidad del agua para uso agrícola ganadero**

Las aguas subterráneas y superficiales de la cuenca, según el relevamiento hidrogeológico de 1962 son catalogadas de “buena calidad, en cantidades grandes y con elevada temperatura que la hacen aprovechable” para fines múltiples y “apta” para consumo humano (García y García, 1964). Las características químicas del agua subterránea evolucionan en forma diferente ya se encuentre circulando por los materiales, permeables muy lixiviados, en sentido Este-Oeste con aguas de baja salinidad, o por sedimentos que constituyen la planicie de inundación, material silicoclástico de granulometría más fina que aumenta la concentración salina, con dirección del flujo Norte-Sur (Bonorino, 1991).

La textura del suelo también incide en la salinidad incrementando los valores de conductividad eléctrica de 0,5 dS/m en la zona de recarga hasta 3,8 dS/m en el área de desagüe. Los valores de pH coinciden con los de la mayoría de las aguas subterráneas naturales y oscilan entre 6,5 a 8,5. La acción antropogénica también incide en el aumento de las concentraciones del ión Nitrato, superiores a 10 mg/l, principalmente en la zona de descarga, producto de la aplicación de nutrientes al suelo los que se dirigen por lixiviación a las aguas subterráneas. Los análisis efectuados por Fiorentino (1999) confirmaron la incidencia de las aguas subterráneas sobre las superficiales.

En las tablas 4.1 y 4.2 se presenta la información correspondiente a las muestras de agua representativas de verano lluvioso (2005) y verano seco (2006) y los valores referenciales de la ONU (Bailarón Pérez, 2002).

Parámetros	Verano lluvioso (06/01/2005)		Verano seco (03/01/2006)	
	Principal	Afluente	Principal	Afluente
CRS me/l	2,28	2,54	3,42	3,71
RAS me/l	8,07	6,28	17,43	17,07
CE dS/m	0,794	0,84	1,072	1,086
Ca <sup>++</sup> me/l	0,84	0,85	0,64	0,59
Mg <sup>++</sup> me/l	0,5	0,53	0,62	0,67
Na <sup>+</sup> me/l	6,61	5,21	13,82	13,52
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> me/l	3,62	3,76	4,36	4,4
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup> me/l	0	0,16	0,32	0,56
Cl <sup>-</sup> me/l	2,76	2,87	3,6	3,58
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> me/l	2,1	2,15	2,9	2,9
Σ Cationes y aniones	16,43	15,53	26,26	26,22

Tabla 4.1. Parámetros químicos de las aguas del río Sauce Chico en la cuenca baja.

Fuente: Datos suministrados por el Laboratorio de Química Ambiental. Universidad Nacional del Sur (Freije *et al.*, 2007).

Parámetros	Unidad	Valores máximos
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	me/l	0 - 15
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	0 - 3
Calcio (Ca <sup>++</sup> )	me/l	0 - 20
Magnesio (Mg <sup>++</sup> )	me/l	0 - 5
Sodio (Na <sup>+</sup> )	me/l	0 - 40
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>--</sup> )	me/l	0 - 0,1
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	me/l	0 - 10
Cloro (Cl <sup>-</sup> )	me/l	0 - 30
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )	me/l	0 - 20

Tabla 4.2. Parámetros químicos para determinar la calidad del agua.

Fuente: Valores establecidos por la ONU (Bailarón Pérez, 2002).

En el diagrama del US Salinity Laboratory Staff (Fig. 4.6) se observa la variación de la aptitud del agua según localización y época. En período seco, en el cauce principal (PSc) como en el afluente (PSa), los resultados marcaron alta salinidad (C3) y peligro medio de adsorción de sodio (S2). Por las características salinas, esta agua no puede utilizarse en suelos de drenaje deficiente y aún así se necesitarían prácticas especiales de manejo. Respecto al sodio, el agua sólo puede emplearse en suelos de textura gruesa u orgánicos de buena permeabilidad. En la época húmeda (PH) la salinidad se mantiene constante y hay una variación espacio-temporal de la RAS. Tanto en el cauce principal (PHc) como en el afluente (PHa) se presenta baja en sodio (S1) y si bien puede utilizarse en la mayoría de los suelos debe considerarse

que presentan limitaciones en cultivos sensibles. Las aguas no son aptas en períodos secos de acuerdo con la clasificación de la ONU.

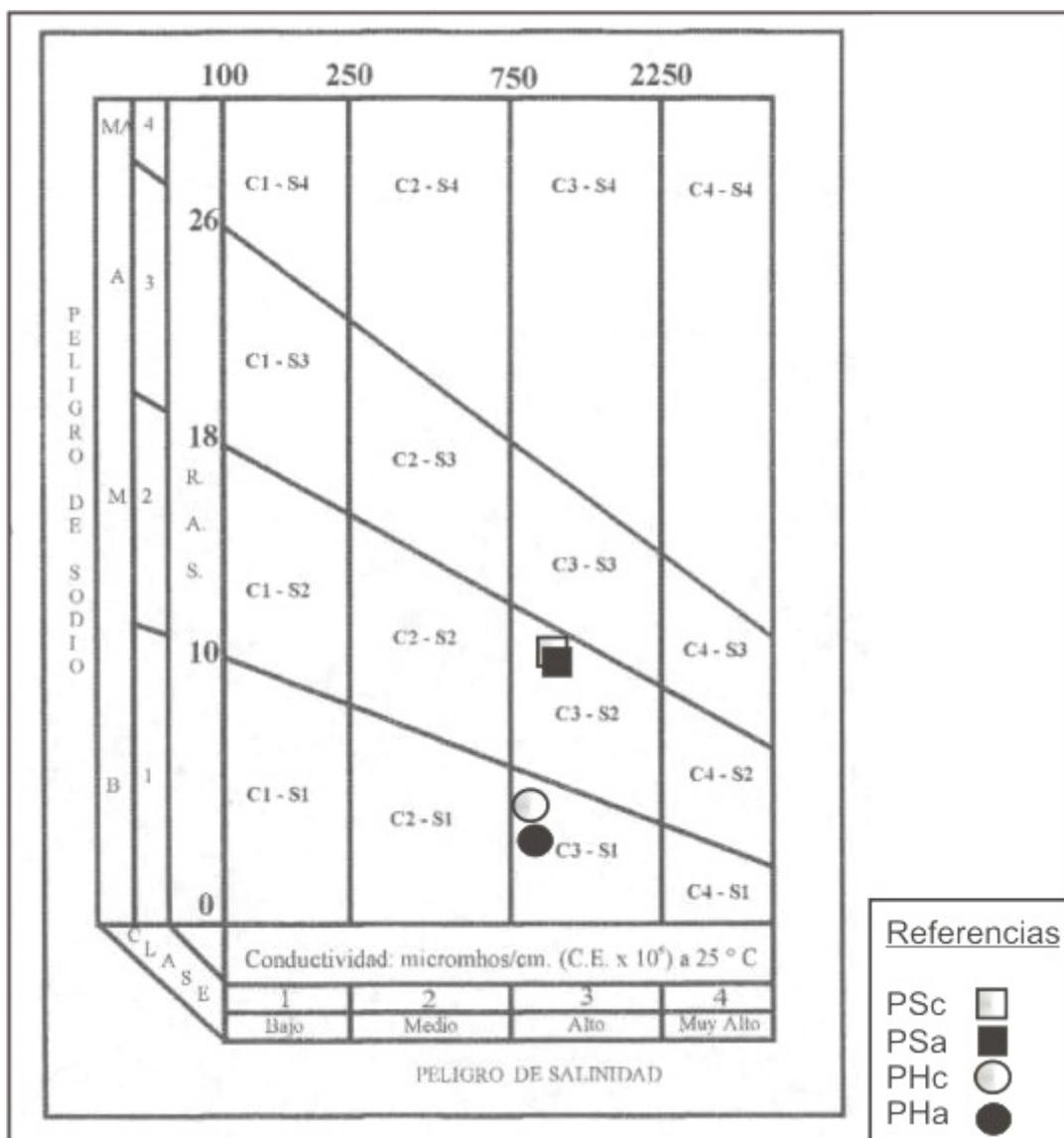


Figura 4.6. Clasificación del agua para riego en la cuenca baja del río Sauce Chico.

(P: Período; S: Seco; H: Húmedo; c: cauce principal; a: afluente)

Fuente: Elaboración propia sobre la base del diagrama del US Salinity Laboratory Staff (Bailarón Pérez, 2002).

Estas aguas presentan un alto contenido de sodio, principalmente en períodos secos y una elevada concentración salina, factores que se incrementan con las características dadas por el balance hídrico (Fig. 2.14 y 2.15). El período de extensión de la situación árida es menor en 1981-1990 (Campo de Ferreras *et al.*, 2004) que en 1991-2000 y los valores son mayores en el primero (199,03 y 135,80 mm). No se produce exceso de agua en ningún período del año condicionando directamente a la

actividad principal de la región, la agropecuaria. El índice de aridez disminuyó en el último período por un incremento de las precipitaciones sin embargo no hubo variación en la clasificación climática permaneciendo la de subhúmedo seco (Tabla 2.3). Asimismo, la alta intensidad lumínica y la baja humedad del aire hacen que la concentración salina sea más pronunciada.

Se comprobó que la proporción del cloro en el agua varía entre 2,76 y 3,6 me/l, por lo tanto, como no se excede el valor máximo admitido (Tabla 4.2) el agua es apta para riego en cuanto a la toxicidad de este ión.

En los datos graficados en la figura 4.7 se observa que las muestras presentan como característica común, mayor proporción de iones carbonatos y valores muy bajos de  $Mg^{++}$  y  $Ca^{++}$  y cercanos en cloruros y sulfatos. Se distingue también la similitud de las muestras en cada período respecto al valor de sodio, con resultados muy próximos y altos en el período seco.

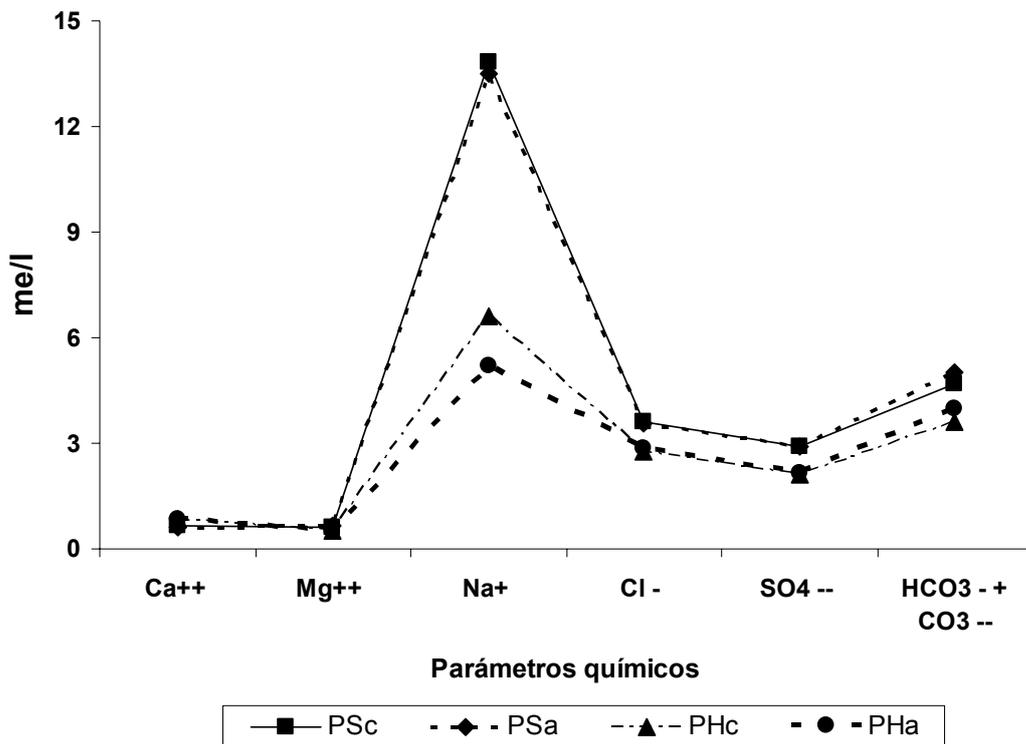


Figura 4.7. Diagrama de Schoeller. Muestras de agua obtenidas en la cuenca baja del río Sauce Chico en un Período Seco (PS) y un Período Húmedo (PH) en el cauce principal (c) y el afluente (a).

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por el Laboratorio de Química Ambiental, UNS (Freije *et al.*, 2007).

De acuerdo al análisis de la composición química para aguas naturales por el método de Maucha, se destaca que las concentraciones de sodio varían considerablemente siendo mayores en el período de sequía y que en ambas fechas el afluente presenta altos valores en carbonatos respecto del cauce principal. Sin embargo, en todos los casos, por la dominancia iónica se caracterizan como sódicas bicarbonatadas, denotando una diferencia respecto a las propiedades del año 1999 (Florentino, 1999) (Fig. 4.8 a 4.11).

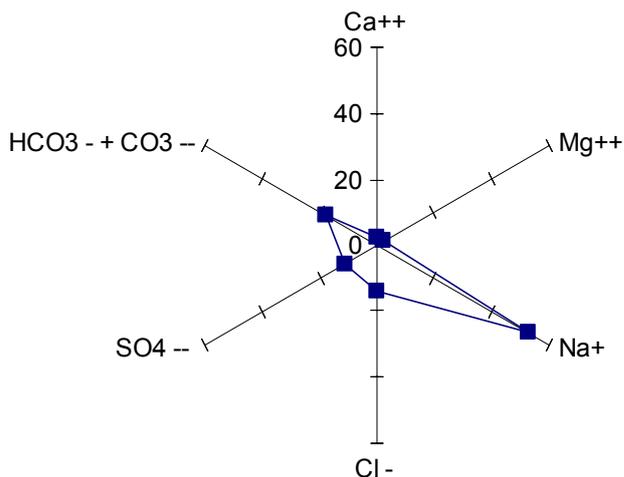


Figura 4.8. Gráfico Maucha. Muestra de agua período seco (me/l) – Cauce principal.

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por el Laboratorio de Química Ambiental, UNS (Freije *et al.*, 2007).

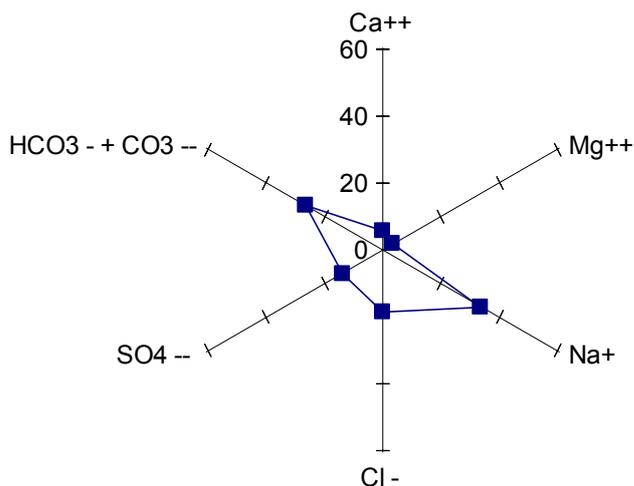


Figura 4.9. Gráfico Maucha. Muestra período seco (me/l) – Afluente.

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por el Laboratorio de Química Ambiental, UNS (Freije *et al.*, 2007).

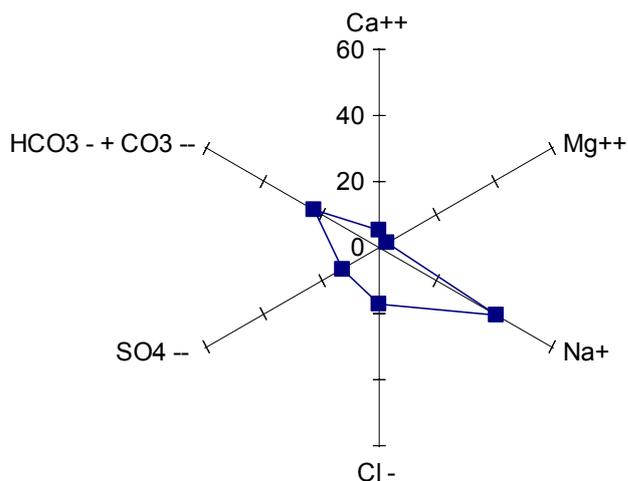


Figura 4.10. Gráfico Maucha. Muestra período húmedo (me/l) – Cauce principal.

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por el Laboratorio de Química Ambiental, UNS (Freije *et al.*, 2007).

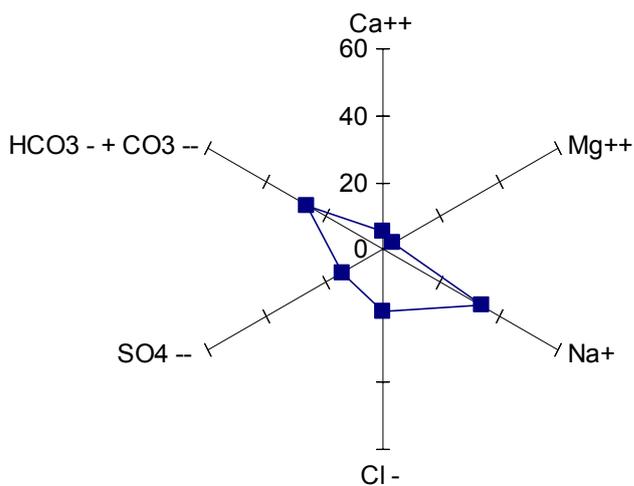


Figura 4.11. Gráfico Maucha. Muestra período húmedo (me/l) – Afluente.

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por el Laboratorio de Química Ambiental, UNS (Freije *et al.*, 2007).

#### 4.3.2. Problemas de infiltración inferidos del análisis de los datos químicos

Los resultados obtenidos para el CSR fueron mayores que cero, lo cual pone en evidencia problemas de infiltración agravados en época de sequía. Los altos

valores determinaron aguas no buenas para riego y dudosas en el período más húmedo. Asimismo, se comprobó que la relación de adsorción de sodio ajustada fue mayor que seis. Al disminuir la calidad del agua la velocidad normal de infiltración del terreno se reduce considerablemente por lo tanto ésta permanece en el terreno y el cultivo no recibe el agua necesaria. La RAS y el CSR influyen en la infiltración. El ión sodio es particularmente importante por su efecto en la estructura y permeabilidad del suelo. Alta proporción del Na sobre el Ca y Mg disminuye la velocidad de infiltración y elevadas concentraciones de sales la aumentan. Estos problemas se dan en los primeros centímetros del suelo (MMA, 1998; Bailarón Pérez, 2002).

Con respecto a la aptitud del agua para bebida del ganado, ésta es de excelente calidad según la concentración de sales totales, sulfatos y magnesio. En el caso del arsénico, boro y flúor si bien alteran la calidad del agua limitando su uso, el 75 % de las aguas es apta para el uso agrícola ganadero, presentando ciertas restricciones en el curso inferior de la cuenca (Fiorentino, 1999).

En síntesis, por la dominancia de iones, las aguas en la cabecera se caracterizan como bicarbonatadas cálcico magnésicas y en el cauce inferior de bicarbonatadas sódicas (Fiorentino, 1999) pasan en general a ser sódicas bicarbonatadas. Los suelos son altamente salinos, pobres en materia orgánica, con problemas de drenaje y alcalinidad sódica lo cual restringe su uso al pastoreo de vegetación natural. Los valores de CSR determinaron que en situación de sequía las aguas no son buenas para riego y dudosas en momentos húmedos. La velocidad normal de infiltración se reduce al disminuir la calidad del agua. Este agua presenta elevada salinidad y al ser usada para riego contribuye a que los suelos contengan mayores concentraciones de sales, incrementando su limitación. La magnitud de la acumulación de sales en el terreno depende de la calidad del agua, del sistema de riego empleado y de la eficiencia del drenaje.

El efecto del riego con aguas de alta CE es la acumulación de sales en la zona radicular, ocasionando fototoxicidad e imposibilidad de absorber agua a los cultivos, reduciendo los rendimientos potenciales. El efecto del riego con agua de alto contenido de sodio afecta la estabilidad de la estructura del suelo, produciendo encostramiento superficial. Esto causa disminución de la infiltración y anegamiento. Los cultivos más sensibles al sodio y que se encuentran en este espacio son los frutales de carozo (Savva, 2001). En cuanto a la toxicidad de los iones cloro y sodio

las aguas son aptas para riego, de excelente calidad según la concentración de sales totales, sulfatos y magnesio para bebida de ganado.

Estos resultados contribuyen a la formulación de recomendaciones para el uso agrícola ganadero que atenuarían los problemas medioambientales detectados en el área y que permitirían mantener la sustentabilidad de los recursos naturales. Los riesgos derivados del exceso o deficiencia de humedad del suelo pueden ser eliminados a través de la implementación de sistemas de riego adecuados. La importancia radica en que el productor conozca las limitaciones tanto del medio como del cultivo o ganado, para así poder crear conciencia de la necesidad de aplicar el sistema de riego óptimo que preserve la calidad y cantidad en tiempo y espacio del suelo y el agua.

## C A P Í T U L O 5

---

### EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO SAUCE CHICO

Los anegamientos en la cuenca media e inferior del río Sauce Chico, constituyen uno de los procesos hidrológicos limitantes para la práctica de actividades e instalaciones humanas. El estudio multitemporal de episodios de sequía y humedad a partir de la utilización de información satelital y la combinación de técnicas como el procesamiento digital de imágenes y los Sistemas de Información Geográfica, permite el monitoreo y la cuantificación de procesos antes, durante y después de su manifestación. Los resultados contribuyen al proceso de toma de decisiones y constituyen una herramienta imprescindible para mitigar los impactos sobre el ambiente y las actividades antropogénicas. Los objetivos que guían este capítulo son analizar el índice de vulnerabilidad hídrica y la utilización de sus aguas por sectores, determinar áreas con posibles problemas de drenaje deficiente y procesos de erosión hídrica, conocer el grado de cobertura y tipo de vegetación presente y establecer la relación que existe entre la presencia del río y el uso del suelo.

El análisis de los elementos climáticos permitió detectar oscilaciones espacio-temporales y la relación que éstas tenían con las variaciones de la disponibilidad hídrica de la cuenca. El estudio previo de estos aspectos contribuyó al reconocimiento de los factores que favorecen el proceso de desertificación y que influyen en los usos del suelo y en la organización del espacio natural.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo y Medio Ambiente (PNUD, 1992) y el Convenio Internacional de Lucha contra la Desertificación (PNUD, 1994) definen a la desertificación como un proceso que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales del planeta. El contexto específico de condiciones climáticas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado de variaciones climáticas y actuaciones humanas adversas, favorecen el desarrollo de este proceso.

La desertificación implica el empobrecimiento y degradación de los geoecosistemas terrestres por sobreexplotación, uso y gestión inapropiados en

territorios fragilizados por las sequías y la aridez. El hombre es quien crea condiciones propicias a la desertificación de los paisajes; el clima más o menos árido, la recurrencia de sequías, son aspectos que favorecen la aparición, desarrollo y expansión de este proceso (López Bermúdez, 1995, 1997, 1999).

### **5.1. La situación ambiental en la cuenca del río Sauce Chico**

Los pequeños y medianos productores agrícola-ganaderos de la cuenca del río Sauce Chico deben enfrentar dos problemáticas diferentes ante períodos de déficit o exceso hídrico y que, en ambos casos, limitan el uso del suelo. El sector productivo es el más vulnerable a los cambios hidroclimáticos. En períodos de escasas precipitaciones, cuando no superan los 500 mm anuales (Bruniard, 1996) es posible realizar una agricultura bajo riego, comprometiendo la cantidad y calidad del recurso fluvial. Cuando las precipitaciones no logran cubrir los requisitos del uso consuntivo de los cultivos limitan el rendimiento y la respuesta a la fertilización. La situación es resuelta generalmente, a través de la implementación de sistemas de riego. Si las condiciones de déficit persisten y no se toman medidas adecuadas en el uso de los recursos, se incrementa la potencial manifestación del proceso de desertificación.

Los distintos tipos de cobertura afectan de manera diferencial el contenido de agua en el suelo, el uso consuntivo y los procesos de anegamiento y erosión (Quiroga *et al.*, 1996). En los primeros casos, las soluciones para disminuir las consecuencias requieren inversiones importantes y muchas veces no se encuentran a disposición de los afectados. Cuando las lluvias son constantes e intensas, la situación es más grave y de más difícil solución en los dos últimos casos. Sin embargo, algunos de los productores encuentran alternativas de solución, éstas dependen de las características del área donde se produzca erosión hídrica y de las posibilidades económicas que dispongan.

El desconocimiento del funcionamiento y características de la cuenca contribuyen a que, ante situaciones adversas, el sector agropecuario no adopte las medidas adecuadas y disminuya o pierda la posibilidad del uso sustentable del recurso y disfrute de los espacios productivos. En tal sentido, el análisis realizado de un período seco y uno húmedo, ayuda a comprender el funcionamiento del sistema y a la toma de decisiones y la implementación de políticas de apoyo al sector.

## 5.2. Materiales y métodos para el análisis ambiental

Para la delimitación de áreas con grados de erosión hídrica se combinaron los mapas hipsométrico y de pendientes (Fig. 1.3 y 1.11) a partir de los cuales se obtuvo el mapa de erosión hídrica. Con el análisis de las imágenes satelitales, el mapa de erosión y la observación en el terreno, se determinaron áreas activas e inactivas de erosión hídrica.

Se aplicó el Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH) de Gaviño Novillo y Sarandón (2000). Este índice mide el grado de susceptibilidad o vulnerabilidad de los recursos hídricos superficiales en función de la densidad de drenaje y pendiente media de la cuenca. Debido a que en el área de estudio las diferencias entre valores son muy sutiles fue necesario modificar el índice y adaptar la clasificación final al área considerando, de baja densidad a todos aquellos valores menores a 0,4; de 0,4 a 1 de densidad media y alta a los mayores a 1. Altos valores indican mayor susceptibilidad del área a sufrir alteraciones de la red de drenaje o contaminación, como consecuencia de intervenciones antropogénicas. De la combinación entre la clase de pendiente y la densidad de drenaje surge el valor del IVH. Para ello se consideraron las subcuencas del río Sauce Chico con sus respectivos valores de pendiente media y densidad de drenaje.

Se utilizaron cuatro imágenes del satélite Landsat 7, sensor TM 227-86 y 227-87, dos de fecha 2 de agosto de 2002 y dos correspondientes al 22 de noviembre de 2002. Las imágenes fueron cedidas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Se realizó un análisis digital con el programa PCI 6.2 y además se interpretaron visualmente. Las imágenes fueron corregidas geométricamente sobre la base de coordenadas planas de Gauss Krüger. El modelo matemático que se aplicó para la corrección es el polinomial de tercer grado denominado *convolución cúbica*. Se marcaron 25 y 37 puntos de control para las imágenes de agosto y noviembre con un error medio cuadrático de 0,49 para las primeras y de 0,27 para las segundas. Se construyeron 2 mosaicos a partir de los datos de georreferenciación. Se efectuó un análisis multitemporal para detectar: variaciones espaciales en los usos del suelo, procesos de anegamiento y cambios en el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado, NDVI.

Se obtuvo una composición en falso color compuesto (FCC) integrado por las bandas (R, G, B): 4, 3, 2; se delimitaron regiones de interés y se aplicó una

clasificación supervisada denominada Distancia de Mahalanobis a fin de clasificar los usos del suelo. Ante la dificultad de distinguir por valores de radiancia los píxeles pertenecientes a agua en la composición de FCC por su similitud con las áreas de sombras de sierras, se procedió a realizar el análisis por componentes principales con las bandas (R, G, B): 7,1 y 5. Visualmente se obtuvo un notable contraste entre coberturas sin embargo, los resultados digitales no fueron los deseados por lo cual se decidió realizar la delimitación de las áreas anegadas en forma manual.

Se construyó el NDVI para el invierno (agosto) y primavera (noviembre) del período de análisis. Este índice, basado en el particular comportamiento radiométrico de la vegetación, representa la cantidad y el vigor de la misma (actividad fotosintética), datos fundamentales para el análisis del impacto del agua sobre la cuenca. Los valores van de -1 a 1, cuanto mayor sea el resultado obtenido, mayor será el vigor vegetal que presente la zona analizada. Las series temporales de NDVI, muestran la tendencia del desarrollo de la vegetación natural y de los cultivos. La fórmula aplicada por este índice es (Chuvieco, 1996):

$$NDVI_{ij} = \frac{(ND_{ij,IR} - ND_{ij,R})}{(ND_{ij,IR} + ND_{ij,R})}$$

Donde:

$NDVI_{ij}$ : El índice de vegetación de diferencia normalizada para la línea i y la columna j.

$ND_{ij,IR}$ : El nivel digital de la línea i y la columna j en la banda infrarroja

$ND_{ij,R}$ : El nivel digital de la línea i y la columna j en la banda roja.

Los datos se procesaron con la combinación de los programas ArcView 3.2 e Idrisi Kilimanyaro. La información obtenida fue corroborada a partir de la observación directa en el terreno. El esquema metodológico se presenta en la figura 5.1.



### **5.3. Erosión y vulnerabilidad hídrica**

#### **5.3.1. Erosión hídrica**

Los factores que contribuyen a la erosión hídrica son: la composición litológica aflorante (ortocuarcitas, esquistos y pizarras) que favorecen la presencia de numerosas diaclasas; las características edáficas, la ausencia de cobertura vegetal y el grado de inclinación y la orientación de las pendientes. Estas últimas particularidades del relieve, imponen límites en el uso del suelo y en las prácticas agrícolas por medio de sus efectos tanto en la erosión como en las técnicas de cultivo (López, 1979).

Del análisis de las imágenes satelitales y la observación directa en el terreno se detectaron áreas activas e inactivas de erosión hídrica. La presencia de cárcavas como consecuencia de la pérdida de suelo por desprendimiento provocado por el flujo de agua, es mayor en las zonas más escarpadas y con suelo al descubierto, evidenciando el desarrollo de este proceso. Las áreas que presentan roca aflorante del tipo cuarcita, por su resistencia a la erosión, son menos susceptibles a ser degradadas. Los agricultores crean barreras naturales para la formación de diques. El objetivo de su emplazamiento es para el almacenar agua y a la vez, reducir los efectos erosivos (Fig. 5.2). En las cuencas media y baja la presencia de vegetación evidencia la estabilidad del proceso erosivo. En muchos casos, las mismas áreas que en momentos más húmedos se encuentran inactivas por la presencia de vegetación, en períodos de sequía se reactivan incrementando la erosión (Fig. 5.3). Sin embargo, el proceso encuentra condiciones propicias para su desarrollo en estos sectores, por los excesos de precipitaciones y el contenido franco arcilloso y franco limoso a limo arcilloso de los suelos que favorecen la aparición de estos canales superficiales (Morgan y Kirkby, 1994; INTA, 1995; Munguía, 2003; Pedraza Gilsanz, 1996).

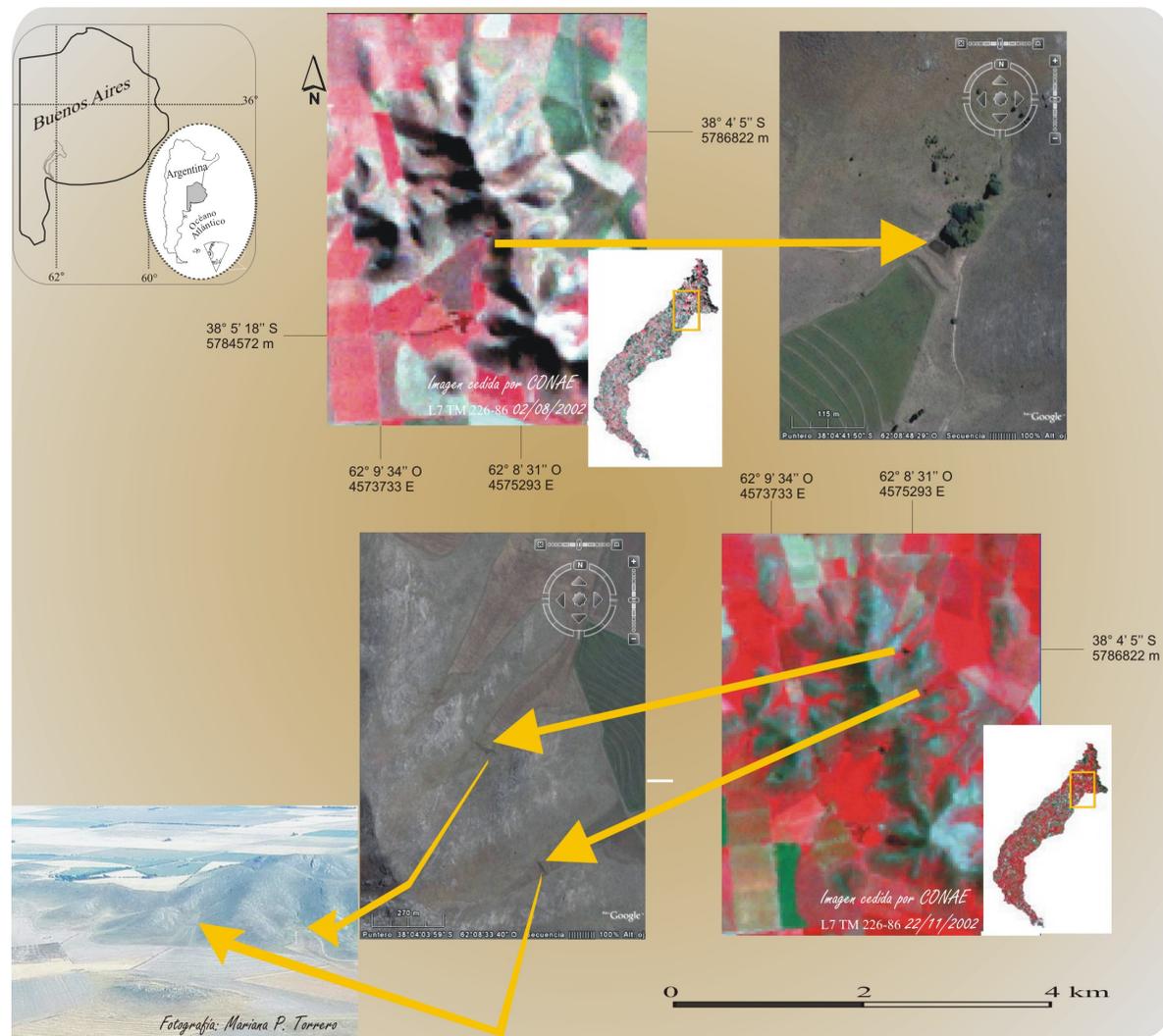


Figura 5.2. Barreras - diques en cárcavas.

Fuente: Elaboración propia sobre la base del relevamiento aéreo de mayo de 2008 e imágenes satelitales (CONAE y Google Earth).

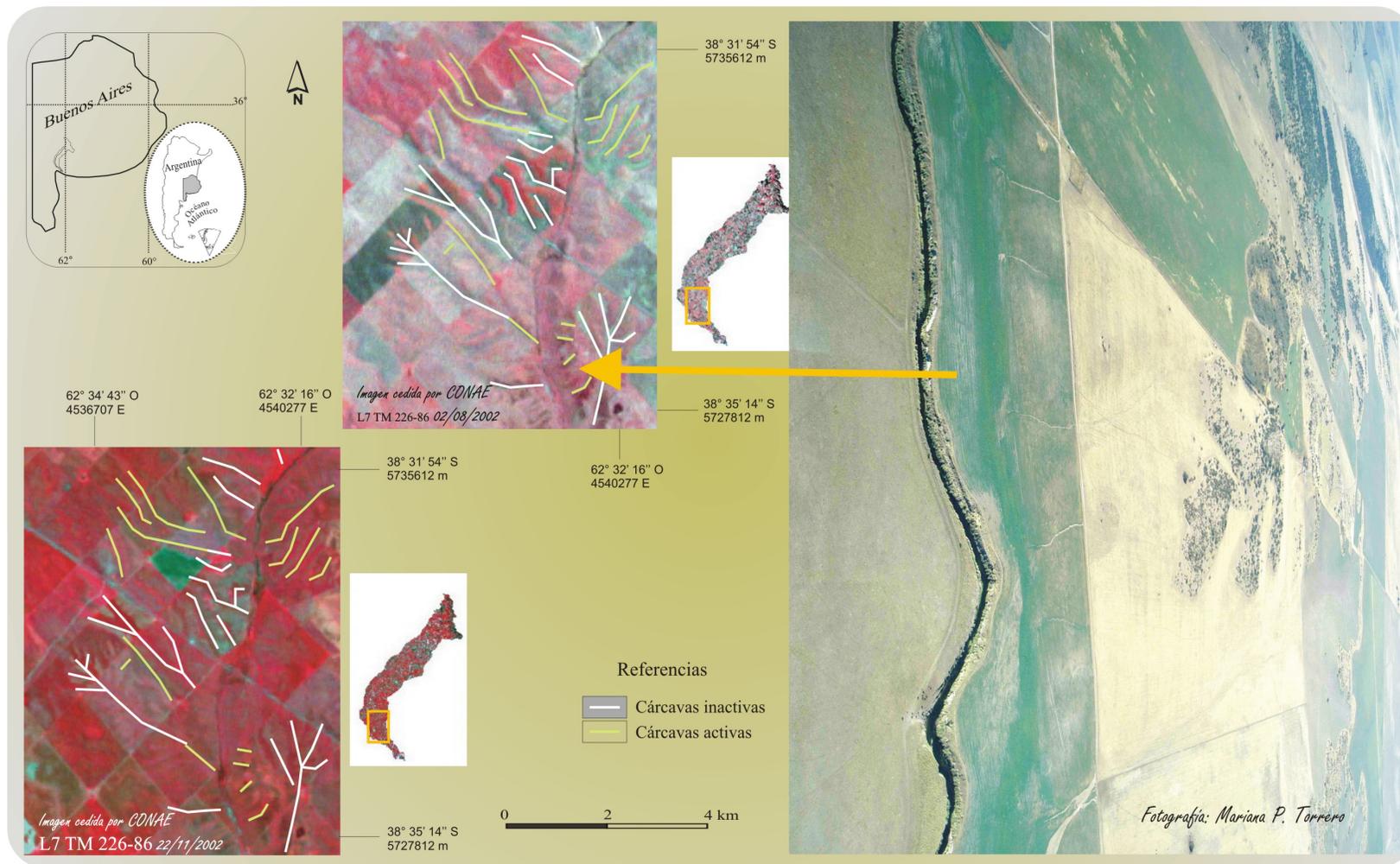


Figura 5.3. Cárcavas activas e inactivas.

Fuente: Elaboración propia sobre la base del relevamiento aéreo de mayo de 2008 e imágenes satelitales (CONAE y Google Earth).

En el mapa de pendientes (Fig. 1.11) se observa una acentuada diferencia de gradientes. Las fuertes inclinaciones favorecen al escurrimiento superficial generando vías de escurrimiento de carácter torrencial (Carrica, 1998) y la profundización del valle. Estas características le otorgan alta capacidad y competencia al curso de agua incrementando el proceso de erosión fluvial. La gran amplitud y energía del relieve positivo de Ventania con valores de inclinación que superan el 8 %, al Noroeste, Norte y Noreste, contrastan con la baja amplitud y energía de la extensa llanura que se extiende a partir de los 350 m de altitud, donde los gradientes son menores al 2 %. El grado de inclinación de las pendientes occidentales es mayor respecto a las orientales como consecuencia de las características estructurales. La evidencia de cierto paralelismo en los cursos de 1º y 2º orden asociado a fallas tectónicas, favorece el proceso de erosión hídrica. La degradación es mayor en las últimas por su orientación respecto al sol (Torrero y Campo, 2008). Asimismo, zonas planas se localizan en los interfluvios del área serrana, éstas en conjunto representan aproximadamente el 64 % de la cuenca. El alto coeficiente de almacenamiento (6,4) indica un alto grado de erosión hídrica.

La presencia de barrancos, con pendientes mayores al 5 %, a lo largo de todo el cauce y hasta el ingreso a la cuenca baja, marca un rasgo distintivo del río Sauce Chico con respecto al resto de los ríos de llanuras. Estas áreas representan un 13 % de toda la superficie. La disposición sinuosa (Fig. 5.4), con encajonamiento de meandros, es indicio de reactivación erosiva, que se atribuye a un aumento del gradiente, producto del descenso del nivel del mar durante la última glaciación y el consecuente ascenso del área continental por compensación isostática. Esto provoca un rejuvenecimiento de la cuenca a pesar de que el análisis hipsométrico evidencia una etapa intermedia entre la fase de madurez y de juventud, evolucionando hacia la etapa de madurez (Kostadinoff *et al.*, 1981; Torrero y Campo, 2008).

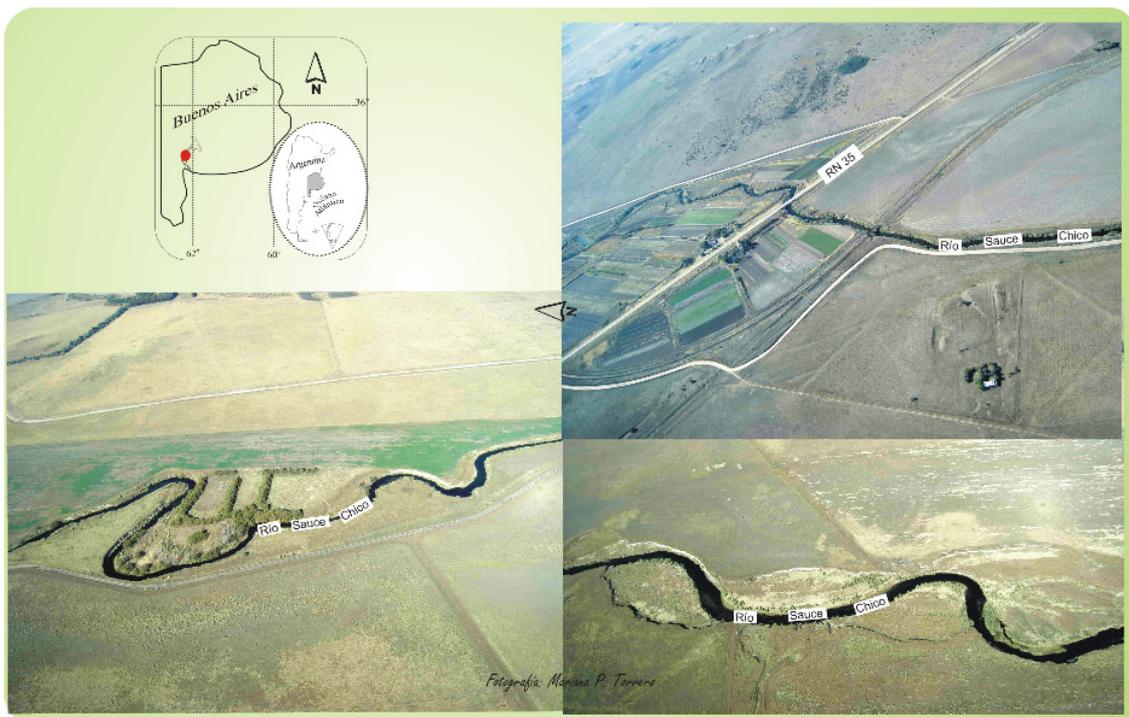


Figura 5.4. Meandros del río Sauce Chico.

Fuente: Vuelo aéreo sobre la cuenca, mayo de 2008.

El mapa de erosión hídrica (Tabla 5.1, Fig. 5.5) muestra la mayor concentración en la zona de nacientes de las áreas susceptibles de erosión hídrica alta y muy alta y en menor medida, a lo largo del curso del río hasta aproximadamente los 60 msnm. Al Sur de la cuenca media y ocupando un área importante de la cuenca baja se encuentran las áreas que presentan condiciones más resistentes a este tipo de erosión. Las áreas más extensas, que corresponden a aquellas con erosión baja y moderada se localizan en mayor proporción en la cuenca media.

Hipsometría (m)		0 - 100	100 - 250	250 - 450	450 - 700	700 - 1200
		Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Pendiente (%)	< 1	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
	1 - 2	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto	
	2 - 5	Moderado	Alto	Muy alto		
	5 - 8	Alto	Muy alto			
	> 8	Muy alto				

Tabla 5.1. Erosión hídrica en la cuenca del río Sauce Chico.

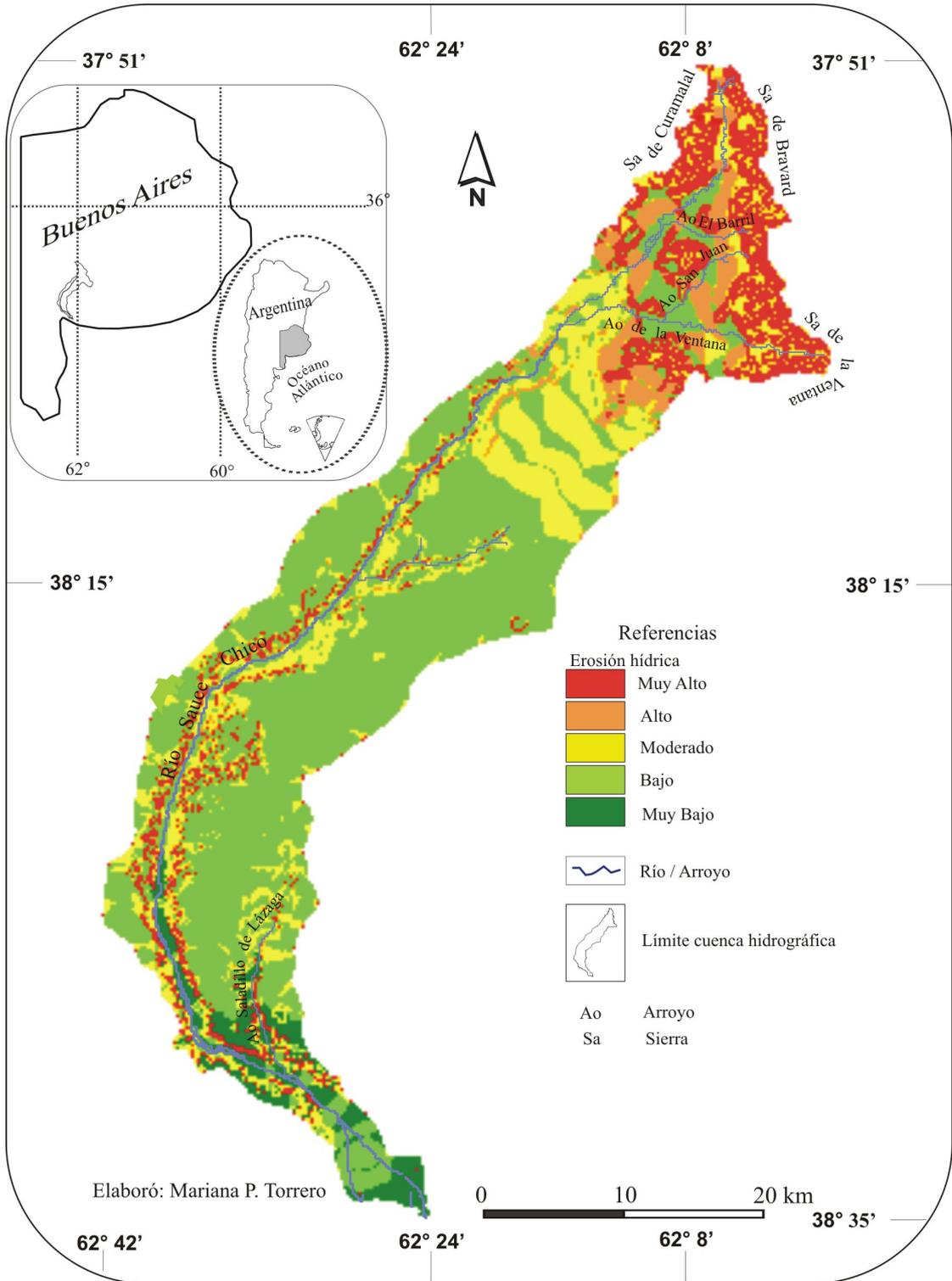


Figura 5.5. Cuenca del río Sauce Chico. Mapa de erosión hídrica.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2. Índice de Vulnerabilidad Hídrica – IVH

En la cuenca del río Sauce Chico se identificaron cuatro áreas con diferente grado de vulnerabilidad hídrica (Tabla 5.4, Fig. 5.6) en función de la combinación de los datos de pendientes medias (Fig. 1.4) y densidad de drenaje (Fig. 1.8) de las subcuencas delimitadas (Fig. 1.1). La Dd es una propiedad fundamental de análisis en las cuencas porque indica el estado erosivo y controla la eficiencia del drenaje (Jones, 1997; Senciales González, 1999). El área de mayor Dd, donde la escorrentía recorre rápidamente la superficie, coincide con la de mayor pendiente media y por lo tanto, disminuye el tiempo de concentración y se incrementa el pico de crecida por la menor infiltración. Las cuencas media y baja, caracterizadas por la escasa pendiente y la baja Dd, a las que se les suman los usos agrícolas, aumentan el tiempo de concentración y atenúan el caudal pico.

El análisis del mapa del IVH permitió observar que el área más vulnerable ocupa un 61 % de la cuenca y se extiende desde los 350 m hasta la desembocadura, con excepción de dos subcuencas que se desarrollan entre estas alturas. Por sus características hidrográficas y por presentar el mayor impacto antropogénico, el extremo Sur de la cuenca es, dentro de esta área, la más frágil (Torrero y Campo, 2008).

Subcuencas	Densidad de drenaje	Pendiente	IVH
1	Media	Media	Medio
2	Alta	Alta	Bajo
3	Baja	Media	Alto
4	Baja	Media	Alto
5	Baja	Baja	Muy alto

Tabla 5.4. Índice de Vulnerabilidad Hídrica para la cuenca del río Sauce Chico.

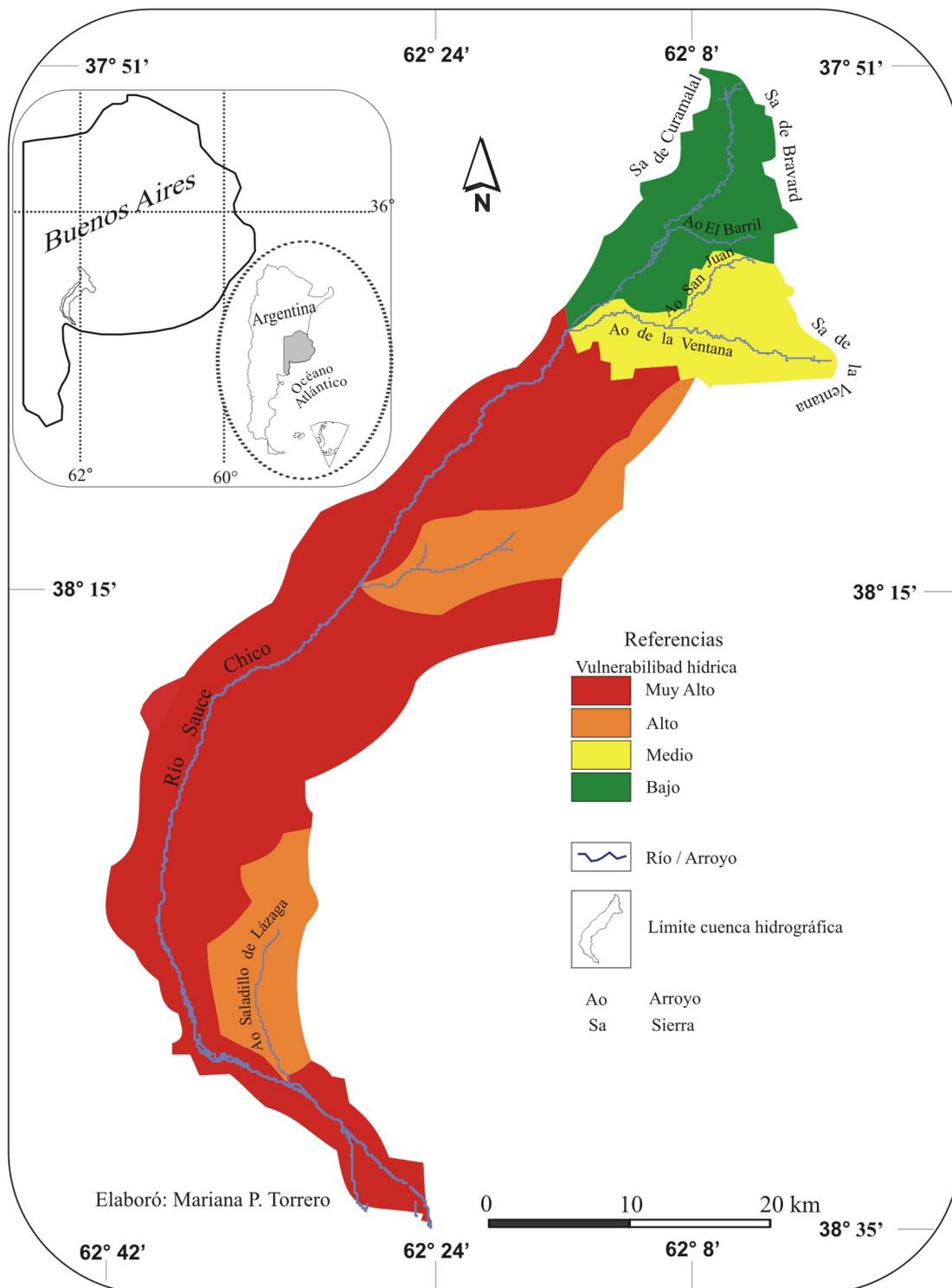


Figura 5.6. Cuenca del río Sauce Chico. Índice de Vulnerabilidad Hídrica.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.4. Análisis multitemporal

### 5.4.1. Anegamiento e inundaciones

El anegamiento es la acumulación superficial de agua producto de la intensidad de las precipitaciones cuando se supera la capacidad de infiltración. Este proceso se relaciona con la poca inclinación topográfica de la llanura que provoca el lento movimiento del agua por la pendiente local hacia depresiones naturales, lo que motiva dos concentraciones relativamente dispersas en la cuenca media (Lat. Sur: 38° 15', Long. Oeste: 62° 24'). Los cuerpos lagunares se manifiestan con una lámina de espesor pequeño que se caracteriza por presentar un lento movimiento horizontal y una gran permanencia. El proceso finaliza cuando el agua se evapora o infiltra por movimientos verticales (Fuschini Mejía, 1994). A partir del análisis visual y la combinación de las imágenes satelitales se detectaron y calcularon las superficies que se encuentran anegadas en forma permanente y estacionaria (Tabla 5.5, Fig. 5.7).

Áreas lacustres/anegadas (km <sup>2</sup> )	Agosto	Noviembre	Permanente
	1,49	4,32	1,37

Tabla 5.5. Áreas lacustres/anegamientos en períodos de escasas (agosto) y copiosas (noviembre) precipitaciones en la cuenca del río Sauce Chico.

Durante el período de escasas y/o nulas precipitaciones sólo se encuentra acumulación de agua en una superficie de 1,5 km<sup>2</sup> distribuidos en sectores distantes dentro de las cuencas media y baja. Cuando las lluvias superan la capacidad de infiltración, el área anegada aumenta a 4,3 km<sup>2</sup> y se localiza principalmente sobre la margen izquierda del río, en la cuenca media, entre los 190 m y 280 m de altitud sobre suelos Haplustoles y Argiudoles típicos. En este caso, la escasa pendiente modifica las características propias de los suelos Haplustoles que se destacan por estar relativamente libres de los problemas de saturación con agua e hidromorfismo (Tabla 5.5). El sector anegado incluye a casi todas las áreas que presentan agua en momentos de sequía las cuales aumentan su superficie en períodos húmedos. Unas pocas áreas afectadas se presentan aisladas más allá de estos límites. Hacia el extremo Norte la disminución del anegamiento se relaciona con el aumento del gradiente topográfico y la presencia de afloramientos rocosos.

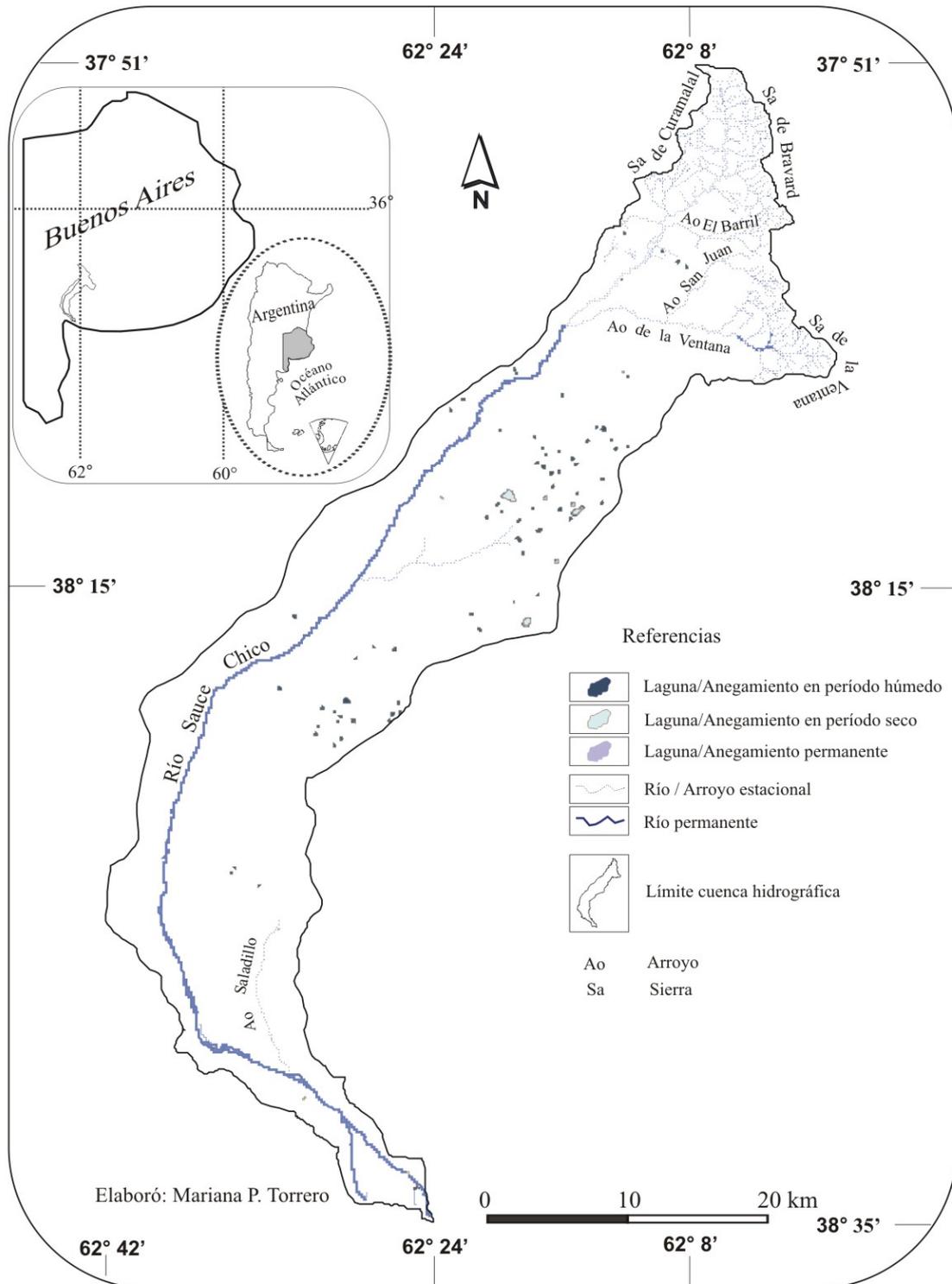


Figura 5.7. Cuenca del río Sauce Chico. Lagunas y anegamiento.

Fuente: Elaboración propia sobre la base del análisis de imágenes satelitales.

En el sector Sur, en la cuenca baja, no se observan sectores anegados a pesar de la escasa pendiente y de los suelos Ustifluent ácuico y Salortid acuólico (INTA, 1995), excepto una pequeña superficie de 0,033 km<sup>2</sup> que sólo presenta agua en el período de sequía. Lo mismo ocurre en el centro de la cuenca con un área menor a 0,028 km<sup>2</sup>. La superficie con agua permanente es de 1,4 km<sup>2</sup>.

Es de destacar que los terrenos clasificados con erosión moderada, en períodos de intensas precipitaciones, sufren problemas de anegamiento. A pesar del alto coeficiente de almacenamiento, el cauce del río, aún en períodos de sequía, en el sector que se extiende por debajo de los 350 m permanece con caudal, evidencia de una importante alimentación freática. Esta situación incrementa la aparición de áreas anegadas en períodos de intensas precipitaciones.

Respecto a las inundaciones, producto del desborde de ríos y arroyos, no se detectaron situaciones problemáticas relevantes a pesar de las condiciones del medio. Pero sí se identificaron tres pequeñas áreas afectadas. Una localizada a los 340 m, en el límite entre el piedemonte y la llanura, otra a los 240 m, en las nacientes de uno de los arroyos temporarios. La tercera es la de mayor superficie y se localiza en proximidades de la desembocadura en terrenos correspondientes a la planicie intermareal funcional (Torrero y Campo, 2008). En esta zona se combinan la escasa pendiente y las características de los suelos, constituidos por arenas finas y limo arcillosos consolidados, en parte salinos condiciones que favorecen los procesos de erosión hídrica continental. En conjunto, estos tres espacios ocupan una superficie de 0,1 km<sup>2</sup>.

#### **5.4.2. El rol de la cobertura vegetal, los usos del suelo y el NDVI**

El índice de vegetación está estrechamente relacionado con el tipo de vegetación y con las condiciones climáticas, así como con el patrón predominante de uso de las tierras. En el análisis de la cobertura vegetal se deben considerar la altura, densidad y continuidad de la cobertura del suelo, la respuesta de la vegetación según las condiciones del medio y las modificaciones antropogénicas. Las cubiertas vegetales tienen un efecto diferente según se encuentren en forma densa y uniformemente distribuidas, al reducir los procesos de erosión por disipar la energía del agua en movimiento aportando rugosidad al flujo o se encuentren en grupos dispersos (Quiroga *et al.*, 1996; Munguía, 2003).

La vegetación natural en la cuenca, se manifiesta por un escaso tapiz vegetal de estepa xerófila donde alternan arbustos de bajo porte y pastos duros. La vegetación arbustiva es típica de las condiciones semiáridas cuando los suelos son secos (Galizzi *et al.*, 1998). Los pastizales son del tipo estepa gramínea. En proximidades al arroyo Saladillo de Lázaga la vegetación refleja la relación salinidad-paisaje. Se desarrolla un arbustal con gramíneas aisladas, pastizal con predominio de gramíneas intermedias y bajas y una pradera halófila. En la zona de las lomadas suaves la vegetación está constituida por hierbas perennes xerófilas; predominan las especies del género *Stipa*, como *S. brachychaeta*, *S. dusenii*; *S. trichotoma* y otras. Entre estas matas prosperan plantas invasoras como *Salpichroa organifolia*, *Medicago hispida*, *Trifolium repens*. La vegetación arbustiva está representada por *Berberis ruscifolia*.

Sobre los cursos de agua la vegetación es más higrófila, representada en la zona de torrentes y manantiales por *Cortadera dioica*, *Senecio bonariensis*, *Melica macra*, etc. Sobre las laderas de las sierras, la vegetación se empobrece y como consecuencia de la presencia de afloramientos rocosos se circunscribe en manchones aislados. En las laderas altas predominan las gramíneas como la *Melica brasiliana* y la *Stipa neesiana* y en las partes bajas las mismas se asocian con *Piptochaetium napostaense*. En la cima de los cerros la vegetación es muy pobre y de porte bajo, un ejemplo es el *Plantago bismarckii* (Bruno *et al.*, 1999).

Los distintos usos afectan de diferente manera el contenido de agua del suelo, el uso consuntivo y las pérdidas del suelo por erosión. En los suelos agrícolas, la capacidad de retención del agua varía estacionalmente, en función del tiempo transcurrido y del cultivo implantado. El principal factor limitante en la producción de cultivos es el agua y la temperatura también cumple un rol importante. El prolongado período de escasas precipitaciones es uno de los peligros a los que deben enfrentarse los productores agropecuarios. En el sector centro y Norte de la cuenca media y en la cuenca alta, bajo sistemas agrícolas de secano, es necesario optimizar el uso y manejo racional de este recurso a través del uso eficiente del agua pluvial; en el resto del área de estudio, de agricultura de regadío, por medio del reordenamiento hídrico (Senigagliaesi y Zeljkovich, 1989; Gil, 1997; Morgan, 1997; Luque y Paoloni, 2005).

Los cultivos agrícolas característicos en la cuenca son avena, trigo y maíz y se realizan mediante la aplicación de técnicas de manejo del suelo en fajas y curvas de nivel tendientes a la conservación y reducción de la erosión hídrica. Asimismo, es común la implementación del laboreo a favor de la pendiente, práctica que favorece la

erosión hídrica con la consiguiente formación de surcos o cárcavas. Los campos que lindan con los cursos de agua, generalmente no protegen las márgenes, por lo cual se genera erosión lateral cuando se desencadenan avenidas producto de intensas lluvias. En la cuenca alta, el uso dentro del sector serrano es exclusivamente pecuario y agropecuario en los valles. Los tipos de explotaciones y cultivos que se desarrollan en la cuenca baja y al Sur de la cuenca media son de tipo hortícola, frutales, cereales de grano grueso y fino, pasturas introducidas y mixtas.

El período de barbecho tiene lugar entre cultivos de verano (marzo-octubre). Las gramíneas invernales como el centeno o la avena son sembradas luego de la cosecha del maíz. El centeno es muy usado por su gran resistencia al frío y tolerancia a la sequía, además de que produce abundante volumen de residuo que se descompone más lentamente que otras gramíneas de invierno. La rotación usual en este espacio es trigo-maíz. El mes de octubre es un período crítico para el trigo que es gramínea de verano, por la estrecha relación del rendimiento con el uso consuntivo y con el agua útil (Quiroga y Paccapelo, 1990). Este momento coincide con el desarrollo de los órganos florales, por lo tanto, la baja disponibilidad de agua en el suelo puede afectar la formación de polen, reduciendo el número de grano. Sobre los suelos Haplustoles se desarrollan principalmente cultivos de trigo y cría de ganado vacuno. En consecuencia, parte de los suelos se destinan a pasturas de alfalfa, verdeos de verano (sorgo) y pasto llorón.

Para la clasificación digital de los usos del suelo se obtuvo una confiabilidad del 96 %. Dentro del área considerada como urbana se incluye el sector de salinas, próximo a la localidad de General Daniel Cerri, la igual reflectividad de los píxeles impidió separar ambas zonas (Fig. 5.8 y 5.9). En la imagen del mes de noviembre se observa un incremento de las áreas con vegetación vigorosa, esto se debe a que las precipitaciones se sucedieron en el preciso momento en que los cereales la requerían para su desarrollo. También se aprecia una notable disminución de las parcelas de suelo al descubierto y un reemplazo de los suelos arados (en agosto) por pasturas y vegetación en crecimiento.

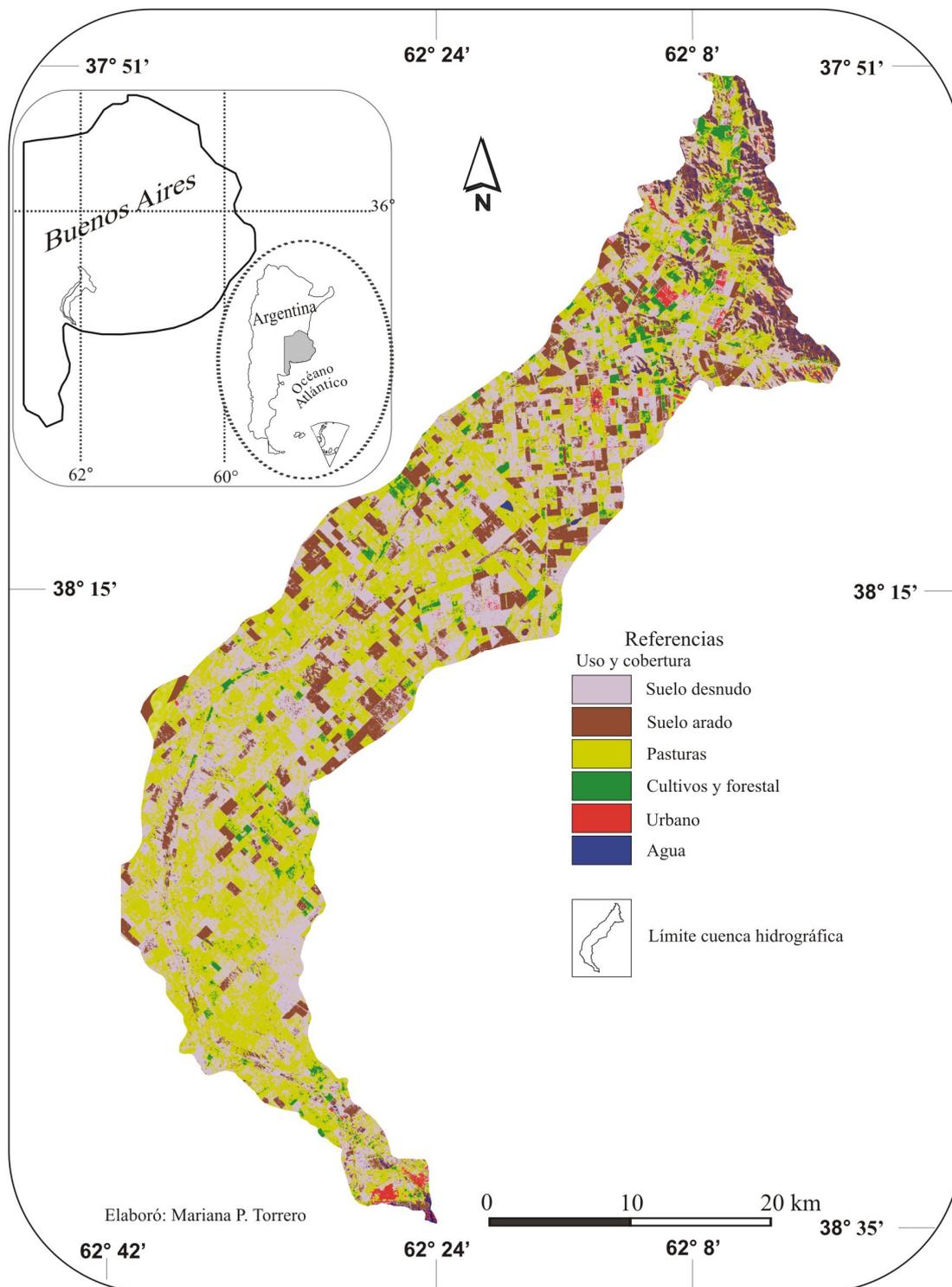


Figura 5.8. Cuenca del río Sauce Chico. Usos y cobertura del suelo. Invierno 2002.

Fuente: Elaboración propia sobre la base del análisis de imágenes satelitales.

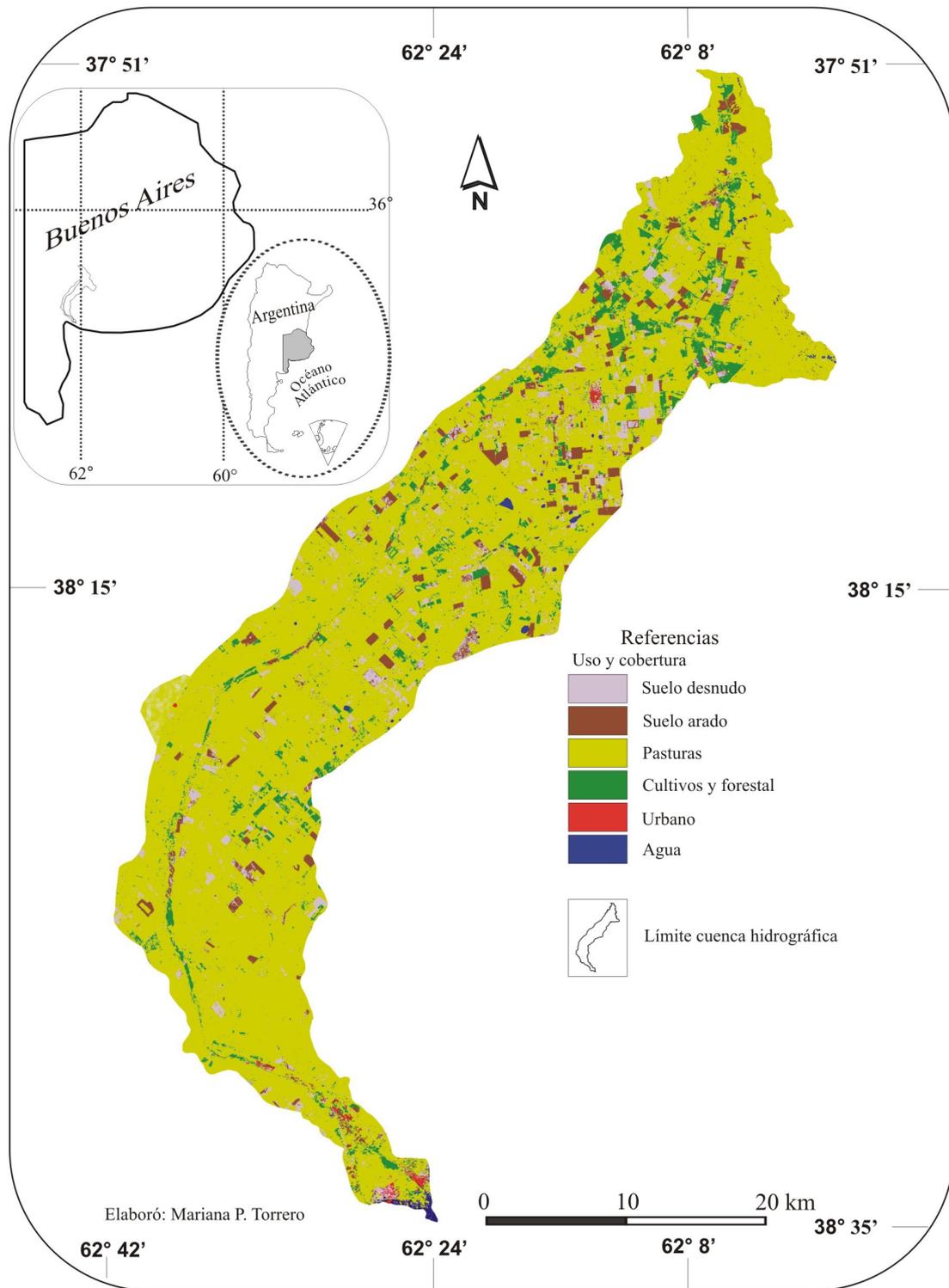


Figura 5.9. Cuenca del río Sauce Chico. Usos y cobertura del suelo. Primavera 2002.  
 Fuente: Elaboración propia sobre la base del análisis de imágenes satelitales.

La graficación de las respuestas temporales promedio de las pasturas y de la vegetación vigorosa (cultivos y forestal) apoya los resultados de los mapas de clasificación de usos del suelo. Asimismo, permite observar la similitud en la marcha de cada elemento a pesar de los diferentes valores según el período (Fig. 5.10 y 5.11).

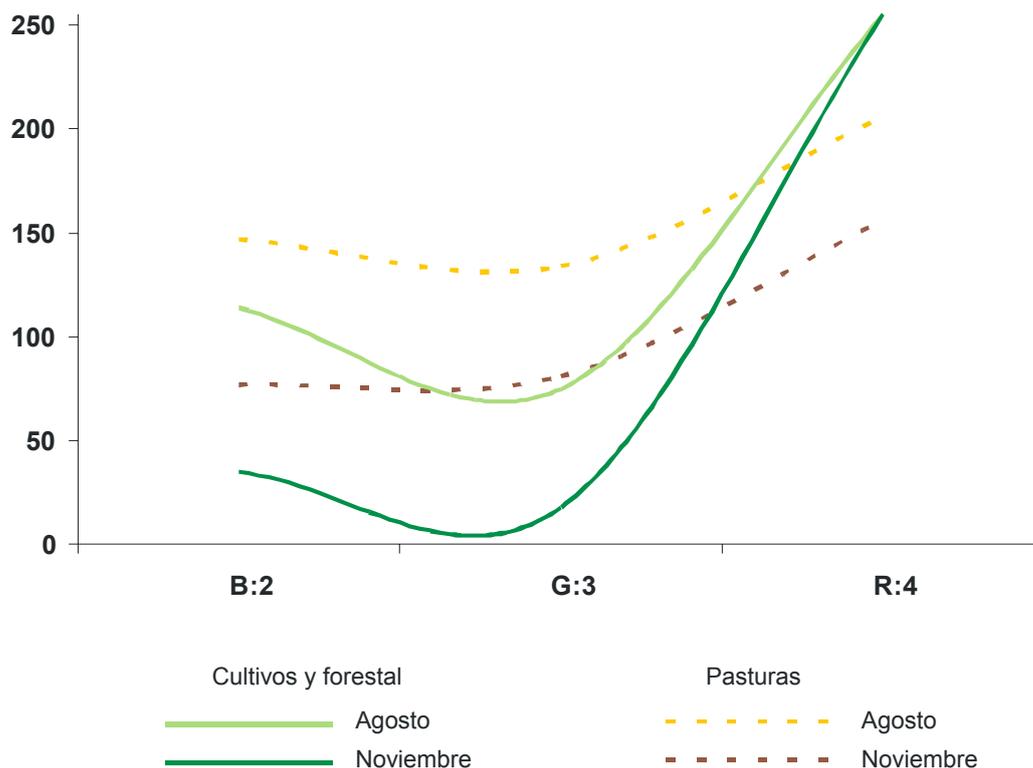


Figura 5.10. Respuesta espectral de la vegetación.

Fuente: Elaboración propia sobre la base del análisis de imágenes satelitales.

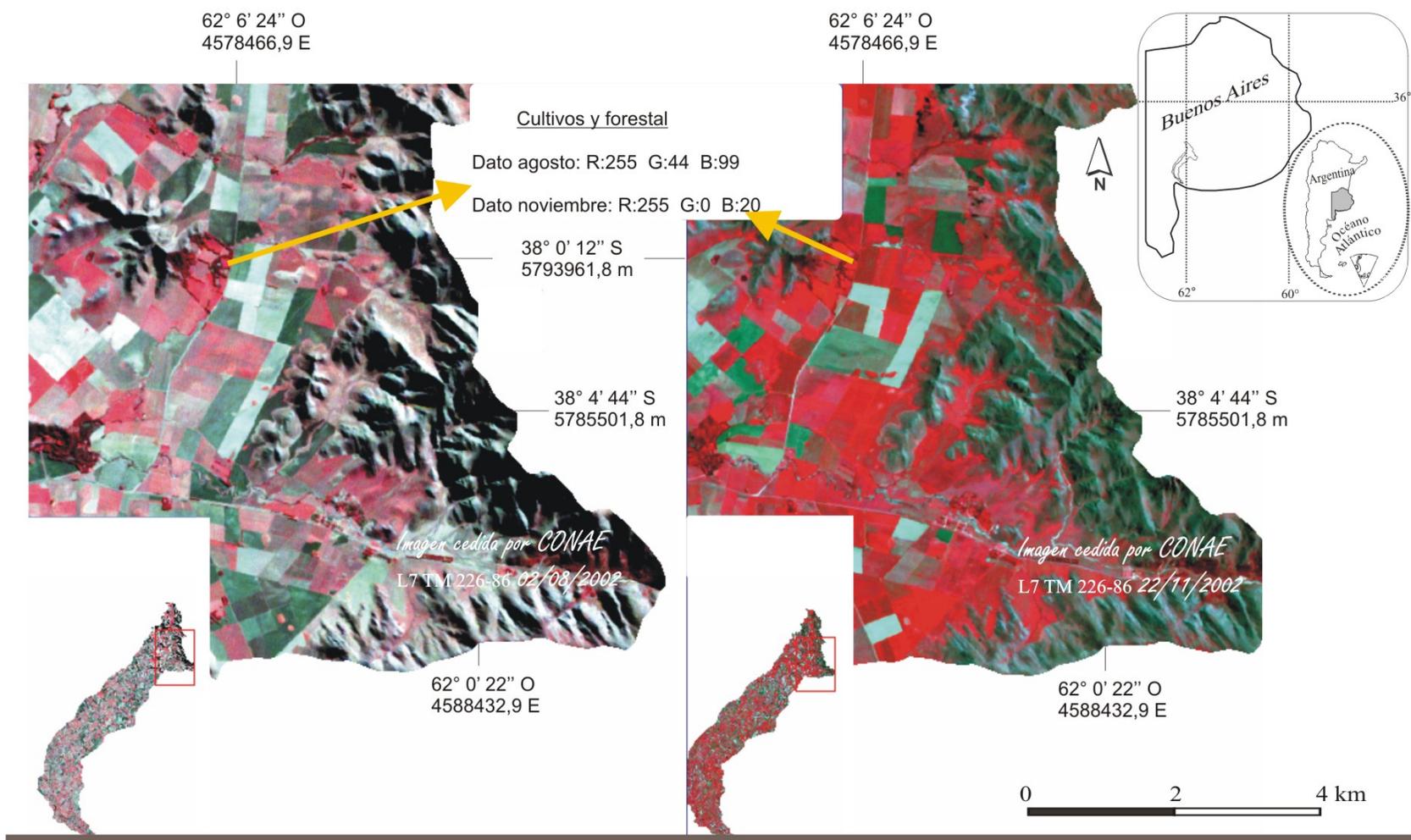


Figura 5.11. Respuesta espectral estacional de cultivos y forestal.

Fuente: Elaboración propia sobre la base del análisis de imágenes satelitales.

Los índices verdes obtenidos muestran, para el mes de agosto y en relación con el período de sequía invernal de bajas temperaturas, una distribución de biomasa muy pobre en toda la cuenca e intenso en el área serrana. En la imagen del mes de noviembre, primavera, se observa un importante aumento de la actividad fotosintética de la masa vegetal como consecuencia de las importantes precipitaciones y las mayores temperaturas que facilitan los procesos de transpiración y transferencia radioactiva, principalmente en la cuenca alta a lo largo de los valles intermontanos. En la cuenca media, las áreas más vegetadas coinciden con los cultivos de trigo que se encuentra en el momento de espigazón y en la cuenca baja las zonas hortícolas. La superficie con vegetación menos vigorosa corresponde a campos destinados al pastoreo o parcelas recientemente sembradas con maíz o girasol. Las pasturas naturales comienzan a disminuir su nivel de energía. En la cuenca media los espacios que en invierno presentan escasa o nula cobertura vegetal se reducen y se observa una intensificación del estado en algunas parcelas, principalmente en el área alóctona en la cual continúan destacándose las zonas anegadas. La respuesta diferencial de la vegetación para cada caso se muestra en los histogramas de frecuencias (Fig. 5.12).

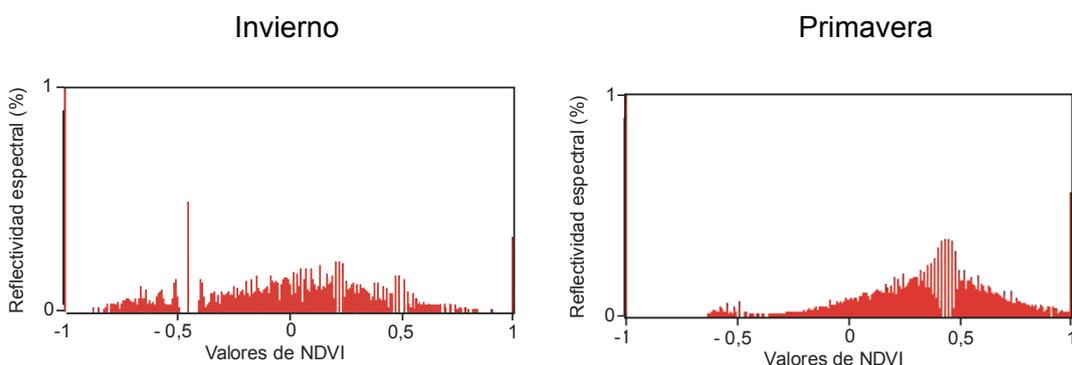


Figura 5.12. Histogramas estacionales del NDVI.

Fuente: Elaboración propia sobre la base del análisis de imágenes satelitales.

La secuencia de imágenes muestra la evolución de las zonas vegetadas desde suelo desnudo o con poca vegetación en invierno hasta una etapa intermedia a alta en primavera. El color rojo representa la vegetación densa/vigorosa, el amarillo y verde menos densa/vigorosa y con azul se identifican los índices negativos correspondientes a lugares sin vegetación (camino, centros urbanos, suelo descubierto, salinas) (Fig. 5.13 y 5.14).

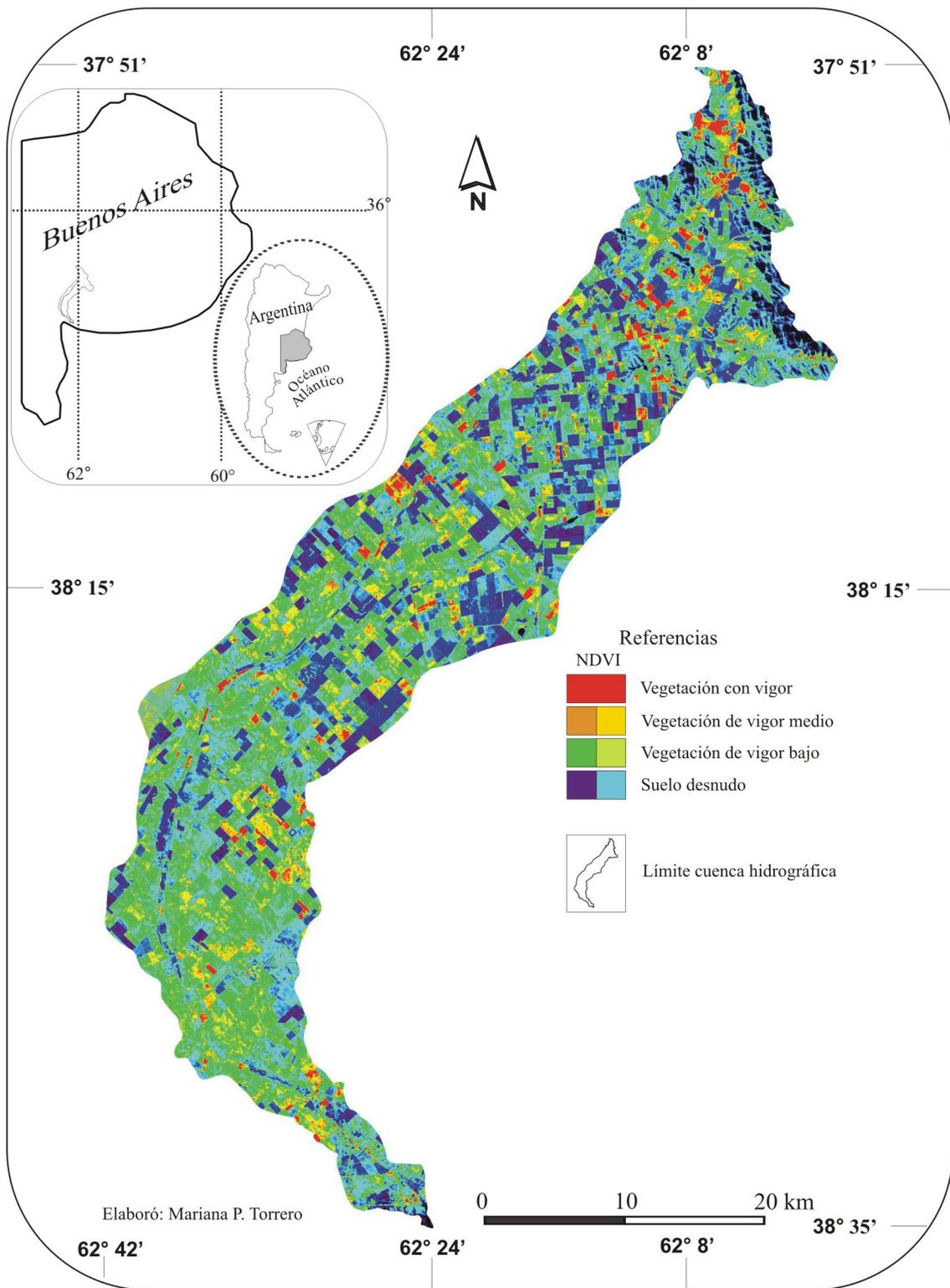


Figura 5.13. Cuenca del río Sauce Chico. Índice de vegetación. Agosto de 2002.  
 Fuente: Elaboración propia sobre la base del análisis de imágenes satelitales.

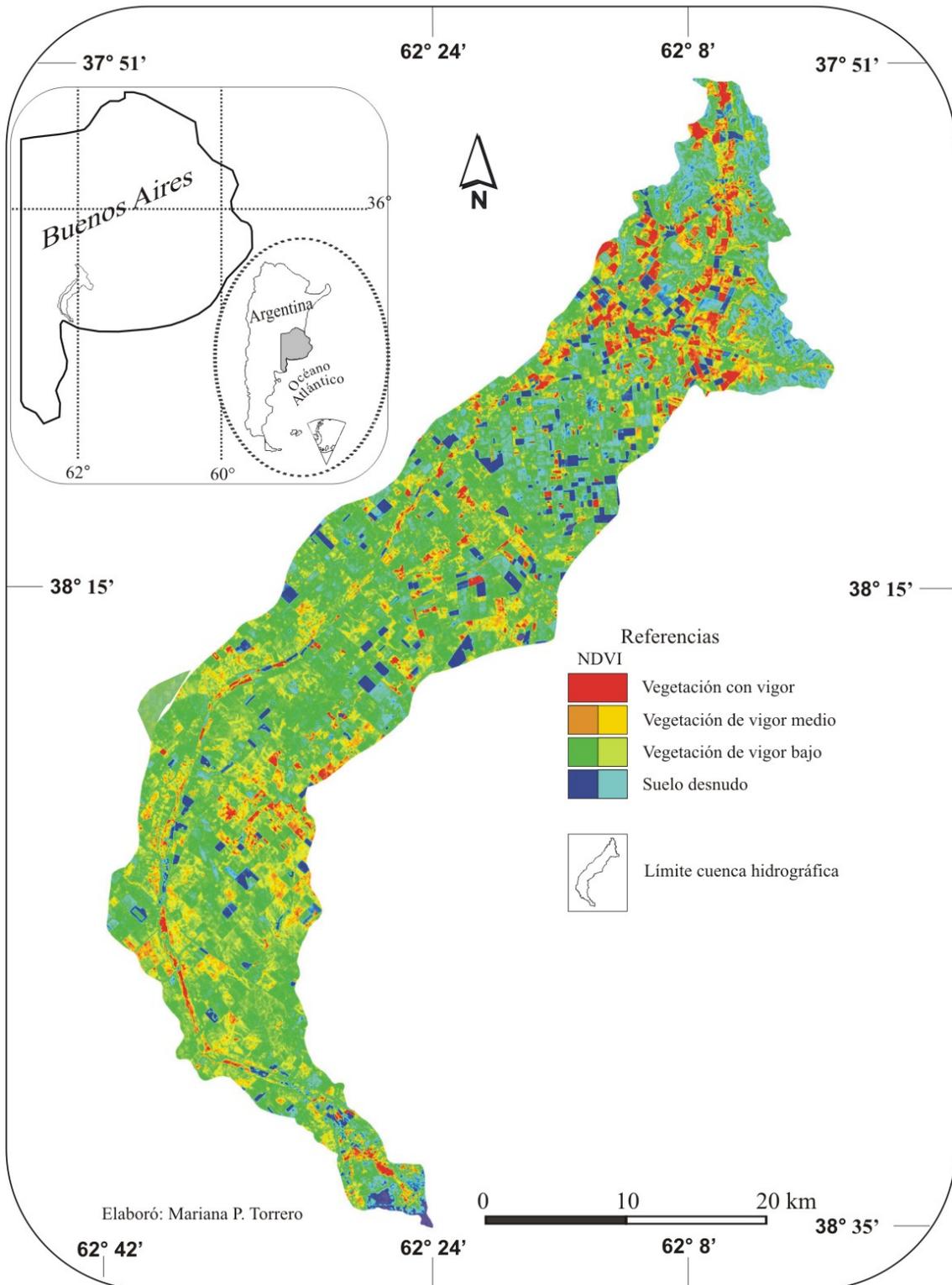


Figura 5.14. Cuenca del río Sauce Chico. Índice de vegetación. Noviembre de 2002.  
Fuente: Elaboración propia sobre la base del análisis de imágenes satelitales.

La vegetación cumple un papel importante en la hidrología del cauce y la dinámica de los sedimentos. Reduce la velocidad del agua y refuerza el material del barranco incrementando la resistencia a la erosión y por consiguiente la estabilidad lateral del canal.

### **5.5. La desertificación ... ¿un proceso presente en la cuenca?**

La desertificación involucra una serie de procesos físicos, biológicos, históricos, económicos, sociales, culturales y políticos interrelacionados que se manifiestan a diferentes escalas espaciales y temporales. Se identifica a las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas como las regiones más amenazadas por la desertificación y con el riesgo de que esta condición aumente. Por un lado, por la continuidad del modelo de desarrollo socioeconómico y actuales sistemas de uso y gestión de los recursos naturales que no permiten el desarrollo sustentable. Por otro, por las alteraciones que pueden producir las condiciones climáticas (López Bermúdez, 1997, 1999, 2002).

Las características climáticas adversas, las dificultades socioeconómicas de los pequeños y medianos productores agrícola ganaderos e industriales y la falta de políticas que regulen las actividades y promuevan acciones tendientes al crecimiento de la región, son aspectos presentes en la cuenca del río Sauce Chico. Las áreas más comprometidas son las de Pigüé y Bahía Blanca. Los balances hídricos (Fig. 2.15, 2.17-18 y 2.20) reflejan la falta de un período de exceso de agua en el año lo que condiciona directamente las tareas agropecuarias, actividad principal de la región y produce con el tiempo, cambios en los usos del suelo. El aumento de las temperaturas reduce directamente la cantidad de agua del suelo e indirectamente, como consecuencia de la sequía, contribuye a la extensión y profundización del proceso de desertificación. El mayor impacto negativo es en la productividad y en el valor de los recursos naturales (Marenco, 1994; Lorda, 2005; Schefer, 2004; Luque y Paoloni, 1995, 2005; PNUD, 1992, 1994).

Ante esta situación es necesario promover acciones, que involucren a los Organismos Públicos Municipales, Provinciales y Nacionales en diversos grados de responsabilidad, así como a Organizaciones Agrarias, Asociaciones de agricultores, Investigadores, etc. Sobre la base de las recomendaciones del Anexo IV del Convenio de Naciones Unidas de Lucha Contra la Sequía y Desertificación (PNUD, 1994) y al

Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (MMA, 2001) se recomienda llevar a cabo:

- Planificación y ordenación de los usos de la tierra: Integrar en políticas de ordenación territorial la prevención de la desertificación.
- Seguimiento y evaluación del proceso de desertificación.
- Identificación de las Áreas Sensibles a la Desertificación y de las Zonas de Acción Prioritarias, mediante un Sistema de Información Geográfica.
- Prácticas agrícolas sustentables. Aplicación de las técnicas de agricultura de conservación. Tratamiento adecuado de los restos de cosecha. Utilización racional de fertilizantes y productos fitosanitarios. Prácticas de conservación de suelos agrícolas. Mantenimiento de estructuras de conservación de suelos y uso potencial de los sistemas tradicionales de conservación del suelo.
- Control y medidas de seguimiento de regadíos abastecidos con aguas salinizadas.
- Gestión sustentable y sostenible de los recursos hídricos. Búsqueda y utilización racional de recursos hídricos adicionales o alternativos. Programas de gestión y reducción de la demanda hídrica.
- Integración de las disponibilidades hídricas como criterio fundamental en la política de planificación territorial y desarrollo agrícola, forestal, industrial, turístico, urbano, etc.
- Medidas de recuperación del buen estado de las aguas superficiales y desarrollo de la cultura del agua en los usuarios, como recurso vital y limitado.
- Divulgación veraz y rigurosa sobre la importancia y magnitud de la desertificación. Formación y concientización de la sociedad.

En síntesis, considerando el análisis climático realizado para toda la cuenca y en especial para el año 2002 y sumado a las características topográficas se concluye que, la conjunción de estas condiciones contribuye a la aparición de procesos de erosión hídrica. La vegetación cumple un rol importante porque atenúa la magnitud del efecto y es un indicador del estado de erosión, su presencia es indicio de estabilización y su ausencia, de procesos activos. Los factores que favorecen la generación de cárcavas en la cuenca alta son, el gradiente topográfico asociado a la formación montañosa y la escasa vegetación. En el Norte de la cuenca media, las alturas disminuyen pero la intensidad del proceso continúa siendo alta y muy alta en la margen izquierda del río y la aparición de cárcavas se presenta a lo largo del resto del cauce asociadas a los gradientes de los bordes y las características edáficas. La

erosión por cárcavamiento abarca una extensa área, su importancia está en que provoca alteraciones en la estructura del suelo impidiendo el desarrollo de la vida vegetal y de los animales invertebrados. La escasa pendiente de los suelos de las cuencas media y baja, con predominio de texturas franco limosas, franco arcillosas y salitrosas dificultan el drenaje en períodos de excesos hídricos. Considerando que la zona es agrícola ganadera, las características del drenaje y pendiente la transforman en el área con mayor vulnerabilidad hídrica, siendo por lo tanto, la más susceptible a sufrir algún tipo de contaminación o alteración del drenaje superficial como consecuencia de procesos naturales o acciones antropogénicas. En la cuenca no se detectaron problemas de inundaciones de gran magnitud.

Los usos del suelo cambian en función de las condiciones ambientales en la cuenca y por consiguiente las formas de utilización y aprovechamiento del agua. Así se encuentra un sector Norte y centro con grandes y medianas explotaciones agrícolas y ganaderas que se desarrollan bajo sistemas de secano y una cuenca media y baja de agricultura bajo riego con predominio de la actividad hortícola. Las respuestas de estos espacios frente al paso de una situación de sequía a exceso hídrico, en un momento clave como es el período de desarrollo de los cultivos es notable y se evidencia en el incremento de las áreas cultivadas y en la reducción del suelo descubierto. Por lo tanto, los procesos de erosión son mayores en época de escasas precipitaciones cuando la cobertura vegetal es pobre y no cumple con su función de interceptación del agua.

La tendencia manifiesta en el aumento paulatino de la temperatura y su impacto en la cantidad de agua del suelo junto al prolongado período de deficiencia hídrica estival y la ocurrencia de vientos fuertes y constantes durante este mismo período, incrementan la aparición y extensión del proceso de desertización en la región, principalmente en los partidos de Bahía Blanca y Pigüé. El contexto de condiciones climáticas subhúmedas secas son propicias para su desarrollo, sumadas las variaciones climáticas y las intervenciones antropogénicas adversas. Su consecuencia negativa es directa sobre la actividad agropecuaria, principal motor de la economía regional, a la vez que genera una degradación ambiental que dificulta e impide la conservación de los recursos naturales, fundamentales para el desarrollo sustentable.

Por ello, es necesario tener en cuenta la situación ambiental dado que ésta influye en el comportamiento del agua, produce cambios en el espacio y propicia la

aparición de manifestaciones de degradación, factores todos que condicionan el desarrollo de la agricultura. En tal sentido, es preciso que los pequeños y medianos agricultores conozcan la situación a fin de considerar estos aspectos al momento de trabajar la tierra y utilizar el recurso fluvial, de manera que contribuyan al uso sustentable.

El conocimiento integrado de las condiciones climáticas, características hidrológicas, geomorfológicas y ecológicas de los ambientes secos coadyuva a la mitigación de los efectos negativos de la desertificación, como también de procesos erosivos y de salinización, entre otros.

## C A P Í T U L O 6

---

### CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS Y DETERMINACIÓN DEL ESCURRIMIENTO EN LA CUENCA DEL RÍO SAUCE CHICO

El papel que representan los distintos tipos de suelo y cubierta vegetal en la dinámica hídrica de una cuenca es un aspecto importante a tener en cuenta en las investigaciones. Un terreno adecuadamente vegetado presenta mayores tasas de infiltración y menores de escorrentía superficial. Al respecto, López Cadenas y Mintegui (1986) señalan los trabajos de Molchanov en Tellerman, Brasov en Kamennaya y Agapova en Derkul, a través de los cuales demostraron que la relación entre el coeficiente de escorrentía y el porcentaje de área forestal de una cuenca se asemeja a una hipérbola descendente. Según estos autores, la escorrentía superficial en terrenos forestales podría representar el 1 % de la precipitación total anual, mientras que en terrenos agrícolas análogos, podría ser del orden del 30 % de la precipitación y en terrenos no cultivados, del orden del 50 %. Estas cifras resaltan la importancia que tiene mantener una proporción suficiente de terreno arbolado o vegetado, en las cuencas con recursos hídricos limitados.

Sin embargo, el problema principal estriba en el cálculo de los coeficientes de escorrentía. Diversos métodos, tablas y expresiones basadas en los tipos y calidades de la vegetación y clases de suelo fueron empleados para evaluar los coeficientes de escorrentía (Musgrave, 1955; Marsh, 1978; López Cadenas y Mintegui, 1986; Mintegui y López Cadenas, 1990). En tal sentido, uno de los métodos más utilizados es, según Ponce (1989), el método del Número de Curva o Número Hidrológico propuesto por el Soil Conservation Service del United States Department Agricultura, SCS - USDA (USSCS, 1957, 1972, 1975, 1978).

Numerosos trabajos nacionales e internacionales, resaltaron la efectividad de la evaluación del comportamiento hidrológico de las cuencas a través de la aplicación del método del Número de Curva (USDI, 1970; Rabassa, 1976; Laya y Amiotti, 1980; Murillo Illanes *et al.*, 2002; Mintegui Aguirre *et al.*, 2003; Jordán Díaz *et al.*, 2004). Para la zona del Sistema de Ventania, este método fue aplicado por Gaspari *et al.* (2007) en la cuenca del arroyo Pillahuincó Grande. La importancia radica en la relación entre las características del suelo y el uso y tratamiento de la tierra. El complejo hidrológico

suelo-cobertura es muy importante para el cálculo de la precipitación efectiva o escorrentía directa.

La mayor parte de las cuencas de la República Argentina no están aforadas lo que frecuentemente dificulta contar con esos datos. Por lo tanto, ante la necesidad de disponer de ellos a fin de profundizar la evaluación de las características hidrológicas de la cuenca, la aplicación de este método contribuye a la búsqueda de una solución al problema.

Los objetivos del presente capítulo son calcular los volúmenes de escurrimiento directo para una tormenta determinada, para la cuenca del río Sauce Chico y clasificar a los suelos desde el punto de vista hidrológico. De esta manera, se contribuye al conocimiento de la dinámica y funcionamiento de la cuenca y al aporte de datos, que faciliten la implementación de otras metodologías que ayuden a la toma de decisiones.

### **6.1. Materiales y métodos para el análisis de los complejos hidrológicos suelo-vegetación, la determinación del escurrimiento y análisis del estado de tiempo**

A fin de determinar la respuesta de la cuenca del río Sauce Chico, en forma de escurrimiento directo, frente a una tormenta determinada, se aplicó el método del Número de Curva (CN) (USSCS, 1957, 1972, 1978; Chow *et al.*, 1994). Este método permite estimar la altura de la lluvia efectiva a partir de la precipitación total y de las características de la cuenca. Una de las ventajas en relación a otros métodos consiste en que, además de considerar las variaciones que se producen debido a las características propias de cada cuenca como el relieve, la infiltración, la cobertura vegetal, etc., considera los efectos de las prácticas conservacionistas (cultivos según curvas de nivel). Asimismo, para la estimación de los escurrimientos emplea la lluvia total de 24 horas y no la intensidad horaria como ocurre con otros métodos (Murillo Illanes, 2008).

Debido a que el coeficiente de escurrimiento no es un factor constante, sino que varía con la intensidad de la lluvia y las condiciones de la cuenca, su determinación es aproximada. Hasta el momento no existen estudios detallados de los suelos de la región y sólo se dispone de los datos a escala 1:500.000 (INTA, 1989,

1995). También por este motivo, los resultados obtenidos, deben considerarse, como una aproximación a los valores de CN.

El proceso para la obtención del CN consta de los pasos presentados en la figura 6.1. En una primera instancia se procedió a reclasificar el mapa de usos y cobertura del suelo (Fig. 5.9). En segundo término, se identificaron los tipos de suelo sobre la base del Atlas Digital de Suelos de la República Argentina (INTA, 1995). A ellos se les asignó, en el siguiente paso, el grupo hidrológico correspondiente de acuerdo con las características texturales de cada uno. Posteriormente, se realizó la tabulación cruzada en formato digital de los mapas de usos de suelo y grupo hidrológico. El resultado derivó en el mapa de complejos hidrológicos suelo – cobertura vegetal. A cada una de estas áreas, considerando la pendiente del terreno correspondiente, se les asignó el valor de CN para una cuenca en condiciones normales de humedad. Finalmente, se halló el escurrimiento directo en función de la precipitación. A continuación se describen los pasos para determinar el complejo hidrológico suelo-vegetación y el escurrimiento directo.

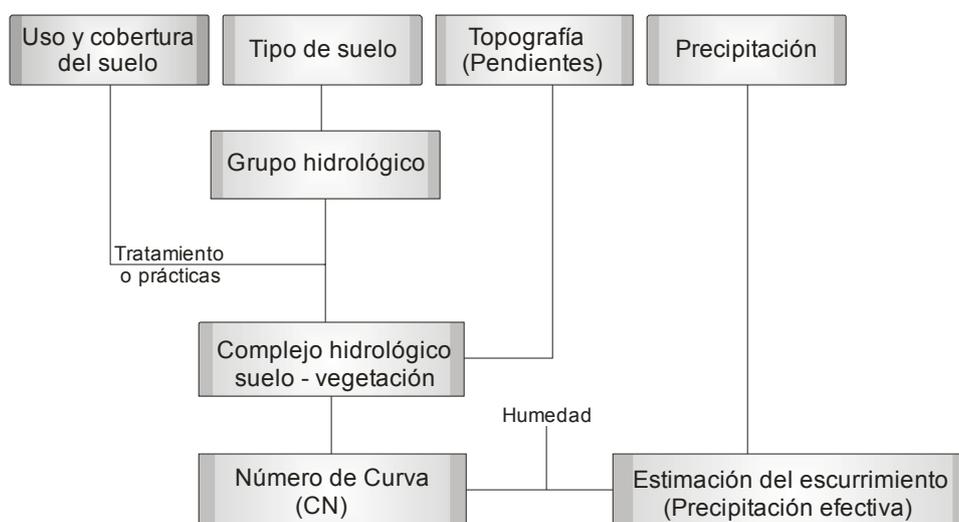


Figura 6.1. Esquema metodológico para la determinación de los complejos hidrológicos suelo-vegetación y escurrimiento. Elaborado sobre la base del método propuesto por el USSCS (1975).

Fuente: Elaboración propia.

Para definir el grupo hidrológico del suelo, se consideraron por un lado, las condiciones de superficie para conocer el grado de infiltración y por otra parte, los

horizontes en referencia al grado de transmisión. El grado de infiltración representa la velocidad con que el agua penetra en el suelo desde la superficie y depende de las condiciones superficiales. El grado de transmisión se refiere a la velocidad de movimiento del agua en el perfil y depende de la permeabilidad de los distintos horizontes.

Los grupos hidrológicos son A, B, C y D. Estos van desde los que poseen un alto grado de infiltración y transmisión que los caracteriza por un bajo potencial de escurrimiento, hasta los que tienen muy baja infiltración y transmisión y por lo tanto, un alto potencial de escurrimiento. En la tabla 6.1 se muestran las características generales de los perfiles de suelos correspondientes a cada grupo hidrológico.

Grupo hidrológico	Potencial de escurrimiento	Grados de infiltración - transmisión	Suelos típicos	Texturas	Valoración
A	Escaso	Grado alto de infiltración (> 60 mm/h) aún cuando están muy húmedos Grado alto de transmisión	Suelos profundos, bien o excesivamente drenados. Arenas y gravas con poco limo y arcilla, loess.	Arenosa Areno limosa	Excelente
B	Moderado	Grado moderado de infiltración (25 - 40 mm/h) Grado moderado de transmisión	Suelos moderadamente profundos, sin barreras físicas importantes. Arenas finas y limos.	Franco arenosa Franca Franco-arcillo arenosa Franco limosa	Muy bueno
C	Medio	Grado bajo de infiltración (10 - 18 mm/h) cuando están muy húmedos Grado bajo de transmisión	Suelos con presencia de capas u horizontes que limitan la infiltración y transmisión hídrica.	Franco arcillosa Franco-arcillo limosa Arcillo arenosa	Malo
D	Alto	Grado muy bajo de infiltración (< 10 mm/h) cuando están muy húmedos Grado muy bajo de transmisión	Suelos someros con una capa freática alta o densificada e impermeable cercana a la superficie. Suelos arcillosos con predominio de arcillas expandibles o compactas y ciertos suelos salinos.	Arcillosa	Muy malo

Tabla 6.1. Grupos hidrológicos de suelos y características generales de los perfiles que los definen.

Fuente: Elaborado sobre la base de USSCS, 1972; Chow *et al.*, 1994; Aparicio Mijares, 2001; Amiotti, 2007; Murillo Illanes, 2008; Jordán Díaz *et al.*, 2004.

A fin de definir en un grupo hidrológico aquellas áreas de la cuenca del río Sauce Chico, que por sus características edafológicas no podían ser incluidas en los grupos predeterminados, se crearon dos subgrupos denominados B- y C+. El potencial de escurrimiento de estos suelos varía entre moderado y medio, por lo tanto, se los valoró como buenos y regulares respectivamente. Cabe destacar que, el área

correspondiente al sistema serrano no se consideró como grupo D debido a que el numeroso diaclasamiento que presenta, favorece el proceso de infiltración.

La condición hidrológica para la infiltración se define en función del grado de humedad previo del terreno. El USSCS (1972) especifica 3 estados de humedad en el momento previo a producirse el aguacero a las que llama Condición Antecedente de Humedad (CAH) y son (Chow *et al.*, 1994; Rapacioli, 2007):

*CAH I*. Seca. Suelo seco que permite una capacidad de infiltración alta, asociada con intensidades desde 0 a 635 mm/año.

*CAH II*. Media. Suelo parcialmente húmedo que permite una capacidad de infiltración normal, asociada con intensidades desde 635 a 1.270 mm/año.

*CAH III*. Húmeda. Suelo saturado que permite una capacidad de infiltración baja, con intensidades mayores de 1.270 mm/año.

Para la obtención del índice CN para las condiciones seca (*CAH I*) o húmeda (*CAH III*) se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$CN (CAH I) = \frac{4,2 CN (CAH II)}{10 - 0,058 CN (CAH II)}$$

$$CN (CAH III) = \frac{23 CN (CAH II)}{10 + 0,13 CN (CAH II)}$$

Donde:

CN (*CAH I*): Es el valor de número de curva para la condición de humedad antecedente I o seca.

CN (*CAH II*): Es el valor de número de curva para la condición de humedad antecedente II o media. El valor es obtenido de tablas.

CN (*CAH III*): Es el valor de número de curva para la condición de humedad antecedente III o húmeda.

El índice CN es un número adimensional, tal que  $0 \leq CN \leq 100$ , que expresa el potencial de escorrentía de un terreno en función del uso del suelo y cobertura vegetal, de la humedad antecedente del suelo y del grupo hidrológico del suelo. El valor máximo que puede alcanzar este índice es  $CN = 100$ , el cual indica superficies

impermeables y superficies de agua, es decir, todo lo que llueve escurre en superficie. Para superficies naturales  $CN < 100$  (Chow *et al.*, 1994).

Los valores de CN para distintos usos y coberturas se detallan en la tabla 6.2. Los tipos de usos de la tierra y los tratamientos se clasifican según las avenidas que puede originar el escurrimiento. La generación de avenidas por escurrimiento será menor cuanto más aumente la retención total un uso o tratamiento de la tierra. Aquellos usos o tratamientos que no se especifican en la tabla 6.2 pueden clasificarse por interpolación (USSCS, 1975). En el caso de terrenos o partes muy pequeñas de la cuenca como los que ocupan caminos, superficies urbanas y cascos de estancias, las áreas se consideran dentro de alguno de los otros tipos de usos del suelo en el cálculo del escurrimiento.

Uso del suelo y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno (%)	Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo / suelo arado	Surcos rectos	-	77	86	91	94
Cultivos y forestal	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91
	Surcos rectos	< 1	67	78	85	89
	Curvas de nivel	> 1	70	79	84	88
	Curvas de nivel	< 1	65	75	82	86
Praderas o pastizales con rotación	Surcos rectos	> 1	66	77	85	89
	Surcos rectos	< 1	58	72	81	85
	Curvas de nivel	> 1	64	75	83	85
	Curvas de nivel	< 1	55	69	78	83
Praderas o pastizales	-	> 1	68	79	86	89
	-	< 1	39	61	74	80
	Curvas de nivel	> 1	47	67	81	88
	Curvas de nivel	< 1	6	35	70	79
Bosques naturales	Muy ralo	-	56	75	86	91
	Ralo	-	46	68	78	84
	Normal	-	36	60	70	77
	Espeso	-	26	52	62	69
	Muy espeso	-	15	44	54	61
Distritos industriales (72% impermeables)	-	-	81	88	91	93
Caminos	Pavimentados con cunetas y alcantarillados	-	98	98	98	98
	Grava	-	76	85	89	91
	Tierra	-	72	82	87	89

Tabla 6.2. Valores del índice CN para diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación (Para cuencas en condiciones antecedentes de humedad II).

Fuente: Modificado de USSCS, 1975; Chow *et al.*, 1994; Aparicio Mijares, 2001.

El método de CN emplea tres variables (precipitación, humedad anterior y complejo hidrológico suelo-vegetación) y se basa en las siguientes relaciones funcionales:

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} ; \quad P > I_a$$

$$Pe = 0 ; \quad P \leq I_a$$

$$I = P - Pe$$

Donde:

Pe: Esguerrimiento en mm, es siempre menor o igual a la profundidad de la precipitación.

P: Precipitación en mm.

S: Retención potencial máxima en mm. Diferencia potencial máxima entre P y Pe a la hora que comienza la tormenta.

I<sub>a</sub>: Abstracción inicial antes del encharcamiento, en mm. Es la cantidad de precipitación para la cual no ocurrirá esguerrimiento.

I: Infiltración en mm.

La abstracción inicial contiene todas las pérdidas que se producen antes de que comience el esguerrimiento, evaporación, infiltración, retención en depresiones, intercepción por vegetación. Su valor es muy variable y por estudios efectuados en numerosas cuencas, se correlacionó I<sub>a</sub> y S mediante la siguiente relación empírica:

$$I_a = 0,2S$$

El valor de S está relacionado con el suelo y la cobertura vegetal por medio del índice CN a través de la expresión en milímetros:

$$S = (25400 / CN) - 254$$

Sobre esta base se obtiene que:

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

El escurrimiento directo para la cuenca en condiciones normales se determinó con el valor de precipitación de la tormenta del 9 de noviembre de 2002, una de las más importantes de ese año (Anexo II). Los mapas sinópticos para el análisis de esta tormenta, correspondientes a las 06Z, 12Z y 18Z, fueron cedidos por la Central Meteorológica Naval Comandante Espora (Armada Argentina). El estudio constó de tres pasos, en primer lugar el análisis isobárico, luego el análisis frontal y finalmente la identificación y caracterización del estado de tiempo.

También se calcularon los escurrimientos directos con los datos de las tormentas del 27 de agosto (78 mm), 12 de octubre (96 mm) y 18 de diciembre (40 mm) del año 2002. Para las dos primeras fechas se aplicó la modificación correspondiente para condiciones húmedas y en el último caso para condiciones de sequía. La solución de la ecuación del escurrimiento,  $Pe$ , para todos los casos, se representó gráficamente.

Por último, para todas las tormentas, se relacionó el escurrimiento superficial ( $Pe$ ) con la precipitación caída ( $P$ ) mediante el coeficiente de escorrentía medio final de una tormenta ( $CE$ ). Este coeficiente puede tomar valores entre 0 y 1 cuando el escurrimiento sea nulo o total respectivamente.

$$CE = Pe / P$$

La relación entre el coeficiente de escorrentía ( $CE$ ) y el método del Número de Curva ( $CN$ ) se relacionan a partir de que el  $CN$  permite cuantificar la  $Pe$ . Por lo tanto, el coeficiente de escurrimiento depende de la precipitación analizada y del método de la curva (Martínez de Azagra Paredes, 2006).

## **6.2. Complejos hidrológicos suelo-vegetación**

### **6.2.1. Características edafológicas**

En su mayor parte, los tipos de suelo que se presentan en la cuenca del río Sauce Chico pertenecen al orden de los Molisoles. Dentro de ellos, los Argiudoles y los Haplustoles son los predominantes, caracterizados por el desarrollo de texturas franca, franca limosa, franco arcillosa y franco arcillo limosa. En general se encuentran bien drenados, sin embargo, en determinados sectores elevados con presencia de tosca, el desarrollo de los suelos es muy somero (< 25 cm). En la planicie y en espacios de poca pendiente, el desarrollo de los suelos se encuentra entre 50 – 25 cm. La presencia de roca, la pedregosidad y la susceptibilidad hídrica por la posición del terreno y sus características, son los limitantes que hallan estos suelos (INTA, 1995; Amiotti y Blanco, 2004) (Tabla 6.3; Fig. 6.2).

Todos estos suelos son aptos para cultivos principalmente de granos, pasturas y forrajeras pero se destacan los Argiudoles, desarrollados sobre suelos loésicos en Argentina. Por sus óptimas características edáficas, son los mejores suelos de la Región Pampeana y por lo tanto, aptos para la producción de cultivos como el trigo, soja, maíz, girasol y pasturas de alto valor forrajero.

En el Norte de la cuenca, asociada al sistema orográfico, se encuentra la roca que limita el desarrollo de los suelos. En el extremo opuesto, las características de los suelos están asociadas a la llanura de ingesión marina. Allí los suelos pertenecen a los órdenes Aridisol y Entisol, grupos Salortid acuólico y Ustifluent ácuico respectivamente con texturas que van de franco arenosa y franco arcillosa a arcillosa en el primer caso y franca y franca limosa en el segundo. Por sus características, los limitantes de estos suelos son la salinidad, la sodicidad y el drenaje. Todos los suelos descriptos son asociaciones excepto el Entisol Fluvent Ustifluent ácuico que es una consociación (INTA, 1995; Amiotti y Blanco, 2004) (Tabla 6.3; Fig. 6.2).

Simbología	Nombre del suelo	Fase	Textura	Posición	Drenaje	Limitantes
MJli - 4	Roca	-	-	Afloramiento rocoso	-	Rocosisdad
Mltc - 22	Molisol Udol Argiudol típico	Suavemente inclinada	Franca	Pendiente	Bien drenado	Suceptibilidad hídrica
Mltc - 30	Molisol Udol Argiudol típico	Someros (50 a 25 cm)	Franca limosa Franco arcillo limosa	Planicie	Bien drenado	No
Mltc - 32	Molisol Udol Argiudol típico	Suavemente inclinada	Franca limosa Franco arcillo limosa	Pendiente	Bien drenado	Suceptibilidad hídrica
Mltc - 33	Molisol Udol Argiudol típico	Someros (50 a 25 cm)	Franca limosa Franco arcillo limosa	Pendiente	Bien drenado	Permeabilidad Pedregosidad
MNtc - 17	Molisol Ustol Haplustol típico	Muy someros (< 25 cm)	Franco arcillosa	Loma con tosca	Bien drenado	Profundidad
MNtc - 19	Molisol Ustol Haplustol típico	s/d	Franco arcillosa	Valle	Bien drenado	Erosión hídrica
MKtc - 8	Molisol Ustol Argiustol típico	Someros (50 a 25 cm)	Franca Franco arcillosa	Planicie	Bien drenado	Profundidad
DKah - 1	Aridisol Ortid Salortid acuólico	s/d	Franca arenosa Franco arcillosa a arcillosa	Llanura de ingresión marina	Muy pobremente drenado	Salinidad Sodicidad Drenaje
EKac - 1	Entisol Fluvent Ustifluvent ácuico	s/d	Franca Franca limosa	Llanura de ingresión marina	Muy pobremente drenado	Drenaje Salinidad
EKac - 2	Entisol Fluvent Ustifluvent ácuico	s/d	Franca Franca limosa	Loma	Muy pobremente drenado	Sodicidad Drenaje

s/d : Sin dato

Tabla 6.3. Tipos de suelos de la cuenca del río Sauce Chico.

Fuente: Elaborado sobre la base de la clasificación propuesta por el INTA, 1995.

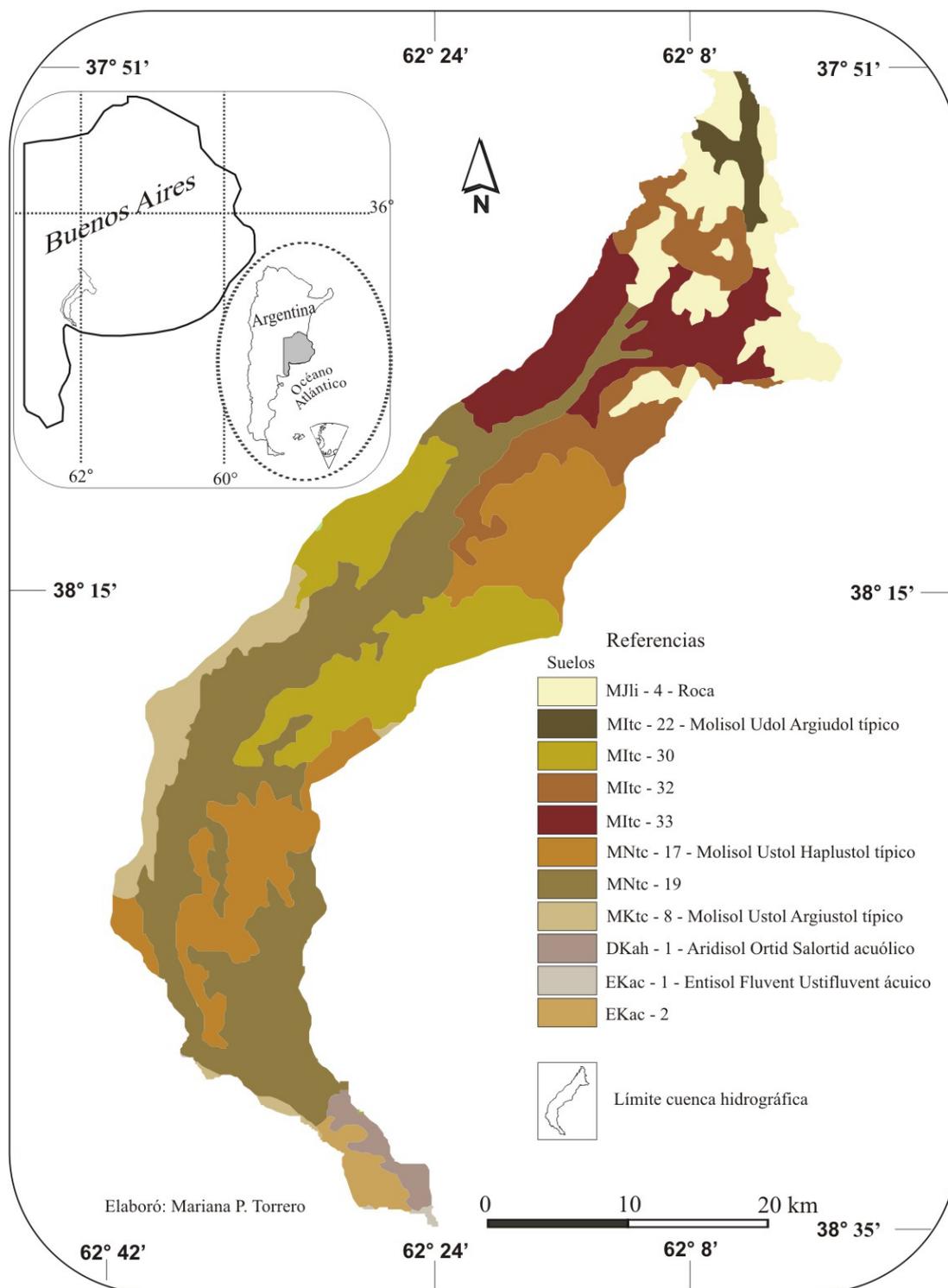


Figura 6.2. Cuenca del río Sauce Chico. Tipos de suelos.

Fuente: Elaborado sobre la base de la clasificación propuesta por el INTA, 1995.

### **6.2.2. Gupos hidrológicos**

El parámetro hidrológico reúne las características edáficas del suelo que afectan el movimiento del agua en este medio y cumplen, por lo tanto, una función importante en la generación del escurrimiento superficial. El análisis de los grupos hidrológicos indica como grupo predominante en la cuenca del río Sauce Chico, al denominado B -. El área más reducida corresponde al grupo C +, localizada en el centro Este de la cuenca. Estas categorías se justifican por el análisis previamente realizado de las condiciones y características topográficas, hidrográficas y ambientales de la cuenca en los capítulos 1, 3 y 5 (Fig. 6.3).

Específicamente, el grupo C + presenta problemas de saturación con agua, condiciones que no manifiesta gran parte del grupo B, siendo que prácticamente en todos ellos se desarrolla el mismo tipo de suelo. La presencia de horizontes de acumulación de carbonatos en altas concentraciones y la escasa pendiente en estos suelos muy someros, contribuyen al drenaje deficiente (INTA, 1995; Amiotti, 2007). Las condiciones de drenaje baja a muy baja son características de los suelos muy finos como los franco arcillosos, arcillo limosos y arcillosos. Por el contrario, las condiciones mejoran en suelos muy gruesos como los arenosos y franco arenosos, permitiendo un drenaje alto a muy alto. Inversamente a las propiedades de drenaje se encuentra la capacidad de almacenamiento de humedad útil, la que se incrementa en los suelos más finos o compactos ( $> 20$  mm/dm). En suelos de texturas medias oscila entre 10-18 mm/dm y en suelos muy gruesos de 3 a 8 mm/dm (Luque, 1990).

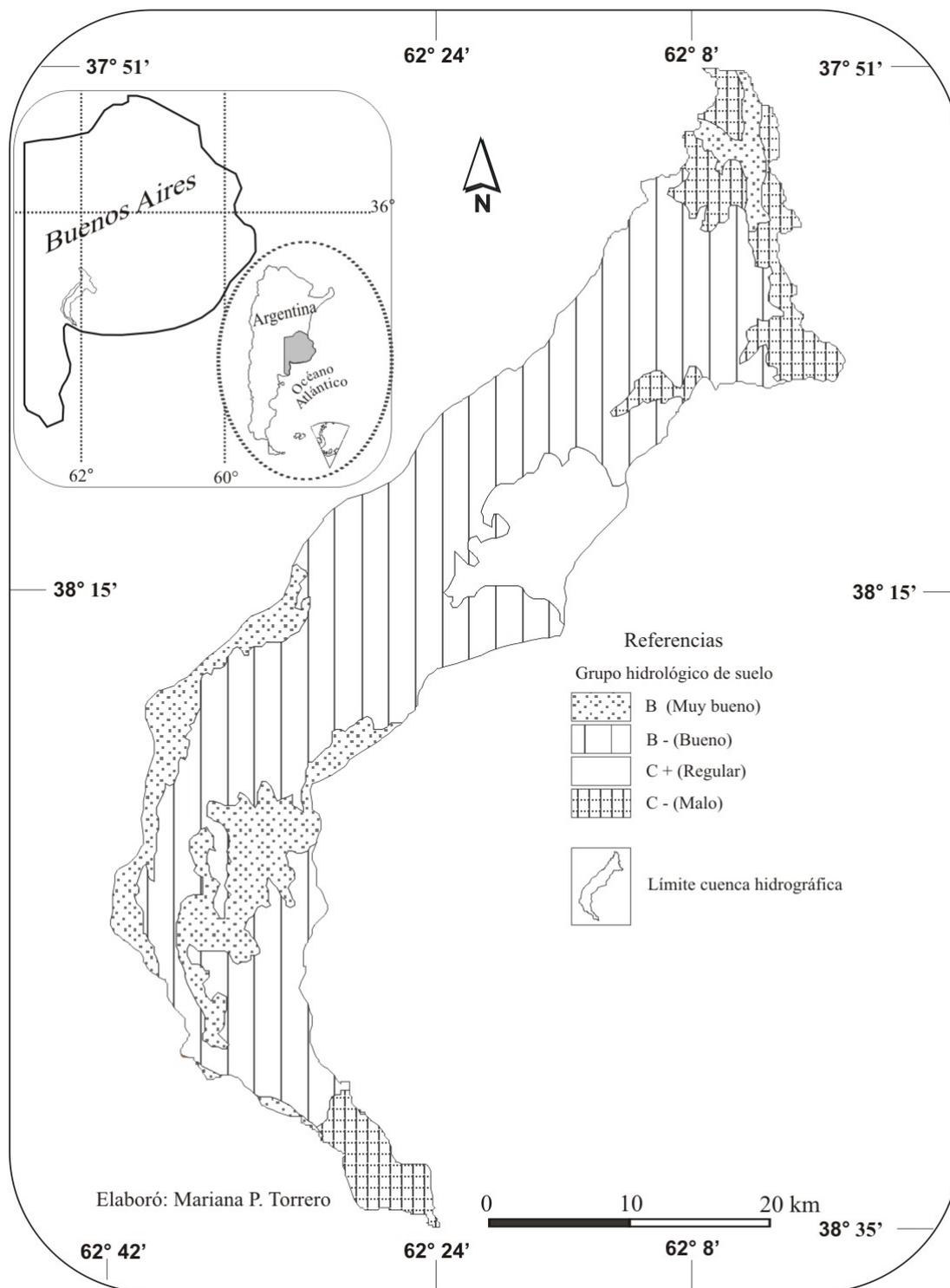


Figura. 6.3. Cuenca del río Sauce Chico. Grupos hidrológicos de los suelos.

Fuente: Elaborado y modificado sobre la clasificación propuesta por el USSCS, 1972.

### 6.2.3. Determinación de Número de Curva para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo - vegetación

A través de la identificación de las diferentes áreas hidrológicas suelo-vegetación (Fig. 6.4) se obtuvieron los valores de CN para la cuenca del río Sauce Chico. En promedio, a la cuenca le corresponde el número de curva 60 para una condición de humedad inicial o de suelo seco (*CAH I*), la curva número 78 para una condición de humedad media o normal (*CAH II*) y la curva número 89 para una condición de suelo húmedo o extrema (*CAH III*) (Tabla 6.4). Estos valores reflejan en general, suelos relativamente buenos para la infiltración, así como, la poca profundidad de ellos y el desarrollo de una escasa cobertura vegetal, características predominantes en las regiones con clima semiárido o subhúmedo. Los valores de CN para la condición *CAH II* variaron entre 61 y 100.

CN		
<i>CAH</i>	<i>I</i>	60
<i>CAH</i>	<i>II</i>	78
<i>CAH</i>	<i>III</i>	89

Tabla 6.4. Valores de CN para distintas condiciones de humedad para la cuenca del río Sauce Chico.

### 6.3. Análisis de la tormenta primaveral

La cuenca del río Sauce Chico presenta una situación carente de aforos continuos por tal motivo, el análisis de los estados de tiempo, es un elemento auxiliar que ayuda a caracterizar las condiciones de tormenta. Este análisis permite evaluar el estado del ambiente y sus efectos sobre la escorrentía. Para definir la situación atmosférica del día 9 de noviembre de 2002, se analizaron las cartas del tiempo correspondientes a los tres horarios que corresponden a los ploteos de las estaciones meteorológicas del país.

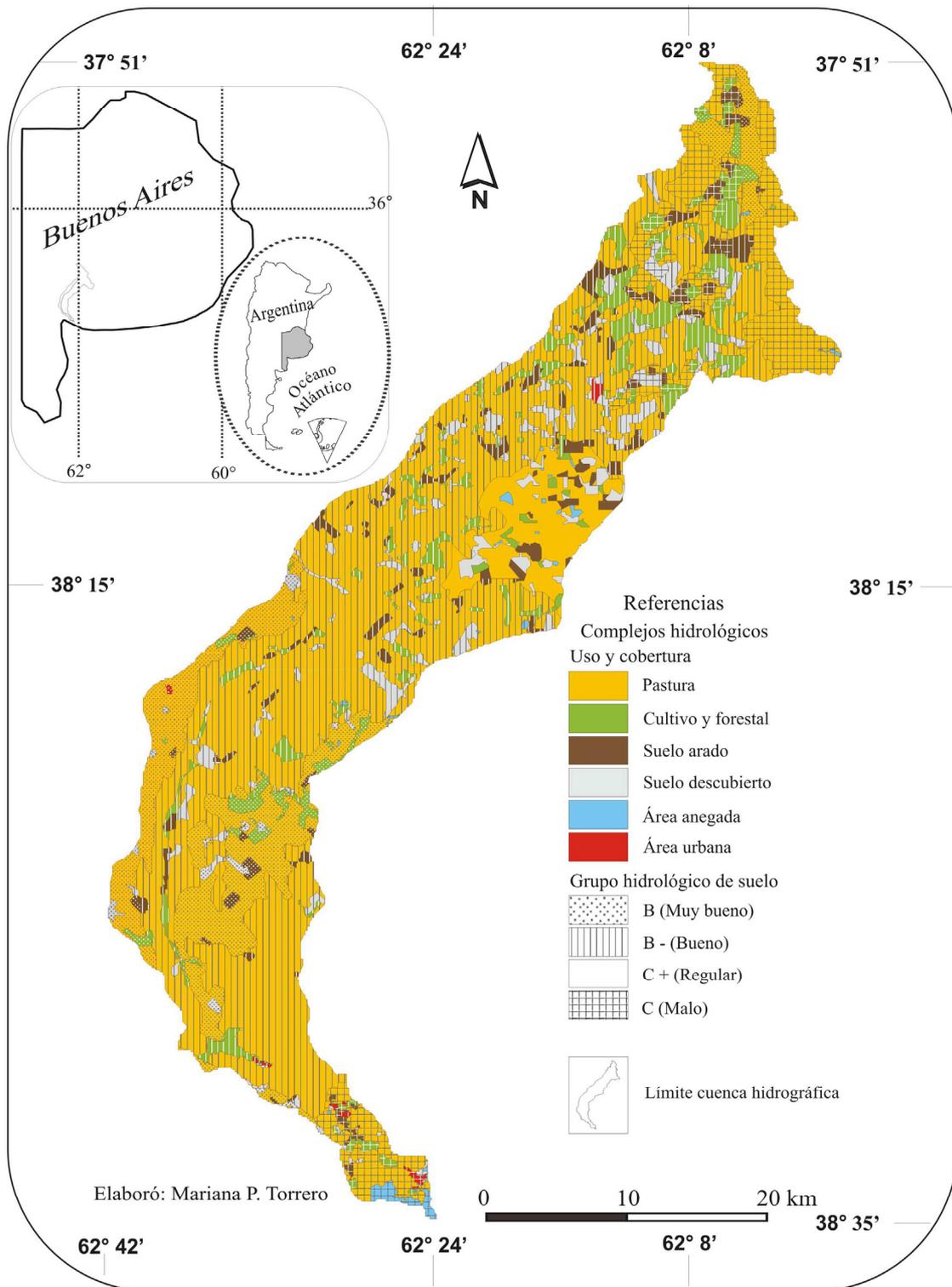


Figura 6.4. Cuenca del río Sauce Chico. Complejos hidrológicos suelo-vegetación.

Fuente: Elaboración propia.

La formación de una onda frontal a partir de un frente caliente, fue la situación que dio origen a la tormenta del 9 de noviembre de 2002 y que afectó al Suroeste bonaerense. Este sistema meteorológico muy particular se puede formar a partir de un frente estacionario, caliente o frío. En el interior de este frente se forma un centro de baja presión que define dos líneas frontales. Una nueva línea es de frente caliente y la otra nueva rama de frente frío, esta última sigue una trayectoria de dirección Suroeste a Noreste. En las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Corrientes y Entre Ríos es común la formación de estos sistemas, los cuales generan condiciones de mal tiempo caracterizados por el desarrollo de lluvias, lloviznas, nieblas, tormentas eléctricas y fuertes vientos durante 24 horas o más. Se produce durante todo el año pero especialmente entre los meses de abril y octubre (Celemín, 1984).

### **6.3.1. Situación sinóptica a las 06 Z**

El análisis isobárico correspondiente a la 06 Z (Fig. 6.5) permitió identificar dos centros anticiclónicos. Uno de ellos localizado sobre el Océano Pacífico, entre los 38° y 40° latitud Sur y 77° y 80° longitud Oeste con influencia sobre las costas del Norte de Chile, con un valor mínimo de 1.014 hPa y un valor máximo de 1025 hPa. El otro, desprendimiento del anticiclón del Pacífico, ubicado en el Océano Atlántico sobre la costa de la Patagonia Argentina, entre los 46° y 48° latitud Sur y 63° y 66° longitud Oeste. El área de influencia abarca las costas del Sur de la provincia de Buenos Aires y las costas patagónicas. El mayor valor que alcanzó fue de 1.023,6 hPa y el mínimo de 1.014 hPa.

Los centros ciclónicos se localizaron, uno al Norte de Argentina, entre los 23° y 25° latitud Sur y 63° y 65° longitud Oeste y que afectó al Norte argentino, Suroeste de Paraguay, Sureste de Bolivia, Suroeste de Brasil y Uruguay. El menor valor que registró fue de 996 hPa y el máximo de 1.009,4 hPa. Al Suroeste de Tierra del Fuego, sobre el Océano Pacífico, se ubicó el otro centro ciclónico, entre los 54° y 56° latitud Sur y 78° y 81° longitud Oeste. Este afectó principalmente al Sur de Chile y Sur de Argentina. El máximo valor fue de 1008,7 hPa y el valor mínimo de 1000 hPa. En general, el trazado isobárico permitió describir condiciones de viento suave (20 km/h) excepto en el centro del país donde el gradiente isobárico generó vientos moderados a fuertes (entre 40 y 60 km/h).

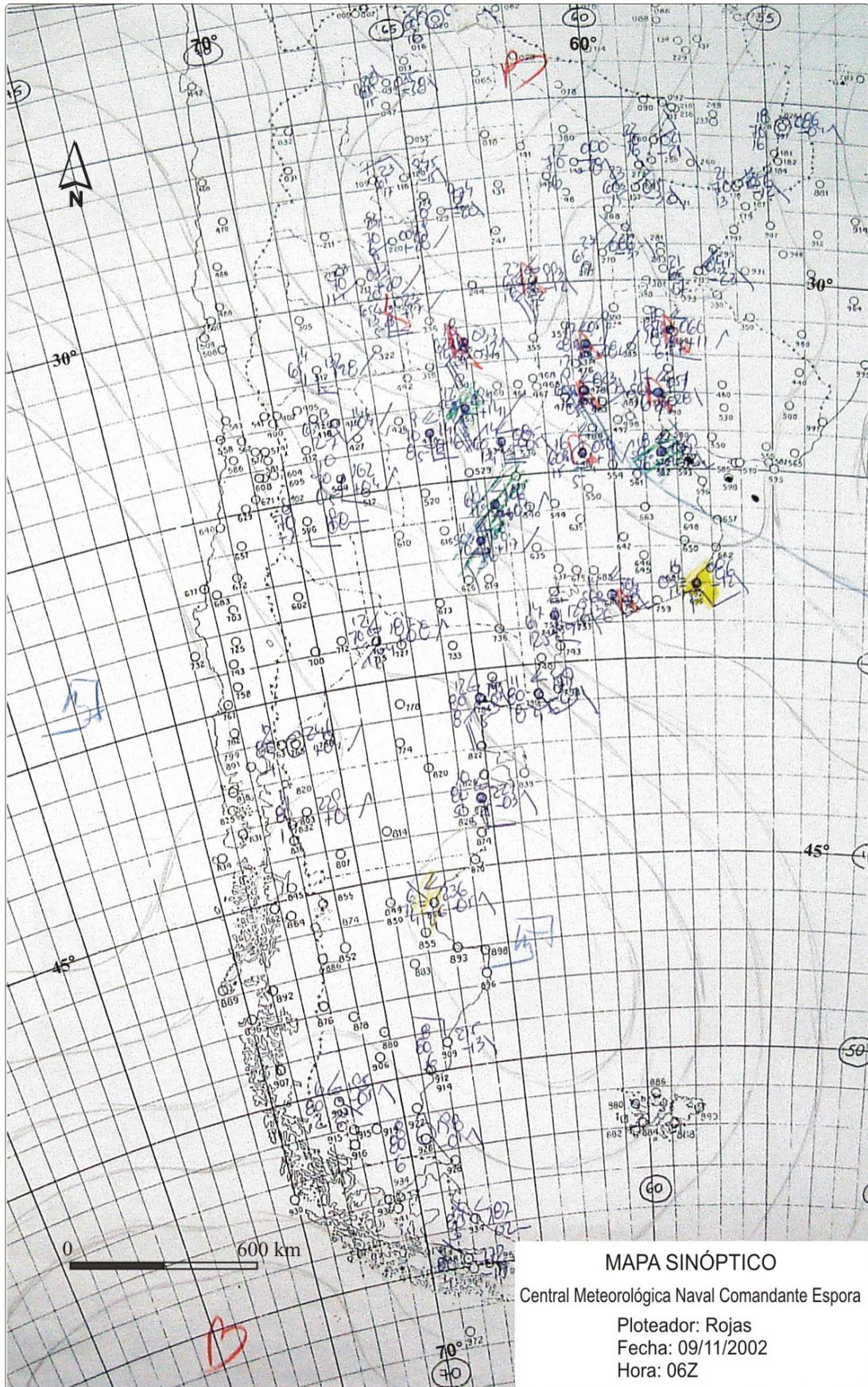


Figura 6.5. Carta del tiempo del 9 de noviembre de 2002: 06 Z.

Fuente: Armada Argentina, Central Meteorológica Naval Comandante Espora.

En el Noreste de la provincia de Buenos Aires se observa un frente frío con una línea de inestabilidad sobre el Norte bonaerense y Sur de Santa Fe. A él se relacionan las lluvias que se presentaron al Oeste y Noreste de la provincia de Buenos Aires y Sur de Córdoba y de tormentas eléctricas en el centro del país y Sur bonaerense. En la costa atlántica y en el centro de la costa patagónica se produjeron nieblas aisladas.

Sobre la provincia de Buenos Aires, el cielo permaneció cubierto con nimbostratus. Al Norte, se presenta el aire en calma y vientos suaves del sector Sur y Sureste, con temperaturas entre 16 °C y 19 °C. El Sur de la provincia registró vientos suaves de igual dirección y la temperatura fue de 14 °C. En el sector Oeste, la intensidad del viento aumentó a 60 km/h con temperaturas entre 11 °C y 14 °C y desarrollo de lluvias. Estas condiciones se extendieron sobre el Este la provincia de La Pampa y Sur de Córdoba.

### **6.3.2. Situación sinóptica a las 12 Z**

A las 12 Z (Fig. 6.6) el análisis isobárico mostró un desplazamiento de todos los centros, la generación de dos centros ciclónicos y la formación de un anticiclón. El anticiclón del Océano Pacífico se localizó entre los 35° y 40° latitud Sur y 80° y 90° longitud Oeste con el área de influencia sobre el centro y Norte de Chile, centro de Argentina y Norte de la región patagónica. Los valores alcanzados fueron, el máximo 1.026 hPa y el mínimo 1.023 hPa. El anticiclón del Atlántico se desplazó hacia el Sur y se posicionó entre los 46° y 53° latitud Sur y 56° y 66° longitud Oeste, afectando al Sur de la Patagonia e Islas Malvinas. El valor máximo fue de 1.023 hPa. En esta carta aparece un centro anticiclónico ubicado entre los 24° y 28° latitud Sur y 35° y 40° longitud Oeste que afecta principalmente el Sureste de Brasil. Sus valores son 1.014 hPa el máximo y 1.008 hPa el mínimo.

El ciclón del Norte de Argentina se desplazó hacia el Noroeste y se ubicó entre los 18° y 25° latitud Sur y 60° y 65° longitud Oeste con influencia sobre todo el Norte del país. El valor mínimo que registró fue 999 hPa y el máximo 1.005 hPa. Sobre el Océano Pacífico, el ciclón se desplazó longitudinalmente y se ubicó entre los 52° y 57° latitud Sur y 85° y 95 longitud Oeste. Afecta el Suroeste de Chile y Suroeste de Tierra del Fuego. Este centro registró un máximo de 1.008 hPa y un mínimo de 1.005 hPa. Dos ondas ciclónicas se localizaron también en el sector Antártico en donde el cielo permaneció cubierto con algunas precipitaciones y vientos suaves del Sur, Oeste, Noroeste y Este. Con respecto a los dos ciclones que se generaron, uno se ubicó

sobre el continente, al Noreste de la provincia de Buenos Aires, entre los 33° y 37° latitud Sur y 57° y 61° longitud Oeste con un valor de 1.005 hPa. El otro se localizó sobre la costa bonaerense entre los 37° y 41° latitud Sur y 47° y 53° longitud Oeste, con registros de 1.002 hPa y 1.005 hPa, mínimo y máximo respectivamente.

El ciclón localizado al Suroeste de Tierra del Fuego presentó formación de onda frontal y los últimos dos centros ciclónicos descritos en el párrafo anterior, se originaron en el interior de sistemas frontales. La trayectoria de los sistemas fue de Suroeste a Noreste. Sobre el centro de la provincia de Corrientes el frente se encontró estacionario y algo inestable. En relación con estos frentes, la provincia de Buenos Aires se encontró con cielo cubierto con nimbostratus, con precipitaciones asociadas y desarrollo de tormentas eléctricas sobre la porción continental. En el Suroeste bonaerense, adelante de la rama cálida se dieron las mayores precipitaciones con vientos moderados (20 a 40 km/h) predominantes del sector Sur, Sureste y Suroeste. El desarrollo de lluvias se extendió hasta el Oeste de la provincia de Río Negro. Las temperaturas oscilaron entre los 12 °C y 14 °C en el Suroeste de Buenos Aires, 15 °C al Oeste y entre 17 °C y 18 °C al Norte y Noreste.

### **6.3.3. Situación sinóptica a las 18 Z**

La carta del tiempo correspondiente a las 18 Z (Fig. 6.7) mostró al anticiclón del Pacífico Sur cercano a las costa chilena, ubicado entre los 35° y 40° latitud Sur y 75° y 80° longitud Oeste, extendiendo su influencia hacia el territorio argentino. El valor máximo registrado fue de 1.022 hPa. El centro anticiclónico del Atlántico se desplazó hacia el Sureste y se ubicó entre los 50° y 55° latitud Sur y 50° y 60° longitud Oeste influyendo principalmente, sobre las Islas Malvinas y el Sureste de Argentina. El valor máximo que registró fue de 1.017 hPa.

El ciclón del Norte se ubicó sobre Paraguay, con un mínimo de 997,4 hPa. Su área de influencia se extendió sobre el Norte argentino, Sureste boliviano y Sur y Suroeste de Paraguay. Se localizó entre los 20° y 25° latitud Sur y 60° y 65° longitud Oeste. El centro ciclónico en la provincia de Buenos Aires se ubicó entre los 35° y 38° latitud Sur y 57° y 61° longitud Oeste, con un mínimo desplazamiento hacia el Norte respecto del registro anterior. El ciclón costero se dirigió más al Sur, posicionándose entre los 39° y 43° latitud Sur y 47° y 52° longitud Oeste.

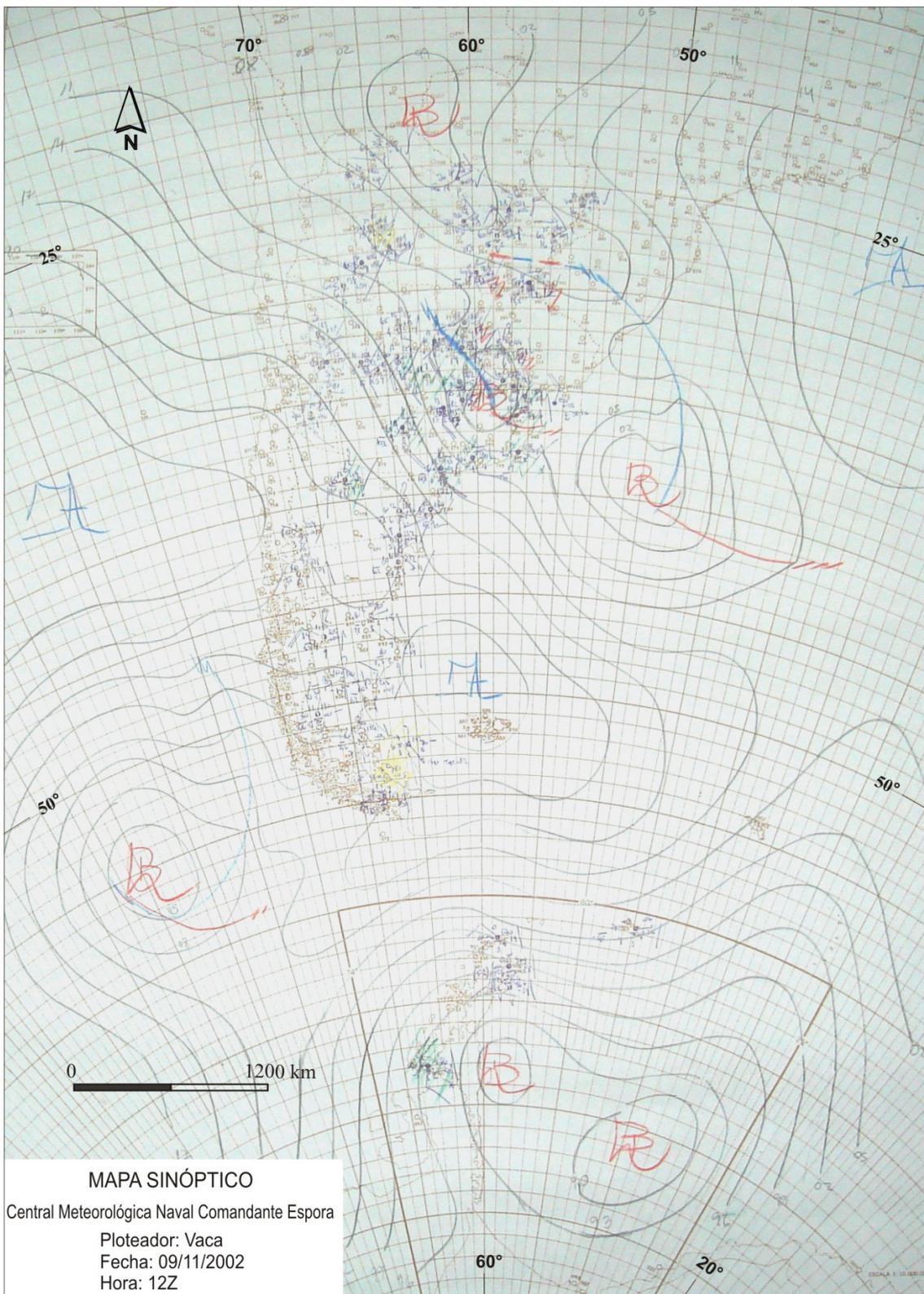


Figura 6.6. Carta del tiempo del 9 de noviembre de 2002: 12 Z.

Fuente: Armada Argentina, Central Meteorológica Naval Comandante Espora.

Los sistemas frontales relacionados con estos centros se dirigieron hacia el Este. El desarrollo de tormentas en el centro de la República Argentina y Sur de la provincia de Buenos Aires se asoció a ellos. En estos sectores el tiempo permaneció con cielo cubierto con nimbostratus. Los vientos fueron fuertes (60 km/h) del sector Sur y Sureste. Las temperaturas variaron entre 10 °C y 12 °C en el Oeste y Sur de Buenos Aires y entre 15 °C y 21 °C en el Norte y Este de la provincia. El sector patagónico presentó temperaturas de hasta 18 °C. Asimismo, se observa en el extremo Suroeste de Argentina, el ingreso de un frente frío.

El estudio y ejemplificación de la tormenta del 9 de noviembre de 2002 permitió describir una situación sinóptica de Sudestada, recurrente en el área. Estos estados de tiempo duran comúnmente 3 días y en casos excepcionales pueden extenderse a 6 días. La Sudestada aparece cuando los vientos, emitidos por un centro anticiclónico localizado en la Patagonia o al Sur de la provincia de Buenos Aires, convergen hacia un centro de baja presión situado en el Litoral o sobre el Uruguay. Los vientos, provenientes del Sureste o Este-Sureste son leves a fuertes. Al mismo tiempo, el centro de baja presión y sus frentes asociados, producen lluvias, lloviznas e incluso tormentas eléctricas. Del análisis de la evolución del tiempo hacia una Sudestada se concluye que se está en una fase 2, en evolución a fase 3. Tal como se observó, bajo esta situación meteorológica, es inminente la formación de una baja (onda frontal) dentro del frente estacionario y en el Norte de Entre Ríos o sobre el Uruguay (Fase 3). El 90 % de los días con Sudestadas, suelen ocurrir cada año entre los meses de abril y diciembre (Celemín, 1984).

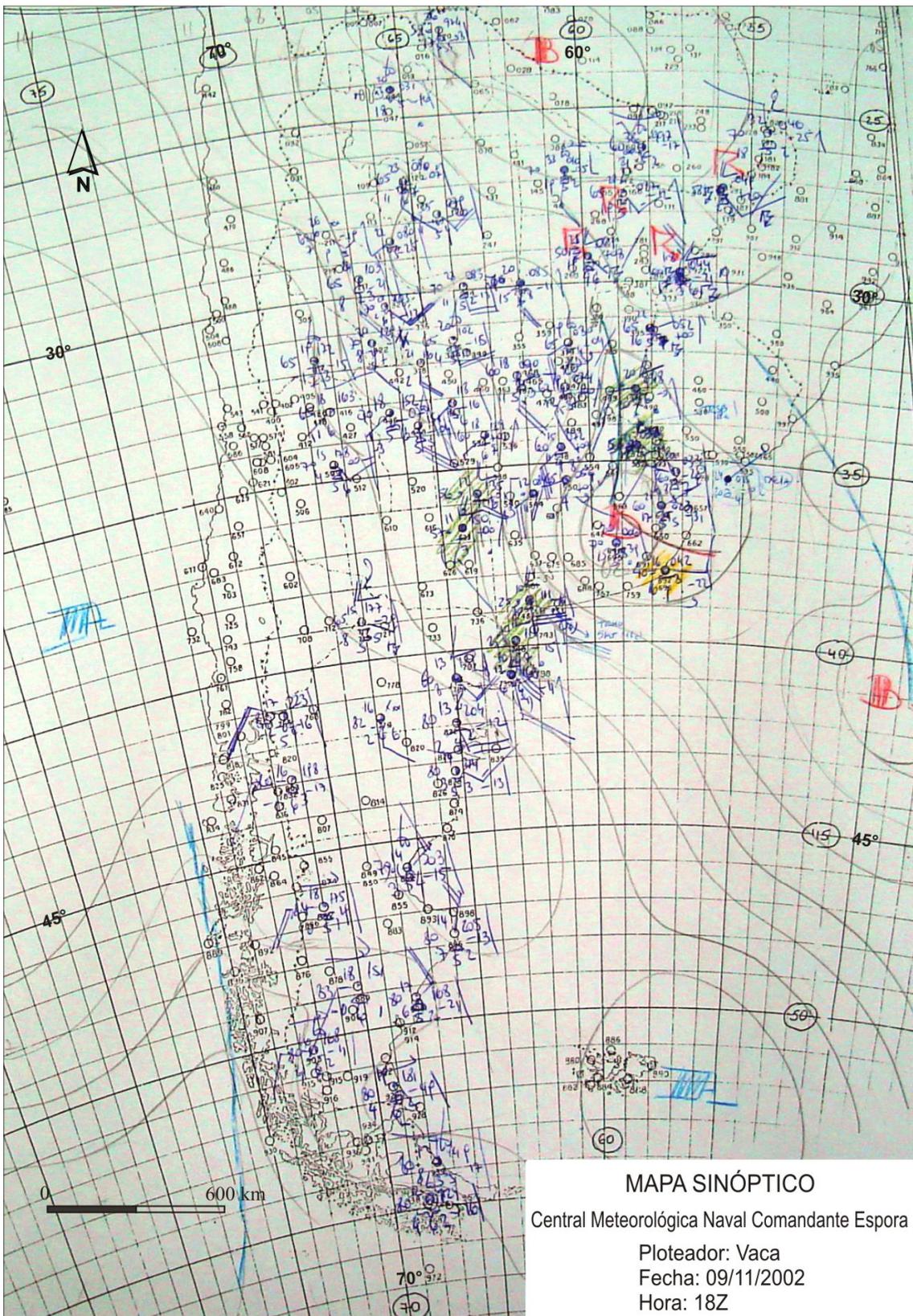


Figura 6.7. Carta del tiempo del 9 de noviembre de 2002: 18 Z.

Fuente: Armada Argentina, Central Meteorológica Naval Comandante Espora.

### 6.4. Determinación del escurrimiento

Los valores de CN permitieron calcular la precipitación efectiva o escurrimiento directo (Pe) en la cuenca del río Sauce Chico, frente a distintas condiciones de humedad previa y ante una tormenta determinada. Los coeficientes de escorrentía (CE) mostraron una relación entre CN, Pe y CE dado que ante menores valores de CN el escurrimiento directo y el coeficiente de escorrentía disminuyen. Sin embargo, frente a iguales valores de CN, la Pe y por ende el CE van a depender de la precipitación caída (Tabla 6.5). La solución de la ecuación del escurrimiento, Pe, se representó gráficamente en la figura 6.8.

Fecha	Precipitación (mm)	CN	S	Escurrimiento directo (mm)	CE
27/08/2002	78	89	30,6	50,40	0,65
12/10/2002	96	89	30,6	67,03	0,70
09/11/2002	84	78	70,5	34,81	0,41
18/12/2002	40	60	167,7	0,24	0,01

Tabla 6.5. Determinación del escurrimiento directo y del coeficiente de escorrentía en la cuenca del río Sauce Chico.

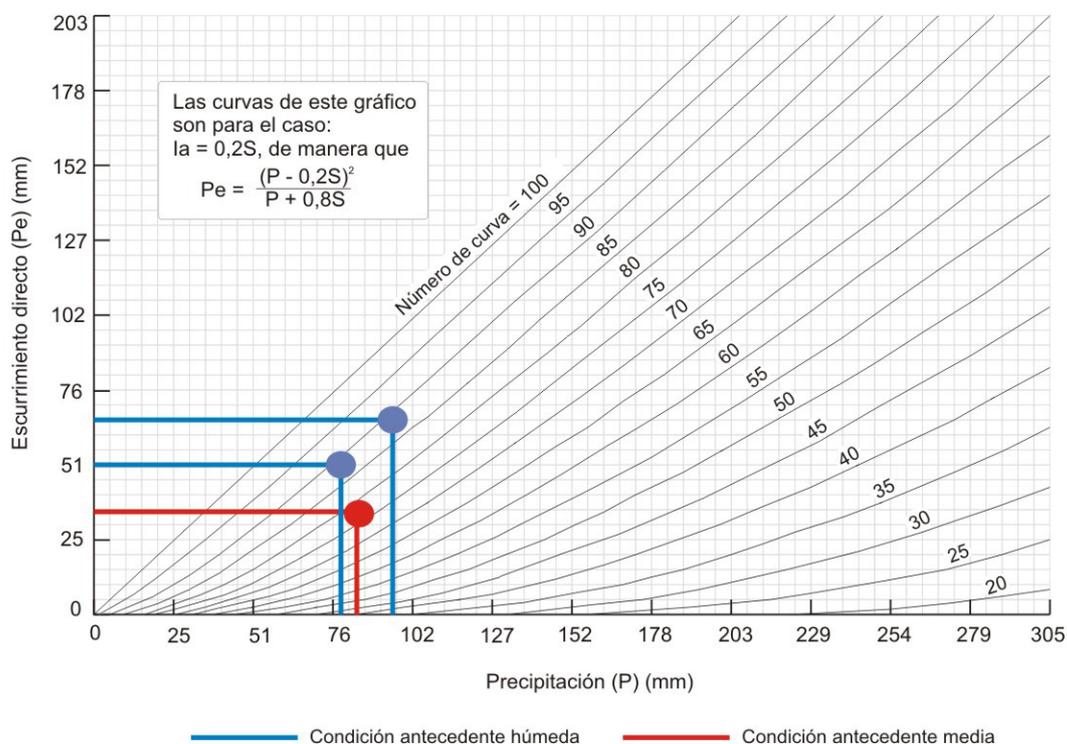


Figura 6.8. Representación gráfica de los escurrimientos directos en la cuenca del río Sauce Chico.

Fuente: Elaborado sobre la base de USSCS, 1975.

Del análisis de los resultados surge que la precipitación efectiva (Pe) es menor en la condición normal de humedad que en la condición extrema del 27 de agosto de 2002, a pesar de la mayor precipitación registrada en el primer caso. Este hecho denota especialmente, la permeabilidad de los suelos y las características de la cobertura vegetal. En situación húmeda, las mayores precipitaciones generan mayor escurrimiento y en condiciones de sequía, casi todo lo precipitado se infiltra y el escurrimiento es por lo tanto, casi nulo.

Las áreas que presentaron los más altos valores de Pe fueron las áreas pobladas, que representan el porcentaje de ocupación más pequeño de la cuenca. Le siguieron, en igual orden de importancia y en ciertas ocasiones con registros más altos, los sectores de suelo arado y suelo descubierto. Los escurrimientos mostraron disminuciones notables en áreas cubiertas de pasturas y cultivos, principalmente en el sector Sur de la cuenca media.

En síntesis, la aplicación del método del Número de Curva, empleado para determinar el potencial de escurrimiento, permite identificar a través del análisis espacial, las áreas de igual característica hidrológica suelo-vegetación. Índices de CN elevados, evidencian gran potencial de escorrentía. A medida que aumentan las precipitaciones aumentan los escurrimientos superficiales, sin embargo aquí entra en juego el rol de la cubierta vegetal. Frente a igual precipitación, la escorrentía será mayor cuando la cobertura vegetal sea más pobre. Cabe aclarar que para situaciones de lluvias torrenciales, el comportamiento del sistema natural merece un estudio particular. Sin embargo, es posible afirmar que al aumentar la lluvia, los suelos quedan saturados y la escorrentía tiende a igualar a la precipitación, incrementando la capacidad erosiva; lo mismo ocurre con las tormentas estacionales de alta intensidad luego de un prolongado período seco (Vali Khodjeini, 1997; Pulido *et al.*, 1997).

Los índices CN obtenidos en la cuenca del río Sauce Chico para diferentes condiciones de humedad antecedente (*I*: 60, *II*: 78 y *III*: 89) manifiestan que un gran porcentaje de la precipitación que cae sobre la cuenca, escurre superficialmente cuando preexisten condiciones húmedas. Ante condiciones normales, buena parte de lo precipitado se infiltra alimentando las capas subsuperficiales. En la zona analizada, las precipitaciones originadas por el desarrollo de una onda frontal, más frecuentes desde mitad del otoño hasta promediar la primavera, generan escorrentías importantes como las ocurridas el 9 de noviembre de 2002.

El mapa de los complejos hidrológicos suelo-vegetación es un aporte a la caracterización hidrológica y ambiental de la cuenca del río Sauce chico. En él se sintetizan la interpretación de las características del espacio natural y su distribución espacial. A su vez, teniendo en cuenta que el objetivo que se persigue es contribuir al ordenamiento sustentable de la cuenca, la implementación del SIG, viene en tal sentido a favorecer al logro del objetivo. Este sistema permite rápidamente actualizar los valores según los cambios de usos de suelos que se produzcan. El conocimiento del funcionamiento hidrológico de la cuenca es el elemento fundamental para la ejecución de obras civiles y forestales (Jordán Díaz *et al.*, 2004).

## C A P Í T U L O 7

---

### EL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS: USO Y MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO SAUCE CHICO

La problemática en la cuenca del río Sauce Chico se centra en el uso y manejo del recurso agua, tanto en períodos de exceso como de déficit hídrico, aspectos estos últimos analizados en los capítulos anteriores. La falta de estudios integrados de la cuenca y por lo tanto su planificación holística, incrementa los problemas ambientales y económicos que se presentan en este espacio. El mayor impacto repercute aguas abajo.

El uso mixto del suelo, para agricultura y ganadería en las cuencas media y alta y horticultura, en la cuenca baja, son el eje del desarrollo y crecimiento del sector. Estas actividades dependen de un recurso fundamental, el agua, constituyendo el río Sauce Chico la fuente de agua superficial básica. La agricultura de secano es, en general, la más adoptada. La disponibilidad hídrica también permite el desarrollo y mantenimiento de una agricultura regadía. Las producciones bajo riego, se localizan en proximidades del cauce, ocupando gran parte de la llanura de inundación. El abastecimiento se realiza a través de canales construidos a tal fin o como resulta más frecuente, por medio de equipos de bombeo. En la actualidad hay explotaciones en la cuenca media bajo riego, el agua se extrae por perforación de la capa acuífera o por bombas desde el río. En menor medida, algunos productores destinan parte de sus explotaciones para ganadería. Actualmente, la única industria que funciona y utiliza las aguas del río en su proceso productivo es La Papelera del Sur localizada al Norte de la cuenca media en cercanías de la localidad de Tornquist. Otras industrias fueron una lanera y el frigorífico CAP Cuatrerros, ubicados uno frente a otro en la desembocadura del canal Cuatrerros.

Dentro de la cuenca, se observan casos puntuales de mayor intensidad de uso y laboreo de la tierra como consecuencia del proceso de agriculturación que está sufriendo la Pampa. Estos cambios tecnológicos y productivos tienden a una mayor concentración de la propiedad de la tierra; al éxodo rural, que afecta principalmente a pequeños y medianos productores; a la reducción de las familias agrarias (Legnini, 2001). Son, en general, explotaciones arrendadas por empresas de capitales extranjeros o de nuevos propietarios, foráneos de la cuenca, que destinan fuertes

inversiones a la producción de cultivos no tradicionales para la zona como la papa y la cebolla. Esto provoca una pérdida de los nutrientes naturales del suelo que absorben los cultivos generando en consecuencia, una baja en la productividad de los mismos. La compactación del suelo producto de la mecanización de las tareas agrícolas dificulta la infiltración del agua de lluvia y provoca la escorrentía. Las parcelas más afectadas durante el año 2008 producto de las bajas precipitaciones registradas ese año, que se traducen en la falta de humedad en el suelo, coinciden con aquellas con manejos agronómicos deficientes (Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2009).

La producción agraria en el Suroeste bonaerense manifiesta una tendencia al predominio de la agricultura, sin embargo las circunstancias político-económicas y climáticas de los últimos años hicieron que en muchos casos las actividades se volcaran a la hacienda. Según la actividad dominante en el área rural de los partidos que integran la cuenca, éstos pueden clasificarse como área predominantemente agrícola, Saavedra y Tornquist y agrícola y de producción bajo riego, Bahía Blanca y Villarino (modificado de Legnini, 2001 sobre la base del estudio de campo realizado). En el caso agrícola, la ganadería y la horticultura también se encuentran presentes.

### **7.1. Materiales y métodos para evaluar el uso y manejo del recurso hídrico**

Para el análisis cronológico de la intervención antropogénica en el uso y manejo del agua en la cuenca del río Sauce Chico, se realizó la evaluación del material periodístico, suministrado por el Archivo del Diario "La Nueva Provincia", desde el año 1963 hasta el 2008. En una segunda etapa se efectuaron entrevistas según la metodología propuesta por Selltiz *et al.*, (1980) y Ander Egg (1986) (Anexo III).

El objetivo principal de las entrevistas, es estudiar las relaciones entre la representación mental que los individuos tienen del espacio y las conductas respecto del mismo. Descubrir el conocimiento que tiene cada sociedad de su espacio es indispensable para realizar un análisis de sus expectativas de desarrollo. El territorio y todos sus componentes y los estímulos de ese medio, tienen un significado diferente y provocan reacciones diversas según los individuos y sus funciones y según las épocas (Sorre, 1957; Bailly, 1979).

Según Boira i Maiques (1996), es posible que gran parte de los problemas derivados del planeamiento territorial y de los conflictos entre el estado y las

poblaciones, se deba a la falta de un análisis sobre el espacio subjetivo de los habitantes, objeto de planificación. Ellos constituyen una valiosa fuente de información a la hora de determinar el comportamiento territorial del fenómeno a estudiar por su capacidad de complementar la experiencia vivida con las políticas de planeamiento, a fin de mejorarlas. En tal sentido, la Geografía de la Percepción contribuye a perfeccionar este déficit a través del aporte de sus métodos de trabajo y su filosofía. Vilà Valentí (1983) observó, citando a Kevin Lynch, que la construcción de las imágenes ambientales son el resultado de un proceso de retroalimentación entre el observador y su medio ambiente. Él sostiene, que el medio ambiente sugiere particularidades y relaciones y que es precisamente el observador quien elige, organiza y asigna de significado lo que ve, según su destreza y a la luz de sus propios objetivos.

Al respecto, Wolpert (1964) en un estudio de los sistemas agrícolas de Suecia comprobó que las decisiones vienen condicionadas por diferentes percepciones. Algunos autores, para mejorar la observación, añadieron a las preguntas efectuadas en las encuestas o entrevistas, complementos adicionales como estímulo. Los dibujos y mapas, las diapositivas y los símbolos constituyen métodos originales (Bailly, 1979; Lynch, 1960; Sonnenfeld, 1967; Beck, 1967). Millán Escriche (2004) propone la utilización de esta metodología para conocer cómo quieren encauzar su desarrollo los habitantes de un espacio concreto del medio rural.

Por ello, el trabajo de campo y las entrevistas son los medios más importantes para recopilar este tipo de información (Bosque Sendra y Díaz Muñoz, 1991; Santarelli de Serer y Campos, 2002; Pérez, 2005; Millan Escriche, 2004). Las razones expuestas justifican plenamente la elección de la entrevista personal como técnica para averiguar los aspectos señalados hasta aquí. La superficie del área de estudio, las grandes distancias entre los productores y las dificultades de accesibilidad hasta sus hogares son los factores que determinaron la cantidad de entrevistas que debían realizarse. Se entrevistaron a 10 pobladores rurales y a 2 informantes claves.

En función de los datos suministrados por los entrevistados, por la calidad de sus experiencias y conocimientos y su localización dentro de la cuenca, la cantidad de entrevistas realizadas se consideran representativas del área de estudio.

## **7.2. Evolución del uso y manejo hídrico aguas abajo a partir del análisis de material periodístico y otras fuentes**

Los registros que evidencian las problemáticas que deben enfrentar los pequeños productores y horticultores en la cuenca media y baja datan de 1963. Por entonces, el río no contaba aún con sus márgenes estabilizadas y su lecho se encontraba obstruido con malezas, provocando en consecuencia, desbordes constantes que inundaban caminos y tierras cultivadas y cultivables. El tramo afectado era entre General Cerri y Nueva Roma, desde aquí y hasta las nacientes en las sierras, el deslizamiento de las aguas era seguro por la existencia de barrancas de una altura de entre 5 a 8 m (LNP, 13/08/63).

Los trabajos de canalización comenzaron en agosto de 1969. Fue un emprendimiento conjunto entre los organismos municipales de Bahía Blanca y Villarino, Dirección de Hidráulica de la provincia de Buenos Aires y los vecinos. La obra tendría una extensión de aproximadamente 30 km, entre General Cerri y Nueva Roma (LNP, 21/08/69) y el objetivo era terminar con el problema de las inundaciones en las zonas de quintas de General Cerri ante los desbordes del Canal Cuatrerros. Nada se hizo hasta que en 1975 (LNP, 26/07/75) dos proyectos, N° 1249 y 1203, relacionados con el estudio integral de la cuenca y la canalización del Sauce Chico fueron aprobados por la legislatura bonaerense. El estudio debían realizarlo la Dirección de Hidráulica y la Universidad Nacional del Sur.

En cuanto al aprovechamiento de sus aguas, se comunicó la posibilidad de levantar un dique en el río Sauce Chico, a la altura de Chasicó. De él se desprendería un conducto que empalmaría con el Dique Paso de las Piedras, cuyo objetivo sería obtener una nueva fuente abastecedora de agua para la ciudad y su zona de influencia. Un aspecto importante lo constituía la posición altimétrica del río en la zona de captación. Esta diferencia de altura favorecería la transmisión por gravedad hasta el lugar de consumo, permitiendo disponer del agua con una presión de 30 m de altura y sin bombeo. Tampoco sería necesaria la construcción de otra planta potabilizadora (LNP, 28/01/77). La obra permitiría el riego permanente asegurando la producción de una gran zona; el consumo y el aprovechamiento industrial del agua que sería destinada a una siderúrgica que se instalaría en Coronel Rosales (SIDINSA) (LNP, 16/10/77).

El 29 de noviembre de 1977 los más de 200 mm que precipitaron en el área de Sierra de la Ventana, generaron un enorme caudal que hizo que las aguas del río Sauce Chico salieran de su cauce. Este evento provocó anegamientos y desbordes en una amplia zona de chacras y quintas en Alférez San Martín y General Cerri. El agua “arrasó con cultivos, animales, alambrados...el esfuerzo y riqueza de muchos meses de trabajo”, dejando desolación e incertidumbre en los pobladores (LNP, 01/12/77). En marzo de 1978 una situación similar se presentó pero las pérdidas fueron menores porque la lluvia fue menos intensa. Aún no se habían realizado ninguna de las obras prometidas.

En abril de 1978 se firmó el Convenio para la limpieza del río y canalización. En los tramos donde el río tenía un ancho de 1,5 m sería ampliado a 8 y 12 m para permitir un mejor escurrimiento de las aguas. Con estas obras se aclaró que los riesgos de las crecidas no serían solucionados definitivamente sino que ésto se lograría con la construcción del embalse (LNP, 01/07/78). Al poco de iniciadas las actividades, las obras fueron suspendidas por el ente provincial por considerar que el sistema empleado era lento y sólo se había realizado 7 km del total proyectado.

Sin embargo, lo poco construido tuvo éxito y ello se comprobó ante las lluvias abundantes caídas en la zona el 29 y 30 de diciembre de 1978 (LNP, 31/12/78). Con la canalización, además de la limpieza del interior del antiguo y sinuoso cauce, la extracción de grandes árboles y la formación de un bordón, en ambas márgenes para contención en caso de crecida, se logró una amplitud de 8 m base fondo. Las obras llegaban hasta el sector Las Horquetas (LNP, 23/04/79). Por entonces, el Ing D. Coccia, Secretario de Obras Públicas y Planeamiento afirmó que con estas construcciones, las crecidas medianas del Sauce Chico serían absorbidas sin inconvenientes por el nuevo cauce, no así las extraordinarias que sólo podrían ser contenidas cuando se concretara el dique. El intendente de Bahía Blanca en aquel momento, el Sr. Puente, enfatizó que muchos de los pobladores que estaban por emigrar del área inundable, se afincaron con mayor tesón para seguir trabajando la tierra, que ahora se encontraba protegida de las inundaciones y la salinización del suelo (LNP, 14/08/79).

Las obras se encontraban paralizadas y los 50 mm de lluvia caídos en el área serrana, entre el 21 y 22 de noviembre de 1979, aumentaron el caudal del río. Esto afectó a quinteros y criaderos de aves y porcinos ubicados en el trayecto que hasta ese momento no había sido profundizado. En abril del año siguiente se reiteran las

promesas de continuidad de las obras sobre el río, confirmando la aptitud del canal Cuatrerros de evacuar 10 m<sup>3</sup>/seg que junto a los 98 m<sup>3</sup>/seg del cauce principal, se lograría un caudal máximo de 108 m<sup>3</sup>/seg aguas arriba de La Horqueta. También se lograría una diferencia de altura entre Nueva Roma y la desembocadura del río de 64 m que posibilitaría un flujo veloz del agua. Asimismo, se construirían 7 puentes sobre el Sauce Chico y 8 sobre el canal Cuatrerros (LNP, 14/03/80, 14/04/80).

La necesidad de un estudio integral de la cuenca para ver la factibilidad de realizar retenciones aguas arriba con el objetivo de evitar el peligro de inundación como también la regulación del caudal, se plantea en sucesivas oportunidades y nuevamente en junio de 1980 (LNP, 19/06/80). El estudio no se hizo, sin embargo ese mismo año, mediante el Decreto 1856/80, el gobernador de la provincia de Buenos Aires autorizó al Ministro de Obras Públicas a contratar a la firma Construcciones Lama SACICIF-Coimbra S.R.L. Esta empresa tendría a cargo la canalización del río y del canal en cuestión, en el marco del artículo 15 de la Ley 9.528 que faculta al Poder Ejecutivo a contratar la prestación de servicios de urgencia. Se consideraba de carácter urgente la realización de esta obra por su fin, mitigar los efectos como consecuencia de las crecidas (LNP, 09/10/80).

Artículo 15 de la Ley 9.528. Se autoriza al Poder Ejecutivo o a titulares de entidades autárquicas, a ejecutar obras y contratar la prestación de servicios o suministros, con destino a solucionar las situaciones o a reparar los perjuicios causados por las inundaciones, en los casos en que se encuentre comprometida, la seguridad o la salud de personas o, en forma inminente, si el deterioro o destrucción de estos afectare o pudiere afectar el interés público.

Según el informe técnico presentado en aquella fecha por las empresas encargadas de la ejecución de las obras, Copal y Coimbra S.A., el río tendría una vez concluidas las mismas, un ancho de caja de entre 11 y 12 m, un ancho de taludes de 29 m y una profundidad de 4,5 m. Su finalización estaba prevista para fines de febrero de 1981 (LNP, 17/12/80). Los plazos se sobrepasaron y otra vez más el objetivo fue postergado (LNP, 24/02/81). Algunas de las razones fueron la falta de un estudio previo de los suelos, la necesidad de efectuar correcciones en las obras previstas mediante la construcción de terraplenes y contrafuertes para evitar la erosión de las márgenes, etc. (LNP, 20/04/81, 13/05/81). En marzo de 1982 las obras se reiniciaron parcialmente (LNP, 12/03/82) pero en 1983 la canalización entre Alférez San Martín y Nueva Roma aún no se había realizado.

En junio de 1989 vuelve a plantearse la necesidad de construcción de un dique sobre el río Sauce Chico, en esta oportunidad, mediante un proyecto del entonces concejal Juan C. Schefer del bloque de la Unión Cívica Radical. Hasta enero de 2009 el Ing Schefer se desempeñó como Jefe de la Sede de la Autoridad del Agua sita en la ciudad de Bahía Blanca (LNP, 27/06/89).

### **7.2.1. Los desbordes producto de las intensas lluvias**

Los problemas originados a los pobladores ribereños por el desborde del río Sauce Chico en la zona comprendida entre las localidades de General Daniel Cerri y Nueva Roma datan desde muchos años antes a que apareciera plasmado en el periódico. Aproximadamente, por el año 1920, fecha en que comenzaron a instalarse los inmigrantes italianos en la región.

Un evento sucedido en septiembre de 1964, motivó que el 30 % de la población ribereña debiera emigrar y se perdiera el aprovechamiento del 81 % de tierras al ser anegadas por las aguas. De 3.439 ha útiles 2.878 fueron afectadas ocasionando pérdidas económicas a los propietarios y en definitiva a la economía regional (LNP, 1964). Las copiosas lluvias en las nacientes aumentaba el caudal del río provocando la salida de su cauce y el anegamiento de grandes extensiones de tierras ocasionando daños materiales y peligros a los granjeros que se ubicaban en sus márgenes. En Alférez San Martín, se constató que de 1.644 ha, 1.314 se encontraban improductivas; en Sauce Chico, de 1.805 ha, 1.492 no podían ser trabajadas, lo que representaba en ambos casos, más del 80 % (LNP, 27/09/64).

Ante estas sucesivas situaciones y con el objeto de atemperar el impacto se profundizó el cauce, se levantaron las márgenes, se remarcaron los meandros, etc. pero todas estas acciones sólo paliaron los efectos. El problema era doble, por un lado los inconvenientes y peligros que se provocaban con las crecidas y desbordes y el otro, económico, porque perjudicaba a la actividad hortícola. Esto motivó a que durante esta década muchos de los pobladores del área abandonaran la actividad, tan importante para Bahía Blanca por ser centro de consumo de lo producido en las quintas y granjas. Ya por estas épocas se hablaba de estudios que contemplaran el aprovechamiento de las aguas con la implementación de obras para destinarlas para irrigación y ganar así tierras de cultivo (LNP, 11/1966).

Las intensas lluvias de entre el 9 y 10 de julio de 1980 provocaron nuevamente el desborde del río con sus consecuencias ya comentadas (LNP, 11/07/80). El 26/04/82 el río desbordó otra vez, arrastrando troncos y malezas con singular violencia. También resultaron anegados campos cultivados entre Alférez San Martín y Nueva Roma, rotura de alambrados, terraplenes y canales de riego en otros sectores (LNP, 27/04/82). El temporal causó la rotura del puente ubicado en el kilómetro 707 de la ruta nacional 3 Sur que une los partidos de Bahía Blanca y Villarino y un puente ferroviario que vincula a la Colonia La Merced con General Cerri. Según se explicó en aquel momento, la inutilización del primer puente, se produjo como consecuencia de la canalización del cauce que ante el mayor caudal socavó ambos taludes y lo dejó en una condición deficiente para el tránsito (LNP, 04/11/88). En enero de 1983 (LNP, 19/01/83) comenzó la construcción del puente “Bailey”, en reemplazo del parcialmente destruido en el kilómetro 707. El mismo venía a cumplir una función transitoria hasta que la estructura de hormigón armado fue habilitada en enero de 1985 (LNP, 04/01/85). En 1991 fue habilitado en el lugar un puente del tipo colgante y en el año 2003, el revestimiento de este nuevo puente fue restaurado así como también las márgenes del cauce (LNP, 22/10/91, 04/04/03) (Fig. 7.1).



Figura. 7.1. Puente colgante de la Ruta Nacional N° 3 sobre el río Sauce Chico.

Fuente: Relevamientos realizados en el invierno de 2007 y verano de 2009.

Las lluvias continuaron durante 1982 y en la zona la situación siguió empeorando. Se estimaron que aproximadamente unas 2.700 ha se encontraron bajo el agua entre Nueva Roma y Alférez San Martín, un empleado de un establecimiento rural dijo: “hasta el ganado vacuno está corriendo peligro de ser llevado por el agua y hoy ví como un ternero era arrastrado”. Asimismo, se siguieron resaltando las falencias de la obra junto con la falta de conclusión de la misma. En esta fecha, también el canal Cuatrerros había desbordado y ocasionó graves daños en los distintos establecimientos rurales situados junto a sus márgenes (LNP, 29/04/82).

En 1993 la intensa correntada socavó los cimientos de un puente de metal que unía los partidos de Villarino y Bahía Blanca y el desborde de las aguas perjudicó a los cultivos e instalaciones en la zona de quintas de General Daniel Cerri. El desborde se produjo en el canal Cuatrerros, a partir de la bifurcación en el Paraje La Horqueta como consecuencia de las fuertes lluvias registradas en el sistema de Ventania que alcanzaron los 250 mm. Los caminos a la zona de acceso de quintas se tornaron intransitables pudiendo ingresar sólo aquellos arrastrados por tracción a sangre (LNP, 08/04/93).

Con miras al desarrollo de una primera etapa, de una serie de obras necesarias para reordenar la explotación del recurso hídrico, en abril/mayo de 1993 comenzó la construcción del sistema de compuertas sobre el canal Cuatrerros. La cuenca inferior del río Sauce Chico venía siendo fuertemente afectada por las crecidas por lo cual debían tomarse medidas que mitigaran los inconvenientes. La función de esta estructura de tres compuertas de madera dura, era regular la entrada de agua derivada del río Sauce Chico para evitar que la capacidad de conducción fuera superada por el caudal ingresado. La obra también permitiría controlar las periódicas inundaciones que se producían y que acarrearaban serios daños económicos en las explotaciones hortícolas del sector (Fig. 7.2) (LNP, 26/04/93, 07/05/93).

Las obras en el Paraje La Horqueta destinadas a nivelar el ingreso de agua al canal Cuatrerros comenzaron en octubre de 1998. El derivador de La Horqueta fue construido prácticamente con bolsas que se pierden ante cada creciente (Fig. 7.2). La tarea debió efectuarse porque ante la profundización del cauce, los productores hortícolas de General Cerri, dependientes del canal, se veían privados del ingreso de agua en los períodos de mayor necesidad (LNP, 29/01/00). El ingreso de agua al canal Cuatrerros se dificulta debido a que el escurrimiento natural es hacia el cauce principal, lo cual se agrava por la cantidad de sedimento depositado en el lecho, razón que

justifica la necesidad de una limpieza permanente. En tal sentido, los mismos productores deben y actualmente lo hacen, construir una empalizada y colocar bolsas rellenas de tierra en forma de talud para permitir el ingreso de agua al canal. La precariedad de la infraestructura desaparece frente una lluvia importante (Fig. 7.2).

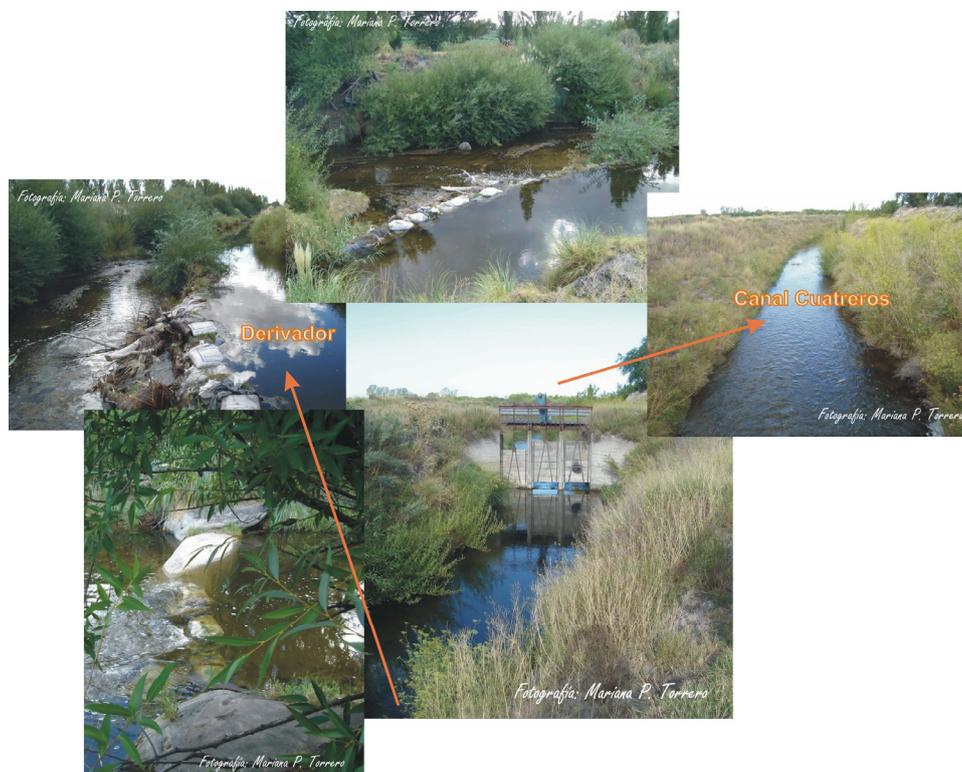


Figura 7.2. Derivador y sistemas de compuertas en el Paraje La Horqueta sobre el río Sauce Chico. Lugar de nacimiento del Canal Cuatrerros.

Fuente: Relevamiento realizado en enero de 2009.

Entre marzo y abril de 1999 se realizaron obras de protección de las márgenes del río en la zona de Alférez San Martín con el objetivo de evitar las inundaciones en General Cerri y las quintas aledañas y lograr la recuperación del camino. También se efectuó la construcción de un azud en el Paraje La Horqueta y la limpieza del canal Cuatrerros (LNP, 04/04/99). En el 2001, continuaba predominando la prioridad de asegurar una permanente limpieza y conservación. El fin de los trabajos era impedir eventuales anegamientos frente a copiosas precipitaciones, como requisito ineludible para facilitar el funcionamiento de las parcelas hortícolas, un total de 900 hectáreas (LNP, 14/11/2001).

Los intentos realizados desde el 2006 para construir un derivador de materiales resistentes ante el aumento del caudal en el Paraje La Horqueta y que posibilite el manejo racional y efectivo de las aguas del río, no se concretaron hasta la fecha. La disponibilidad de agua es irregular y esto obliga a los horticultores a adoptar soluciones de emergencia, totalmente precarias, colocando bolsas, troncos y otros elementos a fin de prevenir eventuales crecidas. Ante la avenida de un caudal de magnitud, estas barreras no resisten y los obstáculos son arrastrados obstruyendo y endicando el cauce en sectores inapropiados.

### **7.2.2. El recurso hídrico en peligro: falta de lluvias, bajo caudal y riego**

La disminución del caudal se originaba por la falta de precipitaciones y a ello se sumaba el funcionamiento de bombas en la cuenca superior empleadas para extracción de agua para el riego de pasturas. Durante los años 1994 y 1995 la baja pluviométrica registrada, 646 y 460 mm anuales respectivamente y la reducción de los costos en la implementación de equipos de riego, produjeron inconvenientes en el abastecimiento de agua. El hecho incrementó la necesidad de una solución urgente en el manejo del recurso que posibilitara el aprovechamiento equitativo del mismo (LNP, 01/10/96). La fuerte sequía del año 95 impactó en los pequeños productores y así, quedó documentado en la prensa local. Ellos señalaron que “la instalación de bombas de gran capacidad en la cuenca alta del Sauce Chico, para el riego de pasturas, dificulta, en épocas de lluvias insuficientes, la utilización del agua para los sembrados del curso inferior” (LNP, 05/11/1995).

Para fines del año 1996 el riego clandestino iba creciendo con el consiguiente riesgo de perturbar las condiciones naturales. Las acciones para solucionar este conflicto, venían de la mano de la creación del Comité de Cuenca. El problema era aún más grave por el aumento de la venta de equipos móviles y fijos de riego para los campos. La situación se evidenciaba en todos los ríos de la región. Respecto del río Sauce Chico, los problemas se presentaban en la cuenca media, junto a la ruta 35 y su cauce era uno de los más comprometidos por las extracciones (LNP, 12/11/96). En 1997, de 50 regantes potencialmente actuantes, 48 no tenían autorización (LNP, 22/01/97).

Una tarea permanente que debía realizarse era la limpieza del partidior como consecuencia del embancamiento de arena que no permitía el ingreso de agua al canal Cuatrerros y por ende, alimentar al sector de quintas frutihortícolas

(LNP, 18/07/97, 24/07/97). En 1999, el Programa Regional para el Aprovechamiento de Ríos y Arroyos del Sudoeste Bonaerense señala que: “sobre ambas márgenes del Sauce Chico, abundan equipos de bombeo de capacidad variable”, constituyendo una problemática reiteradamente expuesta en el diario local. “Muchas veces, éstos no concuerdan con la superficie a regar y con las horas de bombeo diario. Por ello, es que se pretende racionalizar también la tecnología de riego”, sostiene el ente (LNP, 11/10/99).

Para el año 2000, grandes propiedades localizadas en la parte media de la cuenca empleaban grandes equipos mecanizados para riego, denominados de aspersión de pivote central. Mediante estos sistemas se extraen ingentes cantidades de agua del río y de la capa acuífera, que aumenta cuando se trabaja continuamente, como usualmente se hace con esta clase de sistemas, superando diariamente las 21 h (LNP, 12/11/96; Luque, 2000). En consecuencia, la situación se tornó nuevamente crítica en enero de ese año. Los más afectados fueron principalmente los 60 productores localizados en la cuenca baja en el denominado cinturón frutihortícola de Bahía Blanca, ubicados en las márgenes de Alférez San Martín, Colonia Sauce Chico, Villa Elisa, La Merced, Villarino Viejo y General Daniel Cerri. De un sector cultivable de unas 4.000 ha, en la fecha se explotaban tan sólo aproximadamente unas 1.000. La mayor parte de las explotaciones eran de entre 10 y 20 ha y sólo 3 superaban esa extensión.

Sumado al déficit hídrico imperante en la región desde hace más de 3 años, en mayo de 2008 comienzan a quebrar emprendimientos locales generadores de alimentos con un saldo de emigración de 60 productores. La situación continúa agravándose por las condiciones climáticas y por los incesantes bombeos realizados aguas arriba.

### **7.2.3. El Comité de Cuenca del río Sauce Chico**

A fines del año 1995 nace entre los actores locales, la idea de integrar un Comité de Cuenca en el río Sauce Chico con el propósito de lograr una más eficiente utilización de sus recursos. Estaría integrado por los municipios con jurisdicción sobre el río, productores agropecuarios y hortícolas, la Dirección Provincial de Hidráulica, la Universidad Nacional del Sur (UNS) y el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA). En el marco de las actividades a desarrollar, se incluía la reglamentación del riego mediante turnos, la instalación de equipos de regadío vinculados con los sistemas

productivos y alternativas de producción propuestas por la UNS y el INTA, en función de los recursos disponibles en la zona.

Definitivamente, el Comité de Cuenca Hídrica del río Sauce Chico fue creado por Resolución N° 108/96 y disposición N° 1.307 del Ministro de Obras y Servicios Públicos de la provincia de Buenos Aires. En dicha norma se prevé su conformación por los municipios de Villarino, Tornquist y Bahía Blanca, entidades intermedias propuestas por ellos y la Dirección Provincial de Hidráulica. Si bien en el territorio provincial ya funcionaban otros comités, éste era el primero en implementarse para explotaciones agropecuarias, los otros estaban dirigidos únicamente a la preservación del recurso natural, crecidas e inundaciones (LNP, 05/11/95; DPH, 1996).

Inmediatamente se habilitó, en cada municipio, un registro de riego en el cual deberían anotarse todos aquellos productores que se proveían de agua del río Sauce Chico. Además de la identificación personal, se debería hacer constar el caudal de metros cúbicos por segundo que se utilizaban, la superficie en hectáreas de las parcelas, tipo de cultivos que se realizaban, sistema de riego empleado y la ubicación catastral de las explotaciones.

Los objetivos de la comisión eran (LNP, 22 y 29/09/96, 01/10/96, 20/02/97):

- Promover la regularización del riego y el saneamiento de la cuenca, informando a los sectores de la producción local.
- Recopilar y evaluar antecedentes hidrológicos, meteorológicos, fotointerpretación, imágenes satelitales, estudio de suelos, etc.
- Reglamentar el funcionamiento del comité.
- Abrir el registro de riego del río Sauce Chico en cada uno de los partidos.
- Elaborar un Pliego de Bases y Condiciones para la ejecución de un Plan Director de Regularización del río Sauce Chico a fin de proveer del estudio integral de la cuenca. Los estudios se realizarían desde el punto de vista hidrológico, geológico, tipo de cultivos, superficie a regar, obras necesarias, leyes y manejo de riego, entre otros. Éstos se llevarían a cabo en un marco de preservación del recurso natural a través de un manejo integral de la cuenca.

El entonces Director de Hidráulica, Ing. Marcelo Talanchuk, sostenía que para el dominio de situaciones de exceso y déficit hídricos era necesario el desarrollo de estudios específicos que caractericen a la región y que brinden una adecuada definición de las condiciones ambientales de la cuenca. En tal sentido, la creación de

una lista de regantes era imprescindible frente al escaso caudal del río, 1,5 m<sup>3</sup>/seg en promedio, para lograr que no se alterara su equilibrio ecológico (LNP, 12/11/96).

El ente encargado de ordenar el uso del recurso mediante turnos y láminas de riego adecuados era el Programa Regional para el Aprovechamiento de Ríos y Arroyos del Sudoeste Bonaerense. Este organismo afirmó en 1999, que llegó “el momento en que todos los cauces menores se ajusten a las normas de ordenamiento, para una equitativa distribución de sus caudales, evitando que algunos rieguen en demasía y otros carezcan por completo de tan vital elemento”. En tal sentido, una de las tareas más relevantes fue encomendada al Ing. Luque y al Lic. Paoloni, del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. Ambos realizaron una detallada investigación tendiente a obtener un modelo de utilización prototipo para el río Sauce Chico. El objetivo planteado era ajustar, con fines de riego, la reglamentación de un código de aguas elaborado por el equipo, a modo de ordenador para la nueva Ley de Aguas de la provincia de Buenos Aires que por entonces fuera sancionada (Luque y Paoloni, 2005; LNP, 11/10/99). Dada la importancia de la regulación y uso racional del agua, en noviembre de 1999 comenzó a formarse un Consorcio de Regantes (LNP, 30/11/99).

Llegó fin del año 2001 y aún no se había logrado el Estudio de Sistematización y Aprovechamiento del río Sauce Chico (LNP, 22/10/99, 08/11/01).

La Autoridad del Agua, de acuerdo con lo normado por el artículo 121 de la ley 12.257, creó por Resolución N° 339/04, el Comité de la Cuenca Hídrica del río Sauce Chico, en respuesta a diversas gestiones realizadas por lo municipios de Bahía Blanca, Villarino, Tornquist y Saavedra (Fig. 7.3).

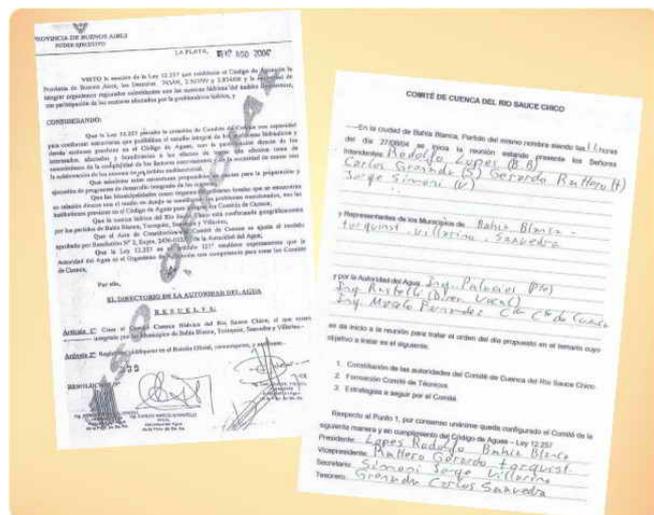


Figura 7.3. Actas de resolución y constitución del Comité de Cuenca del Río Sauce Chico.

Fuente: Documentos suministrados por el Ing. Schefer (Jefe de la Autoridad del Agua, 2009)

El objetivo era dar solución a la constante problemática hídrica que padecen los pobladores asentados en proximidades de dicho curso de agua. En el año 2004, en la provincia de Buenos Aires, ya funcionaban 17 comités de cuenca creados por la Autoridad del Agua, entre ellos, el del río Sauce Grande perteneciente al Suroeste bonaerense (LNP, 26/08/04). En esta oportunidad se esperaba lograr un ordenamiento adecuado en la cuenca mediante la participación de las partes interesadas localmente y sin depender de la burocracia central que condujo a que fracasase el estudio integral propuesto un par de años atrás (LNP, 13/09/04).

Posteriormente a esta última fecha, en octubre de 2005, se solicitó al Presidente de la Autoridad del Agua (ADA) en reiteradas oportunidades y mediante proyectos, convoque al Comité de Cuenca del río Sauce Chico con el propósito de abordar temas de preocupación de los productores hortícolas del sector. En septiembre de 2008 se firmó un convenio entre el directorio de la ADA y los intendentes de los partidos involucrados, para reactivar el Comité de Cuenca. Desde su reunión constitutiva y hasta el presente, este organismo no se reunió más de un par de veces y no desarrolló ningún proyecto (Honorable Concejo Deliberante 11/10/2005, 47/2008, 707/2008; LNP, 11/09/2008).

En síntesis, el Comité de Cuenca quedó formalmente constituido en agosto de 2004, pero a la fecha no se ha puesto en marcha y por lo tanto no han comenzado los estudios y obras para la sistematización y aprovechamiento del recurso hídrico (LNP, 18/05/2008, 11/08/2008).

Al momento de presentación de esta investigación, se encuentra aprobado el Proyecto de Estudio de la factibilidad de sistematización y aprovechamiento de la cuenca del río Sauce Chico. Frente a la situación planteada en la cuenca baja, la Autoridad del Agua presentó esta idea-proyecto ante el Consejo Federal de Inversiones quien la aprobó como prioritaria. La asistencia técnica-profesional para efectivizar el estudio contará con el apoyo de profesionales de la Universidad Nacional del Sur, principalmente de los Departamentos de Ingeniería y Agronomía.

#### **7.2.3.1. El Código de Agua**

Los proyectos de creación de un Código de Aguas para la provincia de Buenos Aires datan de 1929. Sin embargo recién se concretó el 26 de enero de 1999 mediante la Ley N° 12.257 "Código de Aguas - Régimen de protección: Conservación y manejo

del recurso hídrico de la provincia de Buenos Aires". Hasta entonces, el Código Rural estipulaba que todo aprovechamiento debería ser expresamente autorizado por el Estado (Arts. 333 a 335, 339 y 346) (LNP, 12/11/96).

El Código de Aguas faculta a los Comités de Cuenca para integrar estructuras regionales con el fin de estudiar integralmente los problemas hidráulicos y demás acciones previstas en la Ley 12.257. El mecanismo de integración es a través de la participación directa de los interesados, afectados y beneficiarios, en un ámbito multisectorial.

### **7.3. La percepción de la población rural sobre las condiciones naturales y problemas ambientales de la cuenca del río Sauce Chico**

Los pobladores rurales entrevistados trabajan y viven de las actividades agrícola ganaderas desde hace más de 30 años. Ocho de ellos son la segunda y tercera generación que continúan la tarea, lo que suman en cada caso, más de 100 años de conocimiento y trabajo en este espacio. Los informantes claves fueron el Concejal Alberto Sangre, quien se desempeñó como Delegado de la Municipalidad de Bahía Blanca en General Daniel Cerri durante 14 años y el Ing. Schefer, Jefe de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires sede Bahía Blanca.

Es a partir de la percepción que los productores tienen a cerca de las condiciones naturales y problemas ambientales de la cuenca, que se traducen en un problema para su actividad, cuando se puede tratar el tema y buscar una solución. Ello se logra a través de una planificación y gestión integrada del uso y aprovechamiento de los recursos.

El 80 % de los entrevistados no tiene formada una imagen mental de la forma y dimensiones de la cuenca. Saben que el río nace en el sistema serrano pero no precisamente dónde, la mayoría refiere a la Sierra de la Ventana y sí saben efectivamente dónde desemboca, aunque al momento de especificar dicen en el mar ó en la ría. No fueron capaces de representar gráficamente el espacio, sin embargo, lograron ubicarse correctamente en el mapa presentado. Los niveles de educación de este grupo van desde el nivel primario hasta el universitario. Solamente, las autoridades tenían formada una imagen real de la cuenca y esto se debe a la vinculación con el tema.

Aguas abajo se localizan los frutihorticultores, allí es donde se concentra el mayor número de regantes, unos 250 productores, en un área que supera las 1.800 ha (Luque y Paoloni, 2005). Ellos se encuentran en las áreas próximas a Gral Daniel Cerri y el canal Cuatrerros, Colonia La Merced, Colonia Villarino Viejo, Colonia Villa Elisa, Agrupamiento La Olla, Colonia del Sauce Chico, Colonia Landa y Brazo Chico, Colonia Nueva Roma, Colonia Alférez San Martín.

Todos los entrevistados reconocieron la existencia de problemas en la cuenca. Identificaron como de origen natural a la sequía (100 %) e inundaciones (80 %) y de origen humano, el 100 %, a la contaminación, disminución del caudal por tomas de agua, falta de regulación para el uso del agua y falta de aplicación normativa. También coincidieron en que los peores años para el campo en la historia argentina, se vienen sucediendo desde el 2004 y hasta el presente, atribuyéndolo a factores naturales (sequía) y antropogénicos (políticas del gobierno nacional). Recordaron la fuerte crisis del '30, las secas del '60/61, los malos años del '69 al '71 y del '81/'82.

### **7.3.1. Impacto en la cuenca media**

En períodos húmedos, la actividad agrícola se desarrolla intensamente, los productores destinan un 80 % de las hectáreas a cultivos y un 20 % a ganadería. Sin embargo, estos porcentajes varían en función de las características del terreno, coyuntura económica, etc. Cuando las lluvias persisten y los suelos colman su capacidad de almacenaje de agua, se producen anegamientos, en el Norte y centro de la cuenca. Esta situación afecta a las plantaciones ocasionando la pérdida parcial o total de la producción. Con respecto al ganado, éste es trasladado hacia otros campos para continuar el pastoreo. En estos casos, los productores ven seriamente afectada la próxima cosecha por la disminución o pérdida de fertilidad del suelo.

Los cultivos varían durante el año y según el período de rotación. La experiencia y el conocimiento de los entrevistados acerca del medio en el cual desarrollan sus actividades, queda reflejado cuando hablan del tipo de cultivo y su período de sembrado. En el caso del sorgo granífero, la siembra comienzan a realizarla desde fines de septiembre principio de octubre y pueden extenderla hasta diciembre, el maíz también lo plantan en primavera, preferentemente entre octubre y noviembre. Por el contrario, la siembra del trigo la efectúan entre los meses de marzo y abril y la de la avena en febrero. Uno de los agricultores afirmó con relación a este último cereal que "si es posible debe sembrarse antes del día 20, ya que según las

estadísticas climatológicas, antes del otoño siempre llueve”. Generalmente, la avena la utilizan como forrajera al igual que el sorgo forrajero, aunque todos los demás cultivos pueden emplearlos con el mismo fin dependiendo de la calidad que hubieran alcanzado. En menor medida cultivan centeno, festuca, falaris, rye grass. El cultivo de alfalfa es uno de los más elegidos porque otorga buenos rindes para producción.

En períodos de sequía la situación afecta doblemente a quienes se encuentran aguas abajo. Los productores sufren el impacto propio de las condiciones naturales y a ello se le suman las consecuencias de las actividades que se desarrollan aguas arriba. Actualmente, al Norte de la cuenca media se encuentran explotaciones de cebolla, papa y soja para las cuales se emplea riego, en algunos casos por pivó (Fig. 7.4). Para cubrir los requerimientos hídricos de estos cultivos se extraen grandes volúmenes de agua del río. Ante el uso extractivo indiscriminado que efectuaban los paperos y frente a las quejas de los productores río abajo, los paperos tuvieron que negociar y acordar turnos para extracción del agua.



Figura 7.4. Sistema de riego por pivó empleado en cultivos de cebolla. Detrás, la localidad de Tornquist.

Fuente: Relevamiento aéreo, mayo de 2008.

Asimismo, la cantidad y calidad del agua se ve afectada por el funcionamiento de la Papelera, por la cantidad de agua que extrae para el proceso productivo y por el vertido de contaminantes al río. La tecnología que emplea esta industria dista mucho de ser la más adecuada para el tratamiento previo que debe dársele a los efluentes antes de su vertido por lo tanto, el mismo resulta insuficiente y consecuentemente, el proceso de contaminación continúa. Para proceder a volcar los residuos al curso del río, se espera a que llueva y por tanto aumenta el caudal, en consecuencia, se producen importantes cantidades de espuma, se incrementa el mal olor y cambia el color del agua tornándose oscura. Esta situación, reiteradamente descrita por los campesinos de la cuenca, contamina las aguas que luego son utilizadas para riego, en menor medida para consumo humano, perjudica a la fauna ictícola como la carpa o bagre y a la hacienda que instintivamente no la bebe. Una de las personas entrevistadas dice: “es una industria contaminante pero su erradicación no se menciona, el pueblo de Tornquist depende de ella, gran parte de sus habitantes viven directa o indirectamente de esta planta”. Además, es el consumidor principal de energía de la Cooperativa Eléctrica de Tornquist, “si la empresa se va el pueblo desaparece, es un tema político”, continúa diciendo.

Sin embargo, estos últimos 4 años, la sequía se ha ido incrementando y esta situación impactó directamente en los productores e indirectamente en los comercios y actividades relacionadas con el campo. La migración de habitantes desde los pueblos a las ciudades es otra consecuencia del decaimiento de la actividad rural. Tal es el caso de Chasicó que pasó de tener 1.000 habitantes en la década de 1980 a contar hoy con nada más que 180 habitantes.

Ante la falta de lluvias y dificultades para cultivar, los productores vieron la necesidad de comenzar a trabajar más con el ganado, vacuno para comercializar y ovino para consumo propio. Mientras las lluvias lo permiten los animales se alimentan de pasturas naturales o de cultivos para pastoreo como mijo, alfalfa, avena en invierno y sorgo en verano. Pero las condiciones climáticas imperantes hicieron que los productores agotaran las reservas de forraje y tuvieron que salir a comprar. La falta de forraje verde hace que los animales ingieran plantas tóxicas como la flor amarilla, *Senecio burchelli*. Hoy, la situación está al límite, los productores ya no pueden comprar el alimento y el agua para bebida es cada vez más escasa, por lo tanto, los animales pierden calidad y no se pueden comercializar, terminan muriendo y los productores perdiendo lo poco que les quedaba. “Es la peor sequía desde los años

1962/1964 y la peor ausencia estatal que hayamos tenido”, dijo uno de los entrevistados, de 81 años que nació y aún vive en el campo.

Como fertilizante se aplican urea y nitrógeno, sólo en aquellas explotaciones donde los rindes permiten la compra. Tampoco es homogéneo el asesoramiento y la ayuda a estos productores. Los grandes establecimientos cuentan con sus propios profesionales y técnicos. Dentro de los medianos productores están, quienes ante una situación puntual reciben asesoramiento del INTA o ayuda desde el Municipio. Pero también, se encuentran aquellos que deben enfrentar solos las inclemencias climáticas o la aparición de plagas, por ejemplo, por no recibir respuestas desde los distintos organismos.

Sobre la creciente del río ocurrida en 1944, no observaron desborde de su cauce. Los productores son capaces de estimar el tiempo de llegada del agua a partir de lluvias registradas en las nacientes. Uno de los entrevistados afirma: “cada vez que llueve en las Sierras, a las 6 horas el agua está en Chasicó a 1, 20 m” (Fig. 7.5).



Figura 7.5. Cauce del río Sauce Chico en cercanías a la Estancia Chasicó.

Fuente: Relevamiento realizado en enero de 2009.

De las grandes estancias, La Pastoral hoy Estancia Chasicó, es un ejemplo de adaptación y reconversión de la actividad a la que debieron someterse diferentes espacios para hacer frente a la situación económica imperante. Un visionario alemán fue su primer dueño, en principio ocupaba más de 7.000 ha dedicadas exclusivamente a la cría de ovejas, de allí el origen de su nombre. Una parte de los terrenos fueron vendidos en primer término a empresarios japoneses con el objetivo de realizar un plan de forestación, plantaron pinos y eucaliptos, pero el emprendimiento fracasó. Hoy, uno de los hijos de aquellos alemanes mantiene el título de propiedad sobre unas 4.000 ha que son arrendadas por los actuales dueños de la superficie subdividida. Ellos destinan unas 2.200 ha para explotación, una parte de ellas para coto de caza y pesca y otra para cría de caballos (Fig. 7.6).

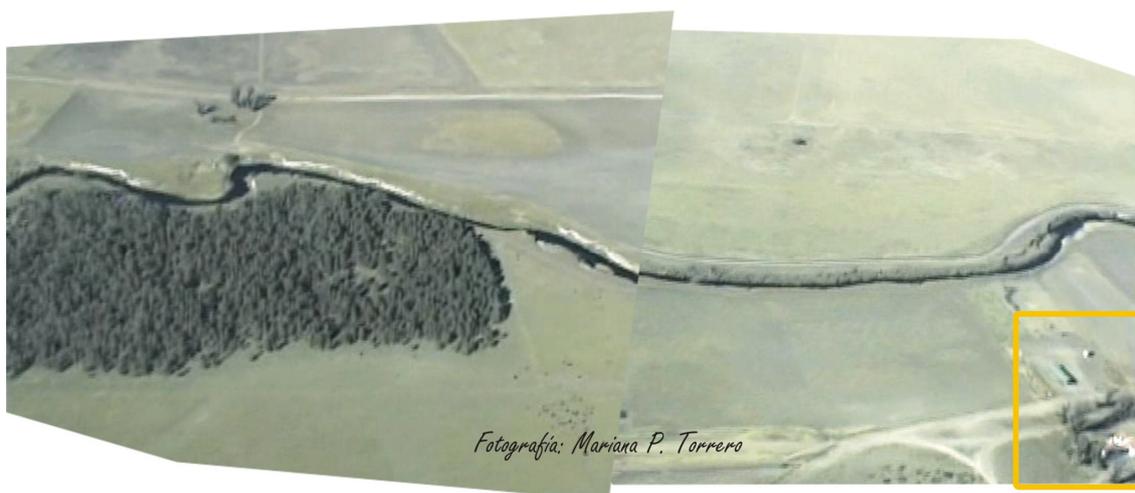


Figura 7.6. Estancia Chasicó.

Fuente: Relevamiento aéreo, mayo de 2008.

Un emprendimiento que tampoco tuvo éxito fue la conformación de un balneario. Hace aproximadamente 30 años, los alemanes donaron tierras de su propiedad al municipio de Tornquist con la finalidad de que se realizaran las obras necesarias para la instalación de un balneario aprovechando las aguas del río Sauce Chico. Las primeras tareas se efectuaron pero todo quedó pronto en el olvido y otro sueño más, perdido.

### 7.3.2. Impacto en la cuenca baja

Ante la falta de agua ya sea por consecuencias climáticas o antropogénicas, los emprendimientos localizados en la cuenca baja encuentran una solución mediante el empleo del agua proveniente de la capa freática. El destino es como agua potable

para el consumo humano o para el riego, acarreado consecuencias negativas para el hombre por el estado de contaminación de arsénico que presenta el agua. Esto motivó a que en el año 2005, el Servicio Provincial de Agua y Saneamiento Rural inaugurara una planta de ósmosis inversa en la Escuela Primaria Básica N° 41, de Alférez San Martín, para filtrado del líquido y aprovisionamiento de agua potable a los pobladores de la zona, muchos de los cuales deben llegar hasta allí para abastecerse (LNP, 03/06/07; 04/05/08). Los encuestados saben que el agua es mala por los altos niveles de arsénico y flúor pero no tienen opciones, no todos tienen la oportunidad de llegar diariamente a buscar agua potable a esta planta ni tampoco la posibilidad de comprar la cantidad necesaria para el consumo familiar.

Con respecto al agua para riego, los horticultores que emplean agua de las capas freáticas generan un peligro latente de contaminación con arsénico a su producción, que finalmente repercutirá en el organismo de quienes consuman esos productos (Prieto García *et al.*, 2005; Varela Salazar *et al.*, 2006; Ecotimes, 2007; Moyano *et al.*, 2009). Por otra parte, ante la necesidad de regular el uso del agua del río, un Ingeniero agrónomo de la Delegación Municipal de General D. Cerri, propuso el riego por turnos. La sugerencia no fue bien recibida en primera instancia por los pequeños productores sino hasta que la situación se tornó insostenible y debieron aceptarla. En la actualidad, la mayor parte de los quinteros suele extraer agua del río durante el día, lo que acentúa la disminución del caudal. En la práctica, esta situación afecta principalmente a los pequeños productores más próximos a la desembocadura. Alrededor de las 22 horas, las bombas dejan de funcionar y el cauce comienza lentamente a recuperar su nivel.

El área, principal fuente de abastecimiento de hortalizas a la región, está viviendo uno de los peores momentos de su historia debido a la situación económica, el proceso de tecnificación y la llegada de inmigrantes de nacionalidad boliviana. Dentro de los horticultores, los más pequeños, que cultivan de 1 a 2 ha (Lorda, 2005) desaparecieron y los más grandes, con entre 9 y hasta 240 ha (Lorda, 2005) subsisten y tienen su producción ya inserta en el mercado. Estos últimos, abastecen en general a la Cooperativa Obrera de Bahía Blanca o bien, tienen instalado su propio comercio, la verdulería familiar. Dentro de los ganaderos, la cría de hacienda sólo se limita a dos o tres productores quienes ante la coyuntura presente vieron disminuir fuertemente su producción.

Las intensas y copiosas lluvias ocasionan los desbordes del río en la zona de Villarino Viejo y en el canal Cuatrerros cuando no se mantienen periódicamente las tareas de saneamiento y desmalezamiento del cauce. Hace más de 15 años que no se vive una situación de este tipo, afirma uno de los encuestados, precisamente uno de los dueños de uno de los dos campos entre los que se localiza La Horqueta.

Ya sea en períodos de sequía como de excesos hídricos, la falta de políticas y de la presencia del estado, municipal, provincial, nacional, hace que la situación se torne aún más crítica. Estos pequeños y medianos productores como los horticultores en mayor medida, no pueden hacer frente a esta problemática por sí solos, necesitan de políticas públicas y de planificación perdurables en el tiempo independientemente de los gobiernos de turno. Según Lorda (2005) las acciones locales en relación a la agricultura, se encuentran fragmentadas de acuerdo a los sectores productivos (horticultura, agricultura y ganadería) mientras que los organismos encargados de la planificación y del desarrollo la ignoran.

En síntesis, la documentación periodística entre 1963 y 2008 refleja la azarosa tarea desplegada a lo largo de muchos años por los principales actores que conforman la cuenca del río Sauce Chico. Esto atestigua tanto aquellos loables esfuerzos como también los numerosos momentos críticos vividos en la lucha por lograr el máximo objetivo, el uso y manejo sustentable del recurso hídrico.

Según el Ing. Schefer (2004) es necesaria y urgente una obra hidráulica concreta y sólida que posibilite un adecuado y definitivo manejo de las aguas. La solución más racional, es la combinación de obras de retención y canalización. La regulación permitiría la protección de la zona de regadío y por lo tanto, el desarrollo económico del sector además de la importante contribución al abastecimiento de agua para la región. Asimismo, un ordenamiento por turnos podría establecer el equilibrio en la extracción y además, se evitarían los potenciales peligros más allá de las consecuencias que acarrea la falta de lluvias. Desde la creación del Comité de Cuenca en el año 2004, no se han resuelto hasta el presente, las cuestiones inherentes a sus funciones, como la preparación y ejecución de un programa de desarrollo integrado de la cuenca.

Cabe aquí resaltar que el último proyecto presentado por la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires y aprobado por el Consejo Federal de Inversiones para el estudio de la cuenca del río Sauce Chico, no contempla la participación de

geógrafos. El aporte de los profesionales de esta ciencia, en el análisis de variables y formulación de propuestas, es importante en el estudio de cuencas hídricas.

Los testimonios recogidos sobre las condiciones ambientales y actividades desarrolladas en la cuenca del río Sauce Chico reflejan la localización espacio-temporal tal y como es percibida por los sujetos entrevistados. Se advierte rápidamente que a pesar de no tener, en general, una idea formada de la extensión real de la cuenca, existe una gran homogeneidad en señalar cuáles son los factores que originan los problemas y su localización. Por ejemplo, dicen correctamente: la extracción de agua por parte de los productores aguas arriba o los desbordes por falta de obras aguas abajo.

Es imprescindible, entonces, que los sectores oficiales y privados desplieguen esfuerzos mancomunados a fin de asegurar la utilización racional del agua en beneficio del interés común y contemplando las necesidades reales de las áreas productivas. Para conseguir que estos objetivos estén en consonancia con los deseos de los pobladores implicados, se propone la utilización de esta metodología que proporciona la Geografía de la Percepción para conocer cómo ven y qué quieren y requieren los habitantes de este espacio concreto.

## C O N C L U S I O N E S

---

La necesidad de intensificar los estudios del medio físico y particularmente los relacionados con los recursos hídricos, ha cobrado gran importancia en todo el mundo y con ello, el manejo de las cuencas hídricas. El funcionamiento de estas unidades se encuentra principalmente, en estrecha relación con las condiciones climáticas imperantes y con el creciente desarrollo de las actividades humanas. Éstas últimas, importan por ser las generadoras de demandas por agua, que determinan el uso de la tierra y producen los desechos que son transmitidos por el agua. La complejidad hidrográfica de una cuenca, unida a los intereses económicos de sus habitantes provoca modificaciones y alteraciones en los ecosistemas que interfieren en el desarrollo sustentable del espacio. El conocimiento y análisis de las variables físicas y antropogénicas posibilita un manejo adecuado del medio.

Se requiere también, adoptar un enfoque institucional holístico, donde no sólo se involucra el manejo y la administración de los sistemas naturales, sino que además se necesita de la coordinación de actividades humanas. Por ello la sociedad, cada uno desde su rol, debe colaborar en el cuidado y protección del ambiente y deben existir políticas hídricas sustentables. Asimismo, debe fomentarse un diálogo permanente y duradero en el tiempo, entre los gobiernos nacional, provincial y municipal y de ellos para con las instituciones comunales a fin de aunar esfuerzos y armonizar intereses. El objetivo que se persigue es el desarrollo sustentable del medio natural, que permita al hombre mejorar su economía, disminuir la degradación de los suelos y del paisaje y por consiguiente, aumentar su calidad de vida.

El principal logro del presente trabajo ha sido poner de manifiesto, tal como lo avalan los resultados, la importancia del análisis de los diversos factores que condicionan el escurrimiento dentro de la cuenca hidrográfica del río Sauce Chico. Así como también, la integración positiva entre los Sistemas de Información Geográfica, cartas topográficas, imágenes satelitales y trabajos de campo. Esto permitió interpretar la dinámica y el comportamiento de la cuenca y el rol del hombre en el sistema.

En el estudio hidrográfico se consideraron tres aspectos principales. En primer lugar, se definió y caracterizó físicamente la cuenca hidrográfica del río Sauce Chico, se determinaron y analizaron las condiciones climáticas y el régimen pluviométrico. Además, se estudió la distribución de caudales y se analizaron las características del

balance hídrico en relación con los escurrimientos en la cuenca. En segundo lugar, se analizaron las características hidrogeoquímicas y se determinaron y estudiaron los procesos de degradación ambiental y su dinámica. Por último, se analizó el desarrollo histórico de medidas y puesta en marcha de planes de manejo tendientes a promover el uso racional del recurso hídrico y el impacto, agua abajo, de las actividades en la cuenca. Finalmente, se analizó y relacionó la percepción que los propios habitantes de la cuenca tienen de su entorno, de sus actividades y de sus intereses, con los intereses políticos de turno.

El análisis de los factores físicos de la cuenca del río Sauce Chico determinaron que la misma desarrolla una forma alargada semicircular y ocupa una superficie de 1.595,4 km<sup>2</sup>, distribuidos entre los partidos de Tornquist, Saavedra, Villarino y Bahía Blanca. La cuenca se caracteriza por un relieve mixto, con predominio de llanura en un 75 % en donde las alturas son menores a los 300 m, una pendiente media de 2,4 % y un relieve disponible de 1.173 m. A partir de los 350 m las pendientes superan el 8 %. El análisis hipsométrico demostró una etapa intermedia con tendencia evolutiva hacia la madurez a pesar de que existen evidencias de reactivación tectónica con la consecuente reactivación de procesos erosivos. Esta dinámica lleva a un desequilibrio en el área y contrariamente promueve un rejuvenecimiento. Sin embargo, los procesos de denudación que se dan sobre la cuenca permiten considerar el estado de equilibrio en cuanto a la relación área/altura.

El curso principal tiene una longitud de 164,3 km y nace en las Sierras de Bravard (Sistema de Ventania), de los tres afluentes principales que posee, el arroyo de la Ventana es el más caudaloso. Sus tributarios se caracterizan por un régimen intermitente mientras que el curso principal se transforma en permanente por debajo de los 350 msnm. La subcuenca de mayor pendiente se localiza en el extremo Noroeste y es la que presenta mayor densidad de drenaje.

Por sus características hidrográficas, en la cuenca se destacan cuatro tipos de paisajes. La zona de aporte, desde las nacientes hasta los 350-400 m con el desarrollo de una red de drenaje subdendrítica muy densa. Los cursos en este sector presentan cambios de dirección en el escurrimiento y encajonamiento de meandros que evidencian cierta dependencia estructural, respuesta hidrográfica asociada a las características geológicas de la cuenca. La zona de transporte, que se extiende hasta los 70 m y se subdivide en dos áreas. Una de ellas, se caracteriza porque el río se torna alóctono y de aspecto muy divagante y la otra porque recibe nuevamente

aportes de tributarios intermitentes que nacen en cárcavas de origen torrencial. En este último, el curso se torna aún más divagante y presenta formación de albardones semilunares y hacia el Noreste se destaca el desarrollo de cuerpos lagunares. A partir de allí comienza la zona de depositación que se extiende hasta su desembocadura. En esta zona el río se bifurca y demarca su cono aluvial.

Las oscilaciones climáticas en la cuenca del río Sauce Chico, evidencian las principales características estacionales y ponen de manifiesto aspectos del cambio climático. La variabilidad espacio temporal de los elementos climatológicos permitió observar un ascenso de casi 1 °C en la temperatura media en las estaciones equinocciales y un incremento de entre 0,2-0,4 °C en las medias anuales en un período de 20 años (1981-2000). Las oscilaciones interdecádicas en los índices de aridez y humedad no fueron lo suficientemente importantes para producir cambios en la variación de la clasificación climática.

Las oscilaciones ocurridas en este espacio permitieron observar una tendencia manifiesta en el aumento paulatino de la temperatura y su impacto en la cantidad de agua del suelo. Se observó un incremento importante de las precipitaciones anuales en 1991-2000 que favoreció a disminuir el período de sequía particularmente para Bahía Blanca. Sin embargo, la deficiencia hídrica estival continuó prolongándose. A ello se sumó durante este período, la frecuencia de vientos fuertes y constantes del Noroeste que propiciaron el incremento de la aparición y extensión del proceso de desertización en la región, principalmente en los partidos de Bahía Blanca y Pigüé.

Del análisis ombrotérmico de 1991-2000 para Bahía Blanca, se detectó el pasaje de una condición de clima templado con características de cálido mediterráneo a otra con características de cálido húmedo tropical. No obstante, continuó prevaleciendo el contexto de condiciones climáticas subhúmedas secas. Esta situación junto con las variaciones climáticas y las intervenciones antropogénicas, propiciaron el desarrollo del proceso de desertización. La actividad agropecuaria, eje de la economía regional, es la que sufrió los efectos negativos directos de este contexto, a la vez que generó e intensificó degradación ambiental. Todos estos aspectos constituyen parte de un conjunto de factores que interfieren en la conservación de los recursos naturales, fundamentales para el desarrollo sustentable.

La evapotranspiración potencial se calculó por los métodos de Penman-Monteith y Thornthwaite. La evapotranspiración es sobredimensionada cuando se

calcula por Penman-Monteith, en consecuencia, los balances hídricos no reflejan las situaciones de excesos como sí se observan en el otro caso. Por lo tanto, los balances hídricos determinaron que la metodología que mejor refleja las condiciones naturales es la propuesta por Thornthwaite.

Para el año 2002, el análisis de los diagramas ombrotérmicos no reflejó períodos de sequía importantes. Los meses más críticos fueron, febrero para Bahía Blanca, enero para Bordenave, septiembre para Coronel Suárez y julio y septiembre para Pigüé. Los balances hídricos evidenciaron un paulatino incremento de la necesidad de agua hacia el Sur y períodos de exceso hídrico en todas las estaciones. Los mayores valores de exceso se obtuvieron en los extremos de la cuenca. En cambio, el año 2006, registró importantes precipitaciones en octubre y durante el verano sobre toda la cuenca y solamente en julio para Bahía Blanca. Durante el resto del año prevalecieron las condiciones de sequía. Los balances hídricos reflejaron la dinámica hidroclimática prevaleciente en este período destacando un aumento y extensión del período de déficit de agua en toda el área.

Los resultados obtenidos del análisis de las variables climáticas y respecto a la variación de la humedad del suelo, permiten mejorar el conocimiento de los procesos esenciales relacionados con la cantidad, calidad y gestión de los recursos hídricos superficiales. Por otra parte, para la gestión sustentable de estos recursos, es necesario el desarrollo y articulación de políticas y estrategias entre los diferentes estamentos políticos. Actualmente, la vulnerabilidad de los ecosistemas semiáridos a cambios actuales, es poco estudiada a pesar de su extensión mundial y su manifiesta vulnerabilidad en futuros escenarios de cambio global.

Respecto al análisis de los escurrimientos sobre la cuenca, sólo se comprobó la existencia de excesos durante la primavera. Para el río Sauce Chico el coeficiente de escorrentía fue 0,042 lo que significa que prácticamente toda el agua precipitada se infiltró. Sin embargo, las características de las precipitaciones ocurridas en el mes de octubre no influyeron en este valor y no son entonces, representativas de la dinámica del agua en la cuenca durante todo el año. Este resultado sólo permite generalizar la relación entre precipitaciones y caudal advirtiendo la existencia de situaciones particulares.

El año 2006 se caracterizó por presentar importante sequía. En este período, el porcentaje de precipitaciones que se convierte en caudal es de 4,2 %, puede

considerarse en consecuencia, como referente de lo que sucede durante condiciones extremas en esta cuenca. El coeficiente de correlación entre precipitaciones y caudales indicó una tendencia a la falta de relación durante el año 2006, excepto para el mes de octubre. Sin embargo entre las estaciones analizadas, el mayor valor fue para Coronel Suárez, lo que significa una mayor influencia de las precipitaciones sobre el caudal.

Las variaciones espacio temporales de los elementos climáticos y las modificaciones y alteraciones del medio ambiente por causas naturales y antropogénicas, permiten clasificar al río Sauce Chico según su régimen. Por la presencia de un sólo modo de alimentación preponderante, se lo clasifica como un régimen simple de alimentación pluvial. Dentro de esta forma, se corresponde con el régimen como pluvial del tipo continental "americano" (Bruniard, 1992). El ritmo pluviométrico se caracteriza por presentar máximos al finalizar la primavera y al comenzar el otoño, estos aportes no llegan a moderar las elevadas temperaturas del verano y el río refleja este ritmo con cierto atraso. De acuerdo con la clasificación propuesta por Grondona (1975), el régimen se clasifica como de alimentación pluvial con doble crecida.

La escasa disponibilidad histórica y actual de datos de caudal del río Sauce Chico sólo permitió realizar un estudio parcial del mismo. Del análisis realizado se concluyó, que existen notables diferencias en los valores del escurrimiento, entre los calculados y los registrados y su régimen. No existe una correlación entre ellos durante prácticamente todo el año, debido a que las condiciones morfológicas, litológicas y edáficas rigen el comportamiento hidrológico y dominan por sobre las condiciones climáticas. La escasa pendiente que presenta, en general, la cuenca y la importante infiltración genera un desfase de casi un mes. Ante condiciones de copiosas precipitaciones los escurrimientos coinciden.

Esto afirma una importancia relativa de los elementos climáticos en la interpretación del comportamiento hidrológico. Las características físicas de esta cuenca con una extensa superficie de pendientes muy suaves y permeables, favorece el retardo desde fines del verano hasta el inicio de la primavera. Sin embargo, aún cuando no se comprobaron aportes por excesos, se observó una pequeña oscilación en el incremento del caudal que puede inferirse como provenientes de aportes freáticos. Aún en períodos de sequía se comprobó la existencia de caudal en el cauce del río Sauce Chico desde los 350 msnm hasta su desembocadura. La investigación y

recopilación histórica realizada demuestra que aún no se han efectuado las inversiones correspondientes que permitan continuar con las mediciones de caudal de este río, a pesar de su importancia por el rol que cumple en el desarrollo de las actividades agrícolas de la región.

El análisis de los resultados hidrogeoquímicos de datos históricos y actuales permitió establecer que por la dominancia de iones, las aguas en la cabecera se caracterizan como bicarbonatadas cálcico magnésicas. En el cauce inferior, las aguas pasan de bicarbonatadas sódicas (Fiorentino, 1999) a sódicas bicarbonatadas. Los suelos son altamente salinos, pobres en materia orgánica, con problemas de drenaje y alcalinidad sódica generando restricciones al uso para pastoreo de vegetación natural. Los valores de CSR determinaron que en situación de sequía las aguas no son buenas para riego y dudosas en momentos húmedos. La velocidad normal de infiltración se reduce al disminuir la calidad del agua. Esta agua presenta elevada salinidad y al ser usada para riego contribuye a que los suelos contengan mayores concentraciones de sales, incrementando su limitación. La magnitud de la acumulación de sales en el terreno depende de la calidad del agua, del sistema de riego empleado y de la eficiencia del drenaje.

El efecto del riego con aguas de alta CE es la acumulación de sales en la zona radicular, las consecuencias son fototoxicidad e imposibilidad de los cultivos de absorber agua y por lo tanto, la merma en los rendimientos potenciales. El efecto del riego con agua de alto contenido de sodio afecta la estabilidad de la estructura del suelo, produciendo encostramiento superficial. Esto causa disminución de la infiltración y anegamiento. Uno de los cultivos frecuentes en el área son los frutales de carozo, y son precisamente ellos los más sensibles al sodio. En cuanto a la toxicidad de los iones cloro y sodio las aguas son aptas para riego y de excelente calidad para bebida de ganado según la concentración de sales totales, sulfatos y magnesio.

Los problemas medioambientales detectados en la cuenca en relación con las características hidrogeoquímicas de las aguas podrían atenuarse. En tal sentido, los resultados del análisis realizado, contribuyen a la formulación de recomendaciones para el uso agrícola ganadero y que permitirían mantener la sustentabilidad de los recursos naturales. Los riesgos derivados del exceso o deficiencia de humedad del suelo pueden ser eliminados a través de la implementación de sistemas de riego adecuados. La importancia radica en que el productor conozca las limitaciones tanto del medio como del cultivo o ganado, para así poder crear conciencia de la necesidad

de aplicar el sistema de riego óptimo que preserve la calidad y cantidad en tiempo y espacio del suelo y el agua.

El conjunto de las características topográficas con las condiciones climáticas como las que se presentaron, particularmente en el año 2002, contribuyeron a la aparición de procesos de erosión hídrica. Los factores que favorecen la generación de cárcavas en la cuenca alta son, el gradiente topográfico asociado a la formación montañosa y la escasa vegetación. En el Norte de la cuenca media, las alturas disminuyen pero la intensidad del proceso continúa siendo alta y muy alta en la margen izquierda del río y la aparición de cárcavas se presenta a lo largo del resto del cauce asociadas a los gradientes de los bordes y las características edáficas. La erosión por cárcavamiento abarca una extensa área, su importancia radica en las alteraciones que genera en la estructura del suelo y que impide el desarrollo de la vida animal y vegetal asociados. En las cuencas media y baja, la poca pendiente del terreno y los suelos con predominio de texturas franco limosas, franco arcillosas y salitrosas, en períodos de exceso hídrico, dificultan el drenaje. La zona es agrícola ganadera por excelencia, por lo tanto, las características del drenaje y pendiente la transforman en el área con mayor vulnerabilidad hídrica. Por consiguiente, es la más susceptible a sufrir algún tipo de contaminación o alteración del drenaje superficial como consecuencia de procesos naturales o acciones antropogénicas. En toda la cuenca, no se detectaron problemas de inundaciones de gran magnitud.

Se comprobó que el área anegada aumentó de 1,5 km<sup>2</sup> a 4,3 km<sup>2</sup> durante el período de exceso hídrico principalmente sobre la margen izquierda del río, en la cuenca media, entre los 190 m y 280 m de altitud sobre suelos Haplustoles y Argiudoles típicos. Al total anegado también corresponden algunas pequeñas áreas aisladas localizadas más allá de esos límites. Hacia el Norte la disminución del anegamiento se relaciona con el aumento del gradiente topográfico y la presencia de afloramientos rocosos. En períodos de intensas precipitaciones, la alimentación freática contribuye a la aparición de áreas anegadas y los terrenos clasificados con erosión moderada, sufren problemas de anegamiento.

Los cambios en los usos del suelo están en relación con las condiciones ambientales en la cuenca y por consiguiente también se modifican las formas de utilización y aprovechamiento del agua. En el Norte y centro de la cuenca se encuentran grandes y medianas explotaciones agrícolas y ganaderas que se desarrollan bajo sistemas de secano. En la cuenca media y baja predomina la

agricultura bajo riego, principalmente la actividad hortícola. Las respuestas de estos espacios frente al paso de una situación de sequía a exceso hídrico, en un momento clave como es el período de desarrollo de los cultivos es notable y se evidencia en el incremento de las áreas cultivadas y en la reducción del suelo descubierto. Por lo tanto, los procesos de erosión son mayores en época de escasas precipitaciones cuando la cobertura vegetal es pobre y no cumple con su función de interceptación del agua.

Los índices verdes mostraron una distribución muy pobre de biomasa en toda la cuenca e intenso en el área serrana durante el invierno, en relación con el período de sequía invernal y las bajas temperaturas. En la primavera, la actividad fotosintética de la masa vegetal se incrementa por efecto de las importantes precipitaciones y el aumento de la temperatura, principalmente en los valles intermontanos. Las áreas más vegetadas coinciden con los cultivos de trigo. En la cuenca media hay una notable reducción de las parcelas con suelo desnudo.

En la región, principalmente en los partidos de Bahía Blanca y Pigüé, durante 1991-2000 se dieron condiciones que propiciaron la aparición y extensión del proceso de desertización. Ellas fueron, el aumento de la temperatura y su impacto en la cantidad de agua del suelo junto al extenso período de deficiencia hídrica estival y la ocurrencia de vientos fuertes y constantes del Noroeste. El contexto de condiciones climáticas subhúmedas secas son propicias para su desarrollo, sumadas las variaciones climáticas y las intervenciones antropogénicas adversas. Su consecuencia negativa es directa sobre la actividad agropecuaria, principal motor de la economía regional, a la vez que genera una degradación ambiental que dificulta e impide la conservación de los recursos naturales, fundamentales para el desarrollo sustentable.

Las características climáticas, edáficas y geomorfológicas influyen en el comportamiento del agua y a ellas se suma la actividad humana. Todas éstas en conjunto, producen cambios en el espacio y manifestaciones de degradación que condicionan finalmente, el desarrollo agropecuario. En tal sentido, es preciso que los pequeños y medianos productores conozcan la situación a fin de considerar estos aspectos al momento de trabajar la tierra y utilizar el recurso fluvial, de manera que contribuyan al uso sustentable.

El método del Número de Curva permitió cuantificar la escorrentía superficial generada por las tormentas consideradas, a través del análisis espacial de áreas de

igual característica hidrológica suelo-vegetación. Los índices CN obtenidos en la cuenca del río Sauce Chico para diferentes condiciones de humedad antecedente (I: 60, II: 78 y III: 89) manifiestan que un gran porcentaje de la precipitación que cae sobre la cuenca, escurre superficialmente cuando preexisten condiciones húmedas. Ante condiciones normales, gran parte de lo precipitado se infiltra y va a alimentar a las capas subsuperficiales. En primavera, frente a una condición de humedad normal, una precipitación de 84 mm va a generar un escurrimiento de 34,8 mm y frente a una condición húmeda, una precipitación un poco mayor (96 mm) generará el doble de escurrimiento (67 mm).

En el área de estudio, las precipitaciones originadas por el desarrollo de una onda frontal, generalmente son frecuentes desde mediados del otoño hasta mitad de la primavera. En estos casos, generan escorrentías importantes como las ocurridas el 9 de noviembre de 2002. En situaciones de lluvias torrenciales, el comportamiento del sistema natural merece un estudio particular. Sin embargo, es posible afirmar que al aumentar la lluvia, los suelos quedan saturados y la escorrentía tiende a igualar a la precipitación, incrementando la capacidad erosiva; lo mismo ocurre con las tormentas estacionales de alta intensidad luego de un prolongado período seco.

Desde 1964 hasta el presente, se continúa hablando del adecuado aprovechamiento de las aguas del río Sauce Chico. La carencia de infraestructura en la cuenca del río y en el canal Cuatrerros, junto a las condiciones de sequía reinantes en la región y la falta de políticas integrales por parte del Estado, provocan una merma en la producción. Las consecuencias impactan directamente en los pequeños productores agrícolas y en especial, en el cinturón frutihortícola del río Sauce Chico que fue decreciendo en los últimos años.

La investigación sobre el espacio subjetivo enriqueció el campo de trabajo. El empleo de la metodología propuesta por la Geografía de la Percepción, por quienes realizan tareas de planeamiento, contribuiría a mejorar su propia percepción de la realidad. Por ello se propone, considerar esta herramienta por su enorme valor para alcanzar un mejor conocimiento de las necesidades que deben contemplar los planificadores, quienes tienen en sus manos la capacidad de decisión con relación al desarrollo de este territorio.

A los efectos de una adecuada planificación del uso de los recursos naturales se recomienda: conocer las necesidades y experiencias de los propios habitantes,

formar y concientizar a la sociedad sobre la importancia de la conservación y uso racional de los recursos naturales; estimular y garantizar la participación efectiva a los niveles local, regional, nacional y supranacional y de las organizaciones no gubernamentales. Los esfuerzos para conservar los recursos naturales y combatir la desertificación, no pueden tener éxito sin el compromiso participativo de las poblaciones locales. Se debe tender a promocionar políticas y fomentar marcos institucionales que desarrollen la coordinación y cooperación interregional, nacional e internacional y elaboren y ejecuten proyectos y planes de acción a escalas nacional, regional y local.

El conocimiento integrado de las condiciones climáticas, características hidrológicas, geomorfológicas y ecológicas de la cuenca y de los ambientes secos coadyuva a la mitigación de los efectos negativos de la desertificación, como también de procesos erosivos, salinización, etc. En tal sentido, la implementación del SIG, contribuye al ordenamiento sustentable de la cuenca. Asimismo, este conocimiento integrado, es un elemento fundamental para la ejecución de obras civiles y forestales, permite el desarrollo de actividades sustentables y por ende, el crecimiento armónico del espacio.

- Abbate, P., 2004. Agroclima: Un programa para el cálculo de la evapotranspiración por el método FAO Penman-Monteith desde planillas de cálculo o lenguajes de programación. 10° Reunión Argentina y 4° Latinoamericana de Agrometeorología. 13 y 14 de octubre, Mar del Plata, 2 pp.
- Almirón, A.E., 1989. Estudios ictiológicos en ambientes leníticos de los alrededores de La Plata. Tesis Doctoral 552. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo La Plata, 247 pp.
- Álvarez Cobelas, M.; Rubio, A.; Arauzo, M.; Alarcón, P.; Alario, V., 1987. Morfometría y composición química de una laguna de Gravera. *Limnética*, N° 3. Asociación Española de Limnología. Madrid. 91-95.
- Albouy, E.R., 1994. Hidrogeología de la cuenca superior del río Sauce Chico, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctor en Geología, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina, 155 pp.
- Alcántara-Ayala, I., 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developin countries. *Geomorphology* 47. 107-124.
- Allen, R.G.; Smith, M.; Pereira, L.S.; Perrier, A., 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2), 129 pp.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 300 pp.
- Allesch Laude, R., 1989-1990. Uso, manejo y control de los recursos hídricos. Una perspectiva metodológica, a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). *Revista Geográfica de Valparaíso*. N° 20-21. Chile. 5-46.
- Alonso Otero, F.; Brandis, D.; Bullón Mata, T.; Gil Olcina, A.; González Martín, J.; Martínez de Pisón, E.; Muñoz Jiménez, J.; Ortega Cantero, N.; Redondo González, A.; Río Lafuente, I.; Sanz Herráiz, C. y Troitiño Vinuesa, M., 1981. Prácticas de Geografía Física. Oikos-Tau. Barcelona, 18 mapas despleables, 208 pp.
- Amiotti, N., 2007. Hidrología de cuencas. Curso de posgrado. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Inédito.
- Amiotti, N. y Blanco, M. del C., 2004. Seminario de clasificación y cartografía de suelos. Génesis, Clasificación y Cartografía de Suelos. Evaluación y manejo de suelos. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Inédito.
- Ander Egg, E., 1986. Técnicas de Investigación social. Humanitas. Buenos Aires, 252 pp.
- Antoneli, V.; Lopes Thomaz, E., 2007. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista - Guamiranga-Pr. *Caminhos de Geografia Uberlândia*, V 8, N° 21. Instituto de Geografia Ufu. Programa de Pós-graduação em Geografia. 46-58. ISSN 1678-6343.
- Aparicio Mijares, F.J., 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. México, 303 pp. ISBN 968-18-3014-8.
- Arbanesi, G.; Vercesi, V.; González Uriarte, M. 1988. Análisis geomorfológico cuantitativo de la cuenca superior del río Sauce Chico (Sierras Australes-provincia de Buenos Aires). *Actas, II Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Bahía Blanca, Argentina. 187-199.
- Armada Argentina. Central Meteorológica Naval Comandante Espora. Mapas sinópticos de fecha 9/11/2002: 06 Z, 12 Z y 18 Z.
- Auge, M.; Hirata, R.; López Vera, F., 2004. Vulnerabilidad a la contaminación por nitratos del acuífero Puelche en La Plata – Argentina. Informe Científico Final. CEAL – UAM – SCH. Buenos Aires, 195 pp.
- Bailarón Pérez, L., 2002. Gestión de recursos hídricos. UPC. Barcelona, 488 pp.

- Bailly, A.S., 1979. La Percepción del Espacio Urbano. Nuevo Urbanismo N° 29. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid, 326 pp. ISBN 84-7088-229-5.
- Beck, R., 1967. Spatial Meaning and the Properties of Environment. En Lowenthal, D., Environment Behavior and Perception. Research Paper N° 109. University of Chicago-Department of Geography. 42-53.
- Benedetti, G. y Campo de Ferreras, A.M., 2002. La vegetación como indicadora de una geomorfología cambiante en el Sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas. IV Jornadas Nacionales de Geografía Física. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata. 98-106.
- Bescos, A. y Camarasa, A, 1998. Caracterización hidrológica del río Arga (Navarra): El agua como recurso y como riesgo. Estudios Geográficos, TLIX, N° 232. 389-421.
- Benítez, A., 1972. Captación de aguas subterráneas; nuevos métodos de prospección y cálculo de caudales. Dossat. Madrid. 74-83.
- Blanck, J.P., 1969. Investigación geomorfológica aplicada a proyectos de aprovechamiento hidroagrícola del valle medio del río Níger (República de Mali). Revista Geográfica N° 22-23. Universidad de los Andes. Venezuela. 5-30.
- Boira I Maiques, J.V., 1996. Planeamiento sin percepción, Educación sin Participación. La Geografía de la Percepción como Instrumento de Planeamiento Urbano y Ordenación Territorial. II Jornadas de Geografía Urbana. Asociación de Geógrafos Españoles-Universitat d'Alacant. 229-240. ISBN: 84-7908-276-3.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Panorama Agrícola Semanal. Estimaciones agrícolas. Relevamiento al 16/01/2009, 8 pp.
- Bonnet, J.A., 1960. Edafología de los suelos salinos y sódicos. Universidad. Puerto Rico, 337 pp.
- Bonorino, R. 1988. Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. Tesis Doctor en Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 268 pp.
- Bonorino, A.G., 1989. Caracterización Química de la Lluvia en la Región del Suroeste Bonaerense. Sem. Int. Hidrología de Grandes Llanuras. Buenos Aires. 3-9.
- Bonorino, G. A., 1991. Evaluación de la recarga de agua subterránea en el área de la vertiente occidental de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 46. (1 – 2). 93-102.
- Bonorino, G. A.; Albouy, R. y Carrica, J., 2001. Hidroquímica de un acuífero Loésico. Geoacta, 26. 33-45.
- Bosques Sendra, J.; Díaz Muñoz, M.A., 1991. Geografías Personales. Serie Geográfica N° 1. Universidad de Alcalá de Henares. Servicio de Publicaciones. Madrid. 11-14. ISBN: 84-86981-43-3.
- Bouwer, L.; Misdorp, R.; Aerts, J., 2003. STREAM Vietnam report 2003. Modeling the impact of land-use change on the runoff of the Perfume river basin (Vietnam) using STREAM. Report number R-03/09. ITC refresher course and CCP 2003 Workshop on Geo-information for uplandlowland interactions in hydrological hazards and disasters.
- Broch, E.S. y Yake, W., 1969. A modification of Maucha's ionic diagram to include ionic concentrations. Limnology and Oceanography 14. 933-935.
- Brundtland, O., 1988. Nuestro futuro común. Alianza, Madrid.
- Bruniard, E., 1992. Climatología. Procesos y tipos climáticos. Ceyne. Buenos Aires, 125 pp.
- Bruniard, E.D., 1992. Hidrografía. Procesos y tipos de escurrimiento superficial. Ceyne. Buenos Aires, 124 pp.
- Bruniard, E., 1996. Geografía de los Climas y de las Formaciones Vegetales. Aporte para un Modelo Fitoclimático Mundial. Las Zonas Térmicas y la Vegetación Natural. Ed. Eudene. Resistencia, 330 pp.

- Bruno, J.E.; Gaspari, F.J.; Presutti, M.E.; Oroná, C.; Cornelly, I.O., 1999. Manejo Integral de las Cuencas Hidrográficas del Partido de Tornquist. Estudio de Prefactibilidad. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina, 120 pp.
- Burgos, J.; Ponce, F. y Molion, L., 1991. Climate Change Predictions for South America. *Climate Change* 18. 223-239.
- Burt, C.M.; Mutziger, A.J.; Allen, R.G. and Howell, T.A., 2005. Evaporation research: Review and interpretation, *J. Irrig. Drain. E.-ASCE*, 131(1). 37-5.
- Calvo-Cases, A.; Boix-Fayos, C. y Imeson, A.C., 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology* 50. 269-291.
- Campo de Ferreras, A., 1999. Hidrografía del río Quequén Grande. Tesis de Doctorado, Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 141 pp.
- Campo de Ferreras, A.M. y Gaetano de Oroz, R., 1986. Interpretación y representación de los datos hidrométricos de la cuenca del río Sauce Chico en su primera etapa. GAEA. Congreso Nacional de Geografía XLVIII Semana de Geografía. T 1. Córdoba, 97-111. ISBN N° 950-43-0622-5.
- Campo de Ferreras, A. y Díez, P., 1999. Heterogeneidad hidrográfica en la cuenca occidental del río Quequén Grande, Argentina. XX Congreso Internacional y V Internacional de Geografía. Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas. Universidad del Bío-Bío. Chile.
- Campo de Ferreras, A. y Píccolo, M.C., 1997 a. La cuenca hidrográfica del río Quequén Grande, Argentina. *Revista Geofísica*, N° 45. 57-72.
- Campo de Ferreras, A. y Píccolo, M. C., 1997 b. El escurrimiento superficial en la cuenca del río Quequén Grande. Libro de Actas 19ª Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. 1ras. Jornadas de Catastro Minero, San Juan. 311-315.
- Campo de Ferreras, A. y Píccolo, M. C., 1997 c. Relación lluvia caudal en la cuenca inferior del río Quequén Grande, Argentina. Actas Primeras Jornadas Nacionales de Geografía Física. I. 3.
- Campo de Ferreras, A. y Píccolo, M. C., 1997 d. Régimen hidrológico-pluviométrico del río Quequén Grande. Libro de resúmenes. X Coloquio Argentino de Oceanografía. IADO, Instituto Argentino de Oceanografía. Bahía Blanca, 11 pp.
- Campo de Ferreras, A.M. y Píccolo, M.C., 1998. El Balance Hídrico en la Cuenca del Río Quequén Grande, Argentina. *Revista Geofísica*, N° 46. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México. 51-66.
- Campo de Ferreras, A. y Píccolo, M. C., 1999. Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Grande, Argentina. *Papeles de Geografía*. N° 29, Universidad de Murcia, España. 35-46.
- Campo de Ferreras, A. y Piccolo, M. C. y Capelli de Steffens, A., 1999. 1995: el Año de los Desastres Naturales. Primer Encuentro Internacional Humboldt Publicado en C.D.
- Campo de Ferreras, A.M.; Capelli de Steffens, A.M.; Díez, P.G., 2004. El clima del Suroeste Bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 99 pp.
- Campos, A. 1992. Proceso del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1ª ed. San Luis Potosí, México. 22-23.
- Capelli de Steffens, A. y Campo de Ferreras, A., 1994. La transición climática en el sudoeste bonaerense. *Sigeo* N° 5, Serie: monografías. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 76 pp.
- Capitanelli, R.C., 1998. Geografía Física y medio ambiente. Revalorización y enseñanza, métodos y técnicas de trabajo. ECOGEO. Mendoza, 153 pp.
- Carbone, M.E., 2003. Hidrografía del arroyo Claromecó. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 178 pp.

- Carbone, M.E.; Limbozzi, F.; Alberdi, E. y Abalo, P., 2008. Effect of the flowrate variations of Sauce Chico and Naposta Grande rivers over the inner part of Bahía Blanca estuary. In Neves, R; Baretta, J and Mateus, M. Perspectives on integrated coastal zone management in south America. Its Press 489-500, 589 pp.
- Carrica, J., 1998. Hidrogeología de la cuenca del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Biblioteca Central. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 215 pp.
- Castillo, F.E. y Castellví Sentis, F., 2001. Agrometeorología. Mundi Prensa. España, 520 pp.
- Celemín, A.H., 1984. Meteorología Práctica. Edición del autor. Mar del Plata, 313 pp. ISBN 950-43-0444-3.
- Ceppi, H., 1937. Clasificación de los ríos de la República Argentina, de acuerdo a su régimen hidrológico. GAEA. T. 5. Coni. Buenos Aires. 289-308.
- Clarke, D.; Smith, M.; El-Askari, K., 1996-999. CropWat 4 Windows. Versión 4.3. University of Southampton. FAO, IIDS, NWRC.
- Coates, D.R. 1956. Quantitative geomorphology of small drainage basins in Southern Indiana. Of. Naval Res., Proj. NR 389 – 042, Tech. Rep. 10. Ph. D. dissertation, Columbia University, Unite States, 57 pp.
- Coates, D.R. 1972. Hydrogeomorphology of Susquehanna and Delaware basins, Quantitative Geomorphology, some aspects and applications, M. Morisawa, Publications in Geomorphology, Binghamton, N. Y. Geol. Soc. AMER., Bull. (73). 1025-1046.
- Codignotto, J. 1987. Glosario Geomorfológico Marino. Asoc. Geol. Argentina, Buenos Aires. Serie B. 1-63.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (World Commission on Environment and Development (WCED), 1992. Nuestro Futuro Común. Alianza. Madrid, 460 pp. ISBN: 84-206-9574-2.
- Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), 2008. Imágenes Landsat 7, TM 227-86 del 02/08/02 y 22/11/02 y TM 227-87 del 02/08/02 y 22/11/02.
- Comisión Regional del Medio Ambiente, Consejo Consultivo, Región de la Araucanía, 2004. Propuesta: Planificación Territorial en la Región de la Araucanía. Temuco. Chile, 10 pp.
- Consejo Federal de Inversiones, 1962. Recursos Hidráulicos Superficiales. Serie: Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. T. IV, Vol. 1, Cap. 13. Kraft. Buenos Aires, 459 pp.
- Cooke, R.U. y Doornkamp, J.C., 1990. Geomorphology in environmental management: a new introduction. Clarendon Press, Oxford, 410 pp.
- Cuadrat, J. M. y Pita, M. F., 1997. Climatología. Cátedra, Madrid, 496 pp.
- Cuesta, M.J. 2001. Dinámica erosiva en los paisajes de la cuenca del río Guadajoz (Córdoba y Jalén). Córdoba, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, 226 p.
- Curvetto, R.O.; García, M.N. y Luque, J.A., 1970. Análisis de frecuencia y probabilidad de crecidas para los río Negro y Colorado. Universidad Nacional del Sur, 322 pp.
- Chang, C.H., 1968. Climate and Agriculture-An Ecological Survey. Aldine Publishing Co., Chicago, USA. 304 pp.
- Chorley, R.J. y Morley, L.S.D., 1959. A simplified approximation for the Hypsometric Interval. Journal Geology N° 67. 566-571.
- Chow, V.T.; Maidment, D.; Mays, L.W., 1994. Hidrología Aplicada. McGraw-Hill. Santa Fé de Bogotá, Colombia, 584 pp. ISBN: 958-600-171-7.
- Chuvieco Salinero, E., 1996. Fundamentos de teledetección espacial. 3ra. Edición revisada. Riap. Madrid, 568 pp.
- da Silva, K. R.; Paiva, Y.G.; Cecílio, R.A.; Macedo Pezzopane, J.E., 2007. Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na bacia do rio Itapemirim-ES. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 21-26 abril, INPE, Brasil. 3141-3146.

- de la Fuente, L., 2007. Ing. Agrónoma asesora del INTA. (Comunicación personal).
- Difrieri, H., 1979. Historia del río Atuel. Gobierno de la provincia de La Pampa. Buenos Aires.
- Difrieri, H., 1981. Geología en los ámbitos fluviales atlánticos. Historia marítima argentina. Cuántica editora. Buenos Aires. 53-71.
- Dingman, S.L., 2002. Physical hydrology. Second edition, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Dirección General de Agua y Energía Eléctrica (DGAE), 1950. Anuario hidrológico, 1945-1946. Buenos Aires, 235 pp.
- Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires (DPH), 1996. Comité de Cuencas del río Sauce Chico. Pliego de Bases y Condiciones para el Estudio y Proyecto de la Regulación del río Sauce Chico. DPH. Distrito VI, Coronel Pringles, Pcia. de Buenos Aires. Argentina, 15 pp.
- Doorenboss, J. and Pruitt, W.D., 1975. Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO. Rome. 179 pp
- Dourojeanni, A., 1994. La Gestión del Agua y las Cuencas en América Latina en: Revista de la CEPAL N° 53. Santiago de Chile, 127 pp.
- Dueñas García, R., 2000. Manejo Integral de Cuenca Sagua la Grande. Manejo integral de cuencas hidrográficas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de las Villas. Santa Clara, Villa Clara. Cuba.
- Ecotimes, 2007. Arsénico en el agua, un riesgo para 140 millones de personas. El mundo, Reuters. Revista Ecotimes, de Ambientum.com.  
<http://www.ambientum.com/revista/2007/septiembre/ArsenicoAgua.asp>
- Elmoujahid, A., 1997. Aplicación del análisis estadístico para la homogeneización climatológica e hidrológica en la cuenca del río Aragón aguas arriba del Pantano de Yesa (Pirineo Central). Geographicalia. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. España. N° 35. 57-74.
- Falkenmark, K.M., 1990. Gestión Racional del Medio Ambiente y el papel de la Hidrología. Rev. La Naturaleza y sus Recursos. Vol. 26, N° 3. UNESCO. Estados Unidos. 14-23.
- Fernández, H.R.; Romero, F.; Vete, M.B.; Manzo, V.; Nieto, C.; Orce, M., 2002. Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña (Tucumán – Argentina). Limnética, N° 21 (1-2). Asociación Española de Limnología. Madrid. 1-13. ISSN: 0213-8409.
- Ferrer Polo, F.J., 1990. Precipitación: Leyes de Frecuencia y Distribución Espacial y Temporal. Instituto Politécnico de Valencia (Apuntes para el curso sobre Mitologías para el Cálculo Hidrometeorológico de Caudales de Avenida). Valencia, 150 pp.
- Fidalgo, F.; de Francesco, F.; Pascual, R. 1975. Geología Superficial de la llanura Bonaerense. Relatorio de la Pcia. de Buenos Aires. T 1. IV Congreso Geológico Argentino, Argentina. 130-139.
- Fiorentino, C. E., 1999. Evaluación y riesgo de contaminación de los recursos hídricos superficiales en las vertientes del sistema de Ventania. Tesis de Magíster, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 142 pp.
- Flint, J.J., 1972. Fluvial systems: a re-evaluation of Horton's laws. Ph. D. Dissertation, States University of N. Y. at Binghampton, Department of Geological Sciences, 56 pp.
- Freije, H.; Asteasuain, R.; Martínez, A., 2007. Análisis químicos de muestras de agua del río Sauce Chico. Química Ambiental. Universidad Nacional del Sur. (Datos inéditos)
- Frenguelli, J., 1956. Rasgos generales de la hidrografía de la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas. Serie II. N° 62, 18 pp.
- Fuschini Mejía, M., 1994. El agua en las llanuras. UNESCO / ORCYT. Montevideo, 56 pp.

- Galizzi, F.; Peinemann, N. y Lamberto, S., 1998. Relación suelo-vegetación en áreas de transición entre condiciones de estepa y halomorfismo en el Sur de la Provincia de Buenos Aires. *Quebracho* 8. 30-39.
- Galón, R., 1964. El papel de la Geomorfología en los Problemas Hidrológicos. *Revista Geográfica*. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol IV – V. N° 11-12-13. 5-13.
- García, J. y García, O. M., 1964. Hidrología de la región de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires y La Pampa. Dirección Nacional de Geología y Minería. Bol. N° 96, 95 pp.
- Gaspari, F.J; Senisterra, G.E.; Marlats, R.M; 2007. Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Rev. Facultad Ciencias Agrarias*. Tomo XXXIX. N° 1. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. 21-28.
- Gausson, H., 1954. Théories et classifications des climats et microclimats. VIII Congrès Int. Bot. Act. 7 et 3. CNRS. 125-130.
- Gausson, H., 1955. Expresión des milieux par des formules écologiques. *Colloque Inter. CNRS*. 257-269.
- Gaviño Novillo, M. y Sarandón, R., 2000. El uso de indicadores ambientales y de intervención en la gestión ambiental. *Actas del V Seminario Internacional Ingeniería y Ambiente*. La Plata 7 y 8 de Noviembre de 2000. Serie Gestión Ambiental N° 3. La Plata, Depto. de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería. 15-47.
- Gentili, J., 2008. Informe final curso de posgrado "Hidrografía Aplicada". Depto. de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 10 pp.
- Ghio, M., 1995. Les activités humaines augmentent-elles les crues?. *Ann. Géol.* N° 1. 23-33.
- Gil, R., 1997. La siembra directa como sistema de producción. *Seminario Siembra Directa*. INTA. 19-24.
- Goligorsky, E., 1939. Defensa de la ciudad de Bahía Blanca contra las inundaciones. *La Ingeniería*, N° 778. Buenos Aires.
- Gómez Rodríguez, R., 2008. La Estación Experimental de zonas Áridas estudiará el balance hídrico en zonas semiáridas. Sección: Agroalimentación, Andalucía Investiga. Andalucía.  
[www.andaluciainvestiga.com](http://www.andaluciainvestiga.com), [www.eeza.csic.es](http://www.eeza.csic.es) – 2/01/2008
- González, A., 1991. Análisis de la evolución reciente de la morfología del cauce del Bajo Gallego en las proximidades de Zaragoza: influencia de las actuaciones humanas en su entorno. *Acta Geológica Hispánica*, v.26, N° 1. 23-33.
- González Uriarte, M., 1984. Características geomorfológicas de la porción continental que rodea a Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. *Actas III, IX Congreso Geológico Argentino*, San Carlos de Bariloche. 556-576.
- Gould, P. y Bailly, A., 2000. *Mémoires de Géographes*. Anthropos, Paris.
- Gravelius, H., 1914. *Flusskunde*. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En Zavoianu, I., 1985. *Morphometry of Drainage Bassins*. *Developments in water science*, 20. Elsevier, Amsterdam, 238 pp. ISBN 0-444-99587-0
- Gregory, K.J. y Walling, D.E., 1973. *Drainage Bassin. Form and process: a geomorphological approach*. Edward Arnold. London, 458 pp.
- Gronzona, M. 1975. Pendiente del Océano Atlántico. *Geografía de la República Argentina*. GAEA, VII, Buenos Aires. 210-224.
- Harrington, H. J., 1947. Explicación de las Hojas Geológicas 33m (Sierra de Curamalal) y 34m (Sierra La Ventana). Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Industria y Minería. Buenos Aires, Argentina, 43 pp.
- Hathaway, G. A., 1945. *Design of Drainage Facilities*. *Transactions of the American Society of Civil Engineer*. Vol. 110, 697 pp.
- Heras, R., 1972. *Manual de hidrología. Principios básicos en hidrología*. V. 1. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid, 473 pp.

- Heras, R., 1983. Recursos hidráulicos. Síntesis, metodología y normas. Cooperativa de publicaciones del Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid. 380 pp.
- Hernández, M.; Fili, M.; Auge, M. y Ceci, J., 1975. Geohidrología de los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires. IV Congreso de Geología Argentina. T. 2. 479-500.
- Hernández, M y González, N., 2003. Hipótesis hidrogeoquímica como auxiliar en la interpretación hidrodinámica de un acuífero figurado. Provincia de Santa Cruz. Argentina. Revista Latino-Americana de Hidrogeología, N° 3. Curitiba. 59-65.
- Honorable Concejo Deliberante (HCD) de Bahía Blanca, 2005. Cuenca del río Sauce Chico: Preocupación de productores hortícolas ante la proximidad de la época estival. 11 de octubre. p. 2.  
[http://www.bahiablanca.gov.ar/hcd/prensa\\_anteriores.html?hoy=2005-10-11](http://www.bahiablanca.gov.ar/hcd/prensa_anteriores.html?hoy=2005-10-11)
- Honorable Concejo Deliberante (HCD) de Bahía Blanca, 2008. Proyecto de Resolución: Solicitando a las Autoridades del Comité de Cuenca Hídrica del río Sauce Chico abordar la problemática de la escasez de agua que se encuentran sufriendo. Bloque Coalición Cívica-Gen Radical. Expte.: 47/2008.
- Honorable Concejo Deliberante (HCD) de Bahía Blanca, 2008. Proyecto de Resolución: Solicitando a la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires convoque a reunión a los integrantes del comité de la Cuenca del río Sauce Chico. Bloque Coalición Cívica-Gen Radical. Expte.: 707/2008.
- Horton, R. E., 1932. Drainage basin characteristics. Transactions of the American Geophysical Union 13. 522-541.
- Horton, R., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer. Bull 56. Cap. 3. 275-370.
- Hufy, A., 1984. Introducción a la climatología. Ariel. Barcelona, 292 pp.
- Huísar Álvarez, R.; Méndez García, T.; Madrid Ríos, R., 1999. Hidrogeoquímica del agua subterránea de la subcuenca de Apan-Tochac, Hidalgo, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V. 16, N° 1. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Sociedad Geológica Mexicana. México, D.F. 89-96.
- Instituto Geográfico Militar (IGM), 1968-1979. Cartas topográficas: 3763-35-4, Ea. Gran Chaco; 3963-5-1, Ea. Los Cerritos; 3963-5-2 Tornquist; 3963-6-1, Sa. de la Ventana; 3963-5-4, Tres Picos; 3963-5-3, Ea. Fuerte Argentino; 3963-4-4, Pelicurá; 3963-11-1, Ea. La Planicie; 3969-10-2, Chasicó; 3963-11-4, Nueva Roma; 3963-11-3, Ea La Vitícola; 3963-16-2, Médanos y 3963-17-1, Bahía Blanca.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI), Instituto Nacional de Ecología (INE), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2007a. Mapa de cuencas hidrográficas de México (escala 1:250.000). Producto cartográfico derivado de la obra primigenia INE (2003) "Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250,000.", elaborada por Priego A.G., Isunza E., Luna N. y Pérez J.L. <http://mapas.ine.gob.mx/index.html>
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI), Instituto Nacional de Ecología (INE), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2007b. Documento técnico del mapa de Cuencas hidrográficas de México (escala 1: 250.000). 34 pp.
- Intendencia de Recursos Hídricos de Perú. Administración Técnica del Distrito de Riego Chillón-Rimac-Lurín, 2004. Estudio Integral de los Recursos Hídricos en la cuenca del Río Chillón. Inventario de Fuentes de Agua Subterránea en el Valle del Río Chillón. Ministerio de Agricultura – Instituto Nacional de Recursos Naturales. Lima, 87 pp.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-CIRN, 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. Instituto de Suelos-INTA. Buenos Aires, 525 pp., 11 mapas desplegados.

- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 1995. Atlas de Suelos de la República Argentina. Publicación en CD. Fundación ArgenINTA y Aeroterra S.A. Buenos Aires.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2006. Instituto de Clima de Agua de Castelar. Datos climatológicos 1991-2000.
- Irondo, M., 1972. Geomorfología Cuantitativa de las Cabeceras del Río Carcarañá. Act. V, Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires. 139-147.
- Jardí, M., 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía. Volumen XIX. Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona. 41-68.
- Jones, J.A.A., 1997. Global hydrology: processes, resources and environmental management. Addison-Wesley. London, 399 pp
- Jordán Díaz, C.; Pizarro Tapia, R.; Tapia Cornejo, M., 2004. Coeficientes de escorrentía instantáneos, para la cuenca del Tutuvén, Región del Maule, Chile. Seminario Internacional. Restauración Hidrológico Forestal para la Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos. Universidad de Talca. Estándares de Ingeniería para aguas y suelos. Chile, 27 pp.
- Julián Andrés, A. y Chueca Cía, J. 1998. Acumulaciones fluviales en la depresión del Ebro: Valoración de la validez de una secuencia general. Geographicalia. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. España, N° 36.67-82.
- Kirpich, Z.P., 1940. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. Civil Engineering, Vol. 10 N° 6, 362 pp.
- Kite, G.W., 1977. Frecuency and Risk Análisis in Hidrology. Water Resources Publications. Estados Unidos, 221 pp.
- Kerby, W. S., 1959. Time of Concentration for Overland flow. Vol 29, N°3. Civil Engineering, 60 pp.
- Kostadinoff, J.; Gelos, E.; Font, G., 1981. Interpretación de los resultados gravimétricos de las Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. Rev. Asoc. Geol. Argentina. Vol. XXXVI, T 2. Buenos Aires. 113-122.
- La Nueva Provincia, 13/08/1963. Serios problemas afrontan pobladores de Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 1964. Requierese la extensión de las obras hasta Nueva Roma. Canalización del Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 27/09/1964. La canalización del Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 11/1966. Embalse y aprovechamiento de las aguas del Sauce Chico. Eliminar riesgos con dividendo económico. Archivo: Sobre N° 8758
- La Nueva Provincia, 21/08/1969. Iniciáronse los trabajos de canalización en el arroyo Sauce Chico. Entre General Cerri y Nueva Roma. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 26/07/1975. Proyecto para la canalización del Sauce Chico y el Napostá. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 28/01/1977. Sauce Chico y la perspectiva cierta de su aprovechamiento. Otro dique para Bahía Blanca. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 16/10/1977. Será canalizado el Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 01/12/1977. Para el Sauce Chico solamente caben soluciones definitivas. Zona en permanente riesgo. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 01/07/1978. Inspeccionaron obras de rectificación en el arroyo Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758-B.
- La Nueva Provincia, 31/12/1978. La canalización del arroyo Sauce Chico. Pedido a los agricultores. Archivo: Sobre N° 8758-B.
- La Nueva Provincia, 23/04/1979. El Sauce Chico une a dos distritos en un esfuerzo. Archivo: Sobre N° 8758-B.

- La Nueva Provincia, 14/08/1979. La canalización del Sauce Chico. Visitó el lugar el Jefe Comunal. Archivo: Sobre N° 8758-B.
- La Nueva Provincia, 14/03/1980. Canalización del Sauce Chico: A fin de año se habilitarían las obras. Anuncio del Director de Hidráulica Provincial. Archivo: Sobre N° 8758-B.
- La Nueva Provincia, 14/04/1980. Serán terminadas las obras de canalización del río Sauce Chico. Proyecto de la Dirección de Hidráulica. Archivo: Sobre N° 8758-C.
- La Nueva Provincia, 10/05/1980. Continúa aumentando el régimen de lluvias en nuestra ciudad. Suplemento: El Campo. 4-5. Archivo: Sobre N° 8786-C.
- La Nueva Provincia, 19/06/1980. Fue licitada la obra de canalización del Sauce Chico y Canal Cuatrerros. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 11/07/1980. Desbordó el Sauce Chico en General D. Cerri. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 09/10/1980. Sauce Chico: Autorizan el contrato de canalización. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 17/12/1980. Las obras en el Sauce Chico culminarían a fines de febrero. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 24/02/1981. Sauce Chico: La labor pierde ritmo. Archivo: Sobre N° 8758-E.
- La Nueva Provincia, 20/04/1981. ¿Correcciones en las obras del Sauce Chico? Archivo: Sobre N° 8758-E.
- La Nueva Provincia, 13/05/1981. Las obras del Sauce Chico: Un nuevo planteo. Archivo: Sobre N° 8758-E.
- La Nueva Provincia, 12/03/1982. Sauce Chico: Se reanudaron parcialmente los trabajos. Archivo: Sobre N° 8758-E.
- La Nueva Provincia, 27/04/1982. Inspección en el Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758-E.
- La Nueva Provincia, 29/04/1982. La crecida del Sauce Chico causó nuevos inconvenientes. Archivo: Sobre N° 8758-E.
- La Nueva Provincia, 19/01/1983. Ruta 3 Sur: El lunes comenzaría el armado del puente "Bailey" sobre el Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 04/01/1985. Ruta 3 sur: Ya está habilitado el nuevo puente sobre el "Sauce Chico". Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 04/11/1988. El puente sobre el arroyo Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 27/06/1989. Dique para riego en el Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 22/10/1991. Trabajos finales en un puente sobre el arroyo Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 08/04/1993. La correntada desplomó un puente. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 26/04/1993. Inminente construcción de compuertas. Canal Cuatrerros. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 07/05/1993. Obras en el Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 05/11/1995. Las aguas del Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 05/11/1995. Las aguas del Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 22/09/1996. Ya tiene comité la cuenca. Sauce Chico. Archivo: Sobre N° 8758.
- La Nueva Provincia, 29/09/1996. Comité de Cuenca del Sauce Chico. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 12/11/1996. Crece la preocupación por el aumento de tomas. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 22/01/1997. Los recursos hídricos en peligro. Preocupa la extracción de caudales para riego desde los arroyos de nuestra zona. Archivo digital.

- La Nueva Provincia, 20/02/1997. Estudian cómo aprovechar las aguas del Sauce Chico. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 18/07/1997. Cuenca. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 24/07/1997. Seco, por mucha lluvia. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 04/04/1999. Obras en el Sauce Chico. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 11/10/1999. Consorcio de regantes. Aprovechamiento integral del agua. Buscan racionalizar la utilización del Sauce Chico. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 22/10/1999. Aprovechamiento del Sauce Chico. Estudio de cuenca. Se abrieron los sobres con las propuestas económicas. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 30/11/1999. Productores del Sauce. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 29/01/2000. La sequía pone en jaque a quinteros de la cuenca inferior del Sauce Chico. La falta de agua incidiría en el mercado frutihortícola. Archivo digital y sobre N° 8758-E
- La Nueva Provincia, 08/11/2001. Se concreta el programa de apoyo mecanizado. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 14/11/2001. Sauce Chico: Respaldo a productores. Editorial. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 04/04/2003. Sauce Chico: Reparación bienvenida. Editorial. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 26/08/2004. Mañana, quedará conformado el comité de cuenca del Sauce Chico. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 13/09/2004. Sauce Chico: Orden sin burocracia. Editorial. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 03/06/2007. Hallan arsénico en la sangre de quinteros. Cinturón hortícola del oeste. p. 8.
- La Nueva Provincia, 04/05/2008. Aguas con altos niveles de arsénico. Investigación bahiense. p. 8.
- La Nueva Provincia, 18/05/2008. El bombeo arroyo arriba deja sin agua a quinteros. Cuenca del Sauce Chico. p. 6.
- La Nueva Provincia, 11/08/2008. Río Sauce Chico. Preocupante situación de los quinteros. Archivo digital.
- La Nueva Provincia, 11/09/2008. Comité de cuenca del Sauce Chico. Archivo digital.
- Laya, H. y Amiotti, N.M., 1980. Clasificación Hidrológica de los suelos y problemas de erosión en las cuencas al N del Valle Medio y Superior del Río Negro. 9<sup>na</sup> Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Tomo III. Paraná, Entre Ríos. 1137-1150.
- Legnini, C., 2001. Eje de desarrollo 03 "Cruz del Sur". Políticas Agroalimentarias para el desarrollo. Instituto de Ciencias Políticas, Sociales y Económicas para el Desarrollo Bonaerense (INDEB). [www.indeb.com.ar/investigacion03.htm](http://www.indeb.com.ar/investigacion03.htm)
- Ley N° 12.257/99 Código de Aguas - Régimen de protección: Conservación y manejo del recurso hídrico de la provincia de Buenos Aires, 83 pp.
- Limbozzi, F. y Marcovecchio, J., 2009. Caudales del río Sauce Chico, obtenidos en el marco del proyecto Ecomanage-UE2005. (Datos cedidos)
- López, A., 1979. Influencia de la Pendiente del terreno en el medio gráfico. Anuario de Geografía. UNAM, México.
- López, R. F. y Crespo, C. H., 1996. Erosividad de las lluvias y riesgos de erosión hídrica en suelos Mucuchíes, estados Mérida. Revista Geográfica Venezolana. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol 37 N° 1. 77-95.
- López Bermúdez, F., 1995. Desertificación: una amenaza para las tierras mediterráneas. El Boletín N° 20. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 38-48.
- López Bermúdez, F., 1997. Gli indicatori della desertificazione nei Paesi dell'Europa. In La Desertificazione in Ambiente Mediterraneo. Edagricole. Genio Rurale N° 6. Italia. 36- 39.

- López Bermúdez, F., 1999. Indicadores de la desertificación: una propuesta para las tierras mediterráneas amenazadas. Murgetana, 100. Real Academia Alfonso X El Sabio. Murcia. 113-128.
- López Bermúdez, F., 2002. Cambio climático y desertificación, amenazas para la sostenibilidad de las tierras del Arco Mediterráneo. Situación y perspectiva. Revista Valenciana D'Estudis Autònoms. N° 36, Valencia. 93-116.
- López Cadenas, F. y Mintegui, J.A., 1986. Hidrología de Superficie. Tomo I. Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S. Ingenieros de Montes. Madrid, 224 pp.
- Lorda, M.A., 2005. El desarrollo local, estrategia de gestión ambiental de la actividad agrícola en espacios próximos a la ciudad de Bahía Blanca. Tesis de Doctorado. Departamento de Geografía y Turismo. UNS. Bahía Blanca, 361pp.
- Luecke, D., 1993. Commentary on the Mississippi Flood. Environment, 35. 4-7.
- Luque, J.A., 1990. Administración y manejo de sistemas y distritos de riego. Hemisferio Sur, 257 pp. ISBN: 950504174X.
- Luque, J.A., 2000. Grave crisis de agua para riego entre los productores del cinturón hortícola y frutícola de Bahía Blanca. Carta al Director del Diario La Nueva Provincia. 20 de enero. Archivo La Nueva Provincia: Sobre N° 8758-E.
- Luque, J.A. y Paoloni, J.D., 1995. La alternancia de las inundaciones y sequías bonaerenses y su enfoque para una solución sostenida. Dpto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 21 pp.
- Luque, J.A y Paoloni, J.D, 2005. Aplicación de un código de aguas con énfasis en riego y obtención de un modelo real en función de dotación caudal y tiempo. Cuenca del río Sauce Chico. Pcia. de Buenos Aires. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo LV. Comisión Académica Regional Austral. Bahía Blanca, 87 pp.
- Lynch, K., 1960. La imagen de la ciudad. Infinito. Buenos Aires, 205 pp.
- Llamas, J., 1993. Hidrología General. Principios y Aplicaciones, Azehu, Bilbao, 635 pp.
- Maderey, L.E., 1973. Obtención de los elementos físicos que influyen en el régimen hidrológico. Cuenca del río Pabellón afluente del río Aguascalientes. Recursos hidráulicos. T 2. México. 166-177.
- Marchetti, A., 1968. Estudio hidrológico de la zona Sud de la provincia de Buenos Aires. Dirección Nacional de Geología y Minería. Carpeta 578. Buenos Aires.
- Marengo, N.S., 1994. Revitalización del núcleo urbano de General Daniel Cerri y su área rural circundante. Partido de Bahía Blanca. Provincia de Buenos Aires. Sigeo N° 6. Serie: Investigación. Departamento de Geografía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 149 pp.
- Marini, F.; Píccolo, M.C., 1997a. La cuenca hidrográfica del Río Quequén Salado. Geofísica N° 47. México. 42-52.
- Marini, F.; Píccolo, M.C., 1997b. Descripción y cambios en algunos ríos y arroyos de la cuenca del Río Quequén Salado. Acta de la 19<sup>na</sup> Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. San Juan. 336-340.
- Marini, M.F.; Píccolo, M.C., 2000. El balance hídrico en la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. Papeles de Geografía, N° 31. Universidad de Murcia. España. 39-53.
- Marsh, W.M., 1978 Environmental analysis for land use and site planning. Mc Graw-Hill. New York, 292 pp. ISBN: 0070404909.
- Martínez de Azagra Paredes, A., 2006. Método de los coeficientes de escorrentía. Marco Generalizado. Universidad de Valladolid, 28 pp. www.oasification.com
- Mateo, R.M., 2003. Tratado de Derecho Ambiental. T. IV (Actualización) Edisofer. Madrid, 364 pp. ISBN: 84-89493-87-1.
- Maucha, R, 1932. Hydrochemische Methoden in der Limnologie. Binnengewasser 12. 173 pp.
- Millán Escriche, M., 2004. La Geografía de la Percepción: Una metodología de análisis para el desarrollo rural. Escuela de Turismo de Murcia. Papeles de Geografía N° 40. España. 133-149. ISSN 0213-1781.

- Miller, A., 1975. Climatología. Ed. Omega. Barcelona, 379 pp.
- Miller, V.C., 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report, 3. Department of Geology, Columbia University. 271-300.
- Ministerio de Asuntos Extranjeros (MAE) y Ministerio de Ordenación Territorial y Medio Ambiente (MOTMA), 1998. Conferencia Internacional "Agua y Desarrollo Sostenible", 19 al 21 de marzo París.  
<http://ruisseau.oieau.fr/ciedd/esp/frames/index.htm>
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 1998. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Secretaría General de Medio Ambiente. Madrid, 809 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2001. Programa de Acción Nacional contra la Desertificación. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid, 138 pp.
- Mintegui, J.A. y López Cadenas, F., 1990. La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. España, 306 pp.
- Mintegui Aguirre, J.A.; Robledo Sánchez, J.C.; Sendra Arce, P.J. 2003. Avenidas torrenciales en el arroyo del Partido y su incidencia en la Marisma del Parque Nacional de Doñana. Naturaleza y Parques Nacionales. Serie Técnica. Editorial Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 297 pp.
- Monsalve Sáenz, G., 1999. Hidrología en la Ingeniería, Alfaomega, Colombia, 359 pp.
- Monteith, J.L.; Unsworth, M.H., 1990. Principles of environmental physics. 2<sup>nd</sup> ed., Edward Arnold, London, 291 pp.
- Morandé, J.; Murillo, I; Puratich, J., 2008. Análisis geoquímico de las aguas del Estero Yerba Loca. Informe Geoquímica. Depto. de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Chile, 30 pp.
- Morgan, R., 1997. Erosión y conservación del suelo. Mundi Prensa. Madrid, 343 pp.
- Morgan, R. y Kirby, M., 1994. Erosión de suelos. Limusa, S.A. de C.V. México, 375 pp.
- Morisawa, M., 1964. Quantitative Geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. Geol. Soc. AMER., Bull. N° 73. 1025-1046.
- Monachesi, A., 1993. Conflits d'environnement, strategies sociales et transformations du territoire. Les inondations dans le Soud-Oueste de la province de Buenos Aires (Argentina). Universite de Toulouse. France. Tesis Inédita, 64 pp.
- Moyano, A.; García Sánchez, A.; Mayorga, P.; Anawar, H.M.; Álvarez-Ayuso, E., 2009. Impact of irrigation with arsenic-rich groundwater on soils and crops. Journal of Environmental Monitoring 11 (3). Servicio de Información y noticias científicas (SINC). 498-502  
<http://www.plataformasinc.es/index.php/Noticias/El-arsenico-de-las-aguas-de-riego-se-transfiere-a-los-cultivos>
- Munguía, S.I.; Campo de Ferreras, A.M., 2003. Características hidrogeomorfológicas de la cuenca del arroyo Pescado Castigado, Buenos Aires, Argentina. Papeles de Geografía, N°38. Univ. de Murcia, España. 137-150.
- Munguía, S.I., 2003. Estudio Integrado de la cuenca del Arroyo Pescado Castigado. Tesis de Magíster. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 138 pp.
- Murillo Illanes, M.; Sequeira, M.E.; Paoloni, J.D., 2002. Comportamiento hidrológico de la subcuenca Berenguela, Cordillera Oriental de los Andes bolivianos. Revista de Estudios sobre Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Vol. 1, Nro. 1. AAMICH, Asociación Americana para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Rosario, Santa Fe, Rep. Argentina. 41-53.
- Murillo Illanes, M., 2008. El escurrimiento superficial. Métodos para su estimación en conservación de suelos. Manual Técnico. Unidad Académica Campesina – Tiahuanaku. Universidad Católica Boliviana "San Pablo". La Paz, 28 pp.

- Musgrave, G.V., 1955. How much of the rain enters the soil? In *The Yearbook of Agriculture*. U.S. Department of Agriculture. Washington. 151-159.
- Musnot, R. y Bénech, C., 1995. L'influence des interventions humaines sur l'écoulement des eaux et sur les transports solides. L'exemple des Pyrénées-Orientales (France). *Ann. Géol.* N° 581 – 582. 105-118.
- Myers, M. y White, G., 1993. The Challenge of the Mississippi Flood. *Environment*. 35. 7-35.
- Natenzon, C.E. y Tito, G., 2001. Medio ambiente y pequeños productores. Conceptos básicos y operativos. Serie Documentos de Capacitación N° 1. Dirección de Desarrollo Agropecuario – PROINDER. Ministerio de Economía Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Buenos Aires, Argentina, 84 pp. ISBN 987-9184-23-8.
- Nebel, B.J. y Wright, R.T., 1999. Ciencias Ambientales. Ecología y desarrollo sostenible. 6ta. Ed. Prentice Hall, México, 720 pp. ISBN: 970-17-0233-6.
- Novoa Jerez, J., 1986. Hidrogeomorfología, riesgos naturales, control y manejo de la cuenca las Gaultatas, provincia de Santiago. *Boletín Informativo IGM*. I Semestre. 79-96.
- Novoa Jerez, J., 1987. Consideraciones geomorfológicas para la evaluación del riesgo y peligro fluvial. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*. N° 30. 3-53.
- Ogden, F. L.; Sharif, H. O.; Senarath, S. U. S.; Smith J. A.; Baeck, M. L.; Richardson J. R., 2000. Hydrologic analysis of the Fort Collins, Colorado, flash flood of 1997. *Journal of Hydrology* 228. 82-100.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU), 1997. Cumbre para la Tierra + 5. 23 al 27 de junio. Nueva York. <http://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Red Latinoamericana de Cuencas Hidrográficas (REDLACH), Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), 1990. 1<sup>er</sup> Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Concepción, Chile. 22 al 26 de octubre.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Red Latinoamericana de Cuencas Hidrográficas (REDLACH), Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), 1994. 2<sup>do</sup> Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Merida, Venezuela. 6 al 11 de noviembre.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1979. Proceedings of the World Climate Conference, Ginebra. [http://www.wmo.int/pages/index\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/index_es.html)
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1986. Manual para la Estimación de la Precipitación Máxima Probable, N° 332. Hidrología Operativa. Informe N° 1. [http://www.wmo.int/pages/index\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/index_es.html)
- Palacio Prieto, J.L., 1990. Determinación de áreas de erosión potencial en cárcavas: un ejemplo en el centro de México. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. México. 45-55.
- Paoloni, J.D. y Vázquez, R., 1984. Necesidades teóricas de Agua de los Cereales de Invierno y Probabilidad de Ocurrencia de la Precipitaciones como base para el Balance Hídrico. *Anales de Edafología y Agrobio*. Tomo XLIII. Madrid, 1-12.
- Pedraza Gilsanz, J. de, 1996. Geomorfología, principios, métodos y aplicaciones. Ed. Rueda. Madrid, 414 pp.
- Penman, H. L., 1948. Natural Evaporation from open water, bare soil and grass, *P. Roy. Soc. A.*, A193. 120-145.
- Penman, H.L., 1956. Estimating evaporation. *American Geophysical Union*, 4. 9-29.
- Penning Rowsell, E., 1996. Flood-hazard response in Argentina. *The Geographical Review*, 86, 1. 72-90.
- Penning Rowsell, E. y Fordham, M., 1994. Flood across Europe. Flood hazard assessment. Modeling and management. Londres. Middlesex University Press.
- Peña Cortéz, F., 1995. Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área. *Revista de Geografía Norte Grande* N° 22. 27-33.

- Peña Monné, J. L., 1997. Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. Geoforma Ediciones. Logroño. España, 227 pp.
- Pérez, F., 2005. La entrevista como técnica de investigación social. Fundamentos teóricos, técnicos y metodológicos. Extramuros. Vol.8, N° 22. 187-210. ISSN 1316-7480.
- Pitlick, J., 1997. A regional perspective of the hydrology of the 1993 Mississippi River Basin Floods, *Annals of the Association of American Geographers*, 87 (1). 135-151.
- Ponce, V.M., 1989. *Engineering Hydrology. Principles and Practices*. Prentice Hall. New Jersey, 640 pp.
- Posadas, C., 1944. Las inundaciones producidas por las lluvias del 7 al 10 de abril de 1944 en la región de Bahía Blanca. *La Ingeniería*, N° 840. Buenos Aires.
- Prieto García, F.; Callejas H., J.; Lechuga, M. de los A.; Gaytán, J.C; Barrado e., E., 2005. Acumulación en tejidos vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Bioagro* 17 (3). 129-135.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo y Medio Ambiente, Río. ONU.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 1994. Convenio Internacional de Lucha contra la Desertificación. ONU.
- Pucci, A. y López, C., 1990. Plan Integral de Abastecimiento de Agua a Bahía Blanca y Gran Bahía Blanca. Convenio M.O.P., U.N.S. y C.I.C. Tomo II. Estudios químicos del agua. O.S.B.A., Bahía Blanca, 147 pp.
- Pulido Bosch, A., Martín Rosales, W., Vallejos A., De Simon, E., 1997. Runoff regulation in the small basins of the southern edge of the Sierra de Gador (Almería - Spain). Department of Geodynamics, University of Granada, Spain. International Hydrological Programme, IHP-V Technical Documents in Hydrology N° 8. Part II. UNESCO. París. 16-22.
- Quattrocchio, M.E.; Borromei, A.M.; Deschamps, C.M.; Grill, S.C.; Zavala, C.A., 2007. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene–Holocene, southern Pampa (Argentina): Evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quaternary International*. (En Prensa)
- Quattrocchio, M.E.; Kostadinoff, J.; Martínez, G.A.; Prieto, A.R., 1994. Evidencias de neotectónica en el río Sauce Chico, Provincia de Buenos Aires. *Rev. de la Asoc. Geológica Argentina*, N°49 T 3-4. 297-305.
- Quiroga A.; Adema, E.; Buschiazzo, D. y Peinemann, N., 1996. Efecto de dos sistemas de labranzas sobre el rendimiento de trigo y sorgo, y propiedades de un Haplustol Entico en la región semiárida pampeana. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 213 pp.
- Quiroga, A. y Paccapelo, H., 1990. Evaluación de algunos aspectos de las relaciones hídricas en trigo, en la Región Semiárida Pampeana. *Rev. Fac. Agr. UNLPam*, 5 (2).109-115.
- Rabassa, J., 1976. Mapas de valores de CN para las zonas 6, 7 y 8. Cuencas aluvionales de la Provincia del Neuquén. Inédito, INCYTH, C.R.A. Mendoza.
- Rabassa, J., 1979. Geomorfología cuantitativa de la cuenca del río Manso superior, Río Negro, Argentina. Parte II: Análisis hipsométrico. *Rev. de la Asoc. Geológica Argentina*, Nro. XXXIV (2). 141-150.
- Rabassa, J., 1983. Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje de la Cuenca del río Sauce Grande. *Asoc. Geol. Rev. XXXVII*. Cap. 3. Buenos Aires. 268-284.
- Rapacioli, R.A., 2007. La problemática aluvional en el desarrollo urbano de la región del Alto Valle del Río Negro. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Argentina, 122 pp.
- Remenieras, G., 1974. *Tratado de Hidrología Aplicada*. ETA, Barcelona, 515 pp.

- Rickert, D., 1993. Evaluación de la Calidad del Agua para determinar la Naturaleza y el Grado de Contaminación del Agua por la Agricultura y Actividades Conexas. FAO. Santiago de Chile. 187-210.
- Saavedra, J 2001. Planificación Ambiental de los Recursos Forestales em la Región de la Araucanía, Chile. Definición de las Unidades Homogéneas de Gestión. Tesis Doctotal. Universidad Politécnica de Madrid, 342 pp.
- Sagardoy, J.A., 1993. Una Visión Global de la Contaminación del Agua por la Agricultura. Informe sobre Temas Hídricos, N° 1. FAO. Santiago de Chile, 19-26.
- Sánchez, L. y Amiotti, N., 1991. Principales series de suelos de los Partidos de Villarino y Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires Actas de la X Reunión Nacional del Comité Argentino para el Estudio de la Regiones Áridas y Semiáridas. CAPERAS – UNS. Bahía Blanca. 51-52.
- Sánchez-Martos, F.; Pulido-Bosch, A.; Vallejos, A; Gisbert, J.; Molina, L., 2005. Aspectos hidrogeoquímicos sobre la relación aguas subterráneas – aguas superficiales en el río Andarax (Almería). GEOGACETA, N° 37. España. 91-94. ISSN: 0213.683X.
- Santarelli de Serer, S.; Campos, M.M., 2002. Corrientes epistemológicas, metodología y práctica en Geografía. Propuestas para el estudio del espacio local. Depto. de Geografía, UNS. EdiUNS. Bahía Blanca, 320 pp.
- Sala, J., 1969. El agua subterránea en el Noreste de la provincia de Buenos Aires. Reunión Geológica del Agua Subterránea. CIC, La Plata. pp 66 – 75.
- Sala, J., 1975. Recursos Hídricos. VI Congreso de Geología Argentina. pp 169 – 193.
- Sala, J., 1980. Geología en cuencas de llanura con énfasis en hidrología. Comisión de Cuencas hídricas. Rosario. 223 pp.
- Sala, J., 1981. Problemática en las investigaciones geohidrológicas en grandes llanuras. Primeras Jornadas Geológicas de la provincia de La Pampa. F 3. 33-35.
- Sala, J.; González, N.; Kruse, E., 1983. Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires, Hidrología de las Grandes Llanuras. Actas del Coloquio de Olavaria (Argentina): UNESCO-CONAPHU. pp 973-1009.
- Saracho, M.; Iriarte, A.; Rodríguez, C.; Rodríguez, N., 2007. Impacto de las lagunas de estabilización: Influencia sobre el recurso hídrico subterráneo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 11. ASADES. Argentina. 137-144. ISSN 0329-5184.
- Savvas, D., 2001. Crop management and postharvest handling of horticultural products. Vol. 1: Quality Management. Capítulo 3. Science Publishers. Enfield, N.H., USA. 37-87.
- Schefer, J.C., 2004. Los recursos hídricos y el abastecimiento de agua. Región Bahía Blanca. Cepade. Bahía Blanca, 133 pp.
- Schoeller, H., 1.959. Arid zone hydrology. Recent development. UNESCO. París, 125 pp.
- Schumm, S., 1956. The fluvial system. A Wiley-interscience Publication. John Wiley and Sons, Inc. New York, 338 pp.
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geol. Soc. Amer. Bull. V 67. 597- 646.
- Schumm, S.A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. Bulletin of Geological Society of America. V. 74, N° 9.
- Schumm, S.A. 1977. The Fluvial System, Jhon Wiley and Sons, New Cork, 338 pp.
- Selltiz, C.; Wrightsman, L.S.; Cook, S.W., 1980. Métodos de Investigación en las Relaciones Sociales. Rialp. Madrid, 663 pp.
- Selles Martínez, J.; Carletto, C., 1990. Causas y periodicidad de las inundaciones en la Cuenca de las encadenadas del Oeste (Provincia de Buenos Aires). Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XLV, 1 – 2. 1-8.
- Senciales González, J.M., 1999. Redes fluviales. Metodología de análisis. Servicio de Publicaciones. Estudios y Ensayos, 34. Universidad de Málaga, Málaga, 337 pp.

- Senigaliesi, C. y Zeljkovich, V., 1989. Influencia de métodos de labranza y rotaciones de cultivos. Recuperación de propiedades alteradas. Efectos de la agricultura continua. En Degradación de suelos por intensificación de la agricultura. Publicación Miscelánea N° 47. INTA - EEA Rafaela. Santa Fe. 77-96
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 1986. Estadísticas climatológicas, 1971-1980. N° 36. Buenos Aires.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 1992. Estadísticas climatológicas, 1981-1990. Serie B – N° 37. Primera edición. Buenos Aires, 709 pp.
- Sheng, T. C., 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. FAO. Roma, 185 pp.
- Silva, C.A. da, 2000. Las políticas de intervención en cuencas hidrográficas como estrategia de desarrollo territorial: un modelo de evaluación aplicado a Brasil. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 357 p. Biblio 3W. Revista bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. N° 241.
- Silva León, G., 1999. Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela. Hydrographic and hypsometric analysis of the high and middle Chama river basin, Mérida State, Venezuela. Rev. Geográfica de Venezuela. Vol. 40, N° 1. 9-41.
- Simonovic, S. P., 1999. Social criteria for evaluation of flood control measures: Winnipeg case study. Urban Water 1. 167-175.
- Smith, K. G., 1950. Standards of grading texture of erosional topography. American Journal of Science, 655-668.
- Smith M., Allen R.; Monteith J.L.; Pereira L.A.; Perrier A.; Segeren A., 1992. Report on the Expert Consultation for the Revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO, Rome, Italy, 54 pp.
- Sonnenfeld, J., 1967. Environmental Perception and Adaptation Level in the Arctic. En Lowenthal, D., Environmental Perception and Behavior. Research Paper N° 109. Department of Geography-University of Chicago. 42-53.
- Soldano, F.A., 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. Parte I. El río Paraná y sus tributarios. Editorial Címera. Buenos Aires.
- Sorre, M., 1957. Rencontres de la géographie et de la sociologie. Marcel Rivière. París, 315 pp.
- Stonevičius, E.; Štaras, A.; Valiuškevičius, G., 2008. Dirvožemio drėgmės režimo pokyčių XXI a. prognozės pagal skirtingus klimato kaitos scenarijus. Geografija. T. 44. N° 1. Lietuvos mokslų akademijos leidykla. ISSN 1392-1096.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geol. Soc. Amer. Bull. N° 63. 1117-1142.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions Am. Geophys. Union, 38 N°6. 913-925.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V. T., Handbook of applied hydrology, McGraw-Hill, N. York, 4-39 a 4-76.
- Strahler, A.N.; Strahler, A., 1987. Geografía Física. Omega. Barcelona, 629 pp.
- Suero, E.; Santa Cruz, J.; Silva Busso, A.; Della Maggiore, A.; Irigoyen, A.; Costa, J. y Gardiol, J., 2002. Caracterización de los Recursos Naturales en Sistemas Bajo Riego del Sudeste Bonaerense. Bases para propuestas de aplicación sustentable del riego. INTA, Argentina. ISSN 0325 – 8718. RIA, 30 (1). Argentina. 71-90.
- Thornthwaite C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographic Review. 38. 55-94.
- Thornthwaite C.W., Mather J.R., 1955. The water balance. Publications in Climatology. 8 (1) New Jersey, 86 pp.
- Thornthwaite, C. y Mather, J., 1957. Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico. Instituto Tecnológico de Drexel. Publicaciones de Climatología. Vol X N° 3. New Jersey, 67 pp.

- Torrero, M. y Campo, A., 2008. Hidrogeomorfología de la cuenca del río Sauce Chico, Argentina. *Revista Geográfica de Valparaíso* N° 41, Chile. 1-13. ISSN 0716-1905.
- Tossini, L., 1959. Sistema hidrográfico y cuenca del río de la Plata. Contribución al estudio del régimen hidrológico. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*. Vol. 167, 3-4. Buenos Aires. 41-61.
- Tracanna, B.; Villagra de Gamundi, A.; Seeligmann, C.; Locascio de Mitrovich, C.; Drago, E., 1991. Limnología del embalse el Cadillal (Tucumán, Argentina). I. Variables morfométricas y físico-químicas. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 24-4. 269-286.
- Tricart, J., 1965. La carta hidrogeomorfológica detallada y su interés para el estudio de los regímenes fluviales. Traducción del francés por el Dr. R. Capitanelli, Laboratorio de Geografía Física y de Cartografía, Centro de Geografía Aplicada. Universidad de Estrasburgo, 30 pp.
- Tricart, J., 1969. *La epidermis de la tierra*. Ed. Labor, Barcelona. 178 pp.
- Tricart, J. L., 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida como base para estudios edafológicos y agronómicos. INTA. Vol. Cienc, XII.
- United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 1990. *Water quality and availability, Nature and resources*, Volume 26, Number 3, Parthenon Publishing, París.
- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), 1992. Agenda 21, the Rio Declaration on Environment and Development, and the Statement of principles for the Sustainable Management of Forests were adopted by more than 178 Governments at the UNCED held in Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June. <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm>
- U.S. DI, Bureau of Reclamation, 1970. Proyecto de presas pequeñas. Apéndice A: Determinación de la escorrentía a partir de las características de la cuenca. Ed. Dossat. Madrid.
- U.S. Soil Conservation Service (USSCS), 1957. *National Engineering Handbook*. U.S. Department of Agriculture (USDA). Washington, D.C. En: N.R.C.S., 2004. *National Engineering Handbook*. Part 630: Hydrology. Chapter 10. National Conservation Service. Disponible en: [http://policy.nrcs.usda.gov/scripts/lpsiis.dll/H/H\\_210\\_630\\_10.pdf](http://policy.nrcs.usda.gov/scripts/lpsiis.dll/H/H_210_630_10.pdf)
- U.S. Soil Conservation Service (USSCS), 1972. Hydrology. Secc. 4. Supplement A. In *Soil Conservation Service National Engineering Handbook*. U.S. Department of Agriculture (USDA). Washington D.C.
- U.S. Soil Conservation Service (USSCS), 1975. *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release N° 55 SCS, U.S. Department of Agriculture (USDA). Washington D.C. En: N.R.C.S., 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. TR-55. Disponible en: [ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/downloads/hydrology\\_hydraulics/tr55.pdf](ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/downloads/hydrology_hydraulics/tr55.pdf)
- U.S. Soil Conservation Service (USSCS), 1978. *Predicting rainfall erosion loesses. A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook 537. U.S. Department of Agriculture (USDA). Washington, D.C, 58 pp.
- Vali Khodjeini, A. 1997. Hydrologic processes on Amameh representative basing. Irrigation and reclamation. Eng. Dept. University of Teheran, Karaj, Iran. International Hydrological Programme, Technical Documents in Hydrology N° 9. Part II. UNESCO, París. 179-183.
- Vallarino, E., 1997. *Obras hidráulicas*. Servicio de Publicaciones UPM. ETS-ICCP, Madrid.
- Varela Salazar, J.; López Mazón, L.; Montiel Cota, A., 2006. El arsénico y sus riesgos. *Revista Ruta Crítica*. 46-48. <http://www.revistauniversidad.uson.mx/revistas/20-20articulo%2013.pdf>
- Velázquez de Castro, F., 2008. 25 Preguntas sobre el cambio climático. Capital Intelectual. Buenos Aires, 237 pp.

- Verstappen, H. Th., 1964. Geomorfología y conservación de recursos naturales. Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol IV – V. Nº 11 – 12 – 13. 69-82.
- Verstappen, H. T., 1983. Applied geomorphology, geomorphological surveys for environmental development. Elsevier. Amsterdam, 437 pp.
- Vieira, M.S.; Moura, M.A.M.; Ferreira, J.R., 2005. Estudo das variações sazonais e espaciais dos íons dominantes na água e no sedimento da represa de Ibitinga (São Paulo, Brasil - 21°45'S e 48°50'W). Arq. Inst. Biol. Vol. 72, Nº 4. São Paulo, 523-534.
- Vilà Valentí, J., 1983. Introducción al estudio teórico de la Geografía. V. 1. Ariel, Barcelona, 377 pp.
- Vivas, L., 1968. Los mapas geomorfológicos detallados y su utilización en el aprovechamiento de los recursos naturales. Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. Nº 20. 25-41.
- Vivas, L., 1969. Procesos geomorfológicos y problemas erosivos de las cárcavas de San José, cuenca del Uribante. Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. Nº 22 – 23. 59-80.
- Wolpert, J., 1964. The Decision Process in a Spatial Context. Annals of the Association of American Geographers. Nº 4. 537-558.
- World Resources Institute (WRI), United Nations Environment Programme (UNEP), United Nations Development Programme (UNDP), World Bank (WB), 1996. World Resources Oxford University Press. New York and Oxford.
- Zavala, C.A. y Quattrocchio, M.E., 2001. Estratigrafía y evolución geológica del río Sauce Grande (Cuaternario), provincia de Buenos Aires. Rev. de la Asoc. Geológica Argentina Nº 56. 25-37.

<http://www.infoleg.gov.ar/basehome/constituciones.htm>

<http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/804/norma.htm>

## ANEXO I

### EVAPOTRANSPIRACIÓN

- Período 2002

### BALANCES HÍDRICOS

- Período 1991-2000
- Período 2002
- Período 2006

## CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH - PERÍODO 2002

CropWat 4 Windows

Climate and Eto (grass) Data								
Data Source: C:\CROWPWATW\CLIMATE\IBLANCA.PEM								
Country: Argentina				Station: Bahía Blanca - Aero				
Altitude: 83 metres(s) above M.S.L.								
Latitude: - 38,73 Deg. (South)				Longitude: - 62,17 Deg. (West)				
Month	MaxTemp (deg.C)	MiniTemp (deg.C)	Humidity (%)	Wind Spd (km/d)	SunShine (Hours)	Solar Rad. (MJ/m2/d)	Eto (mm/d)	Eto (mm/m)
January	30,8	15,5	59,6	556,8	9,4	24,9	8,1	251,7
February	29,9	14,5	56,7	501,6	10,6	24,8	7,5	208,6
March	25,6	12,6	62,2	446,4	7,0	16,8	5,2	161,8
April	21,2	9,3	69,5	480,0	6,7	12,7	3,6	108,3
May	17,6	7,3	77,2	470,4	4,7	8,0	2,3	70,1
June	13,3	0,9	70,7	429,6	5,0	7,0	2,0	61,2
July	14,2	2,7	73,7	427,2	4,3	7,0	2,0	62,3
August	14,9	5,7	73,2	463,2	3,3	8,1	2,3	71,0
September	18,1	6,2	70,0	372,0	5,5	13,4	3,1	93,6
October	22,5	10,3	67,6	458,4	6,3	17,5	4,6	142,0
November	25,2	12,6	64,0	501,6	9,3	24,2	6,1	183,6
December	29,1	14,6	58,2	552,0	9,9	26,2	7,9	244,9
Average	21,8	9,3	66,9	471,6	6,8	15,9	4,6	138,7

Pen-Mon equation was used in Eto calculations with the following values for Angstrom's Coefficients:  
a = 0,25      b = 0,5

C:\CROWPWATW\REPORTS\IBLANCA.TXT

CropWat 4 Windows

Climate and Eto (grass) Data								
Data Source: C:\CROWPWATW\CLIMATE\CNSUAREZ.PEM								
Country: Argentina				Station: Coronel Suárez - Aero				
Altitude: 234 metres(s) above M.S.L.								
Latitude: - 37,50 Deg. (South)				Longitude: - 61,95 Deg. (West)				
Month	MaxTemp (deg.C)	MiniTemp (deg.C)	Humidity (%)	Wind Spd (km/d)	SunShine (Hours)	Solar Rad. (MJ/m2/d)	Eto (mm/d)	Eto (mm/m)
January	28,6	14,3	55,6	295,2	9,9	25,8	6,7	206,2
February	26,2	11,8	58,9	285,6	9,4	23,3	5,6	157,1
March	22,7	10,2	68,4	266,4	6,6	16,5	3,8	116,9
April	18,6	6,6	71,8	249,6	6,7	13,0	2,6	77,1
May	17,0	5,5	77,6	278,4	5,0	8,5	1,8	57,0
June	11,8	-1,3	69,8	268,8	5,9	8,0	1,6	47,1
July	12,4	1,2	73,3	254,4	4,7	7,6	1,5	46,2
August	13,3	3,9	74,2	324,0	4,0	9,1	1,9	58,9
September	17,3	4,1	65,1	295,2	6,0	14,2	3,1	93,0
October	20,3	8,1	65,5	350,4	6,8	18,4	4,1	127,7
November	23,1	10,3	61,8	348,0	8,4	23,0	5,3	158,4
December	26,3	12,7	55,7	338,4	8,2	23,7	6,3	194,1
Average	19,8	7,3	66,5	296,2	6,8	15,9	3,7	111,6

Pen-Mon equation was used in Eto calculations with the following values for Angstrom's Coefficients:  
a = 0,25      b = 0,5

C:\CROWPWATW\REPORTS\CNSUAREZ.TXT

Balances Hídricos - Período 1991-2000

Per.: 1991-2000

Estación: Bahía Blanca

Latitud: 38,73

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	23,30	21,60	19,80	15,10	11,80	8,50	7,60	9,80	11,80	15,30	18,80	22,00	15,40
IndiceCalor	10,06	8,98	7,88	5,25	3,63	2,22	1,87	2,74	3,63	5,35	7,29	9,23	68,13
Evp/s/ajust	113,05	100,22	87,27	56,72	38,32	22,75	19,04	28,52	38,32	57,92	80,37	103,18	
Evp/ajustada	142,44	106,23	93,38	52,75	32,96	17,97	15,99	26,24	38,32	66,61	95,64	132,08	820,60
pp	81,90	72,60	76,10	42,70	54,20	60,00	24,30	31,10	51,80	43,10	63,90	83,10	684,90
variación	0,00	0,00	0,00	0,00	-21,24	-42,03	-8,31	-4,86	-13,48	23,51	31,74	34,67	0,00
almacenaje	0,00	0,00	0,00	0,00	21,24	63,27	71,58	76,44	89,92	66,41	34,67	0,00	423,53
evr	81,90	72,60	76,10	42,70	32,96	17,97	15,99	26,24	38,32	66,61	95,64	117,77	684,80
deficit	60,54	33,63	17,28	10,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,30	135,80
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I.ARIDEZ :16,55													I.HUMEDAD: 0,00
													I.HIDRICO: -9,93

Per.:1991-2000

Estación: Bordenave INTA

Latitud: 37,85

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	22,3	20,6	19,3	14,8	11,5	7,8	7	9,8	11,4	14,7	19,9	21,1	15,02
IndiceCalor	9,42	8,36	7,58	5,09	3,49	1,95	1,66	2,74	3,44	5,04	7,94	8,67	65,39
Evp/s/ajust	106,65	94,34	85,30	56,58	38,30	21,02	17,78	29,91	37,79	55,99	89,43	97,91	
Evp/ajustada	133,31	99,06	90,41	53,18	33,71	16,81	15,29	27,82	37,79	63,83	105,53	124,34	801,08
pp	135,50	96,30	93,50	70,10	55,60	37,20	18,50	31,10	49,10	46,50	63,50	133,50	830,40
variación	-2,19	2,76	-3,09	-16,92	-21,89	-8,87	0,00	0,00	0,00	17,33	42,03	-9,16	0,00
almacenaje	51,99	49,24	52,32	69,24	91,13	100,00	100,00	100,00	100,00	82,67	40,64	49,80	887,04
evr	133,31	99,06	90,41	53,18	33,71	16,81	15,29	27,82	37,79	63,83	105,53	124,34	801,08
deficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,52	3,21	3,28	11,31	0,00	0,00	0,00	29,32
I.ARIDEZ: 0,00													I.HUMEDAD: 3,66
													I.HIDRICO: 3,66

Per.:1991-2000

Estación: Pigüé

Latitud: 37,6

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	20,90	19,30	18,00	13,70	10,70	7,20	6,10	8,50	10,20	13,30	16,70	19,80	13,70
IndiceCalor	8,55	7,58	6,83	4,54	3,13	1,73	1,35	2,22	2,91	4,34	6,10	7,88	57,15
Evp/s/ajust	100,14	89,47	81,07	55,10	38,84	22,18	17,54	28,05	36,30	52,84	72,91	92,77	
Evp/a justada	125,17	93,94	85,93	51,79	34,18	17,74	15,09	26,09	36,30	60,24	86,03	117,81	750,33
pp	88,20	100,38	86,22	66,81	33,98	30,30	20,68	28,90	48,71	57,24	93,90	89,75	745,07
variación	31,72	-6,44	-0,29	-15,02	0,20	-12,56	-5,59	-2,81	-12,41	3,00	-7,87	28,06	0,00
almacenaje	0,00	6,44	6,73	21,74	21,54	34,10	39,69	42,50	54,91	51,91	59,78	31,72	371,05
evr	119,92	93,94	85,93	51,79	34,18	17,74	15,09	26,09	36,30	60,24	86,03	117,81	745,07
deficit	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,26
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I.ARIDEZ: 0,70 I.HUMEDAD: 0,00 I.HIDRICO: -0,42													

Per.:1991-2000

Estación: Coronel Suárez

Latitud: 37,5

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	20,90	19,40	18,30	13,70	10,70	7,40	6,00	8,40	10,30	13,20	16,50	19,60	13,70
IndiceCaloric	8,55	7,64	7,00	4,54	3,13	1,80	1,31	2,18	2,96	4,29	5,99	7,76	57,15
Evp/s/ajust	100,14	90,13	82,99	55,10	38,85	23,06	17,14	27,59	36,81	52,28	71,68	91,45	
Evp/a justada	125,18	94,63	87,96	51,80	34,18	18,45	14,74	25,65	36,81	59,60	84,58	116,14	749,72
pp	105,21	82,35	92,46	73,07	53,81	28,69	19,22	25,10	41,50	72,71	68,59	87,81	750,52
variación	19,97	12,28	-4,50	-21,27	-19,63	-10,24	-4,48	0,55	-4,69	-12,31	15,99	28,33	0,00
almacenaje	35,72	23,43	27,93	49,20	68,83	79,07	83,55	83,00	87,69	100,00	84,01	55,68	778,10
evr	125,18	94,63	87,96	51,80	34,18	18,45	14,74	25,65	36,81	59,60	84,58	116,14	749,72
deficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,80
I.ARIDEZ: 0,00 I.HUMEDAD: 0,11 I.HIDRICO: 0,11													

**Balances Hídricos - Período 2002**

Per.: 2002

Estación: Bahía Blanca

Latitud: 38,73

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	23,10	21,80	19,30	15,40	12,50	7,10	8,40	10,40	12,10	16,40	18,90	21,80	15,60
IndiceCalor	9,93	9,10	7,58	5,41	3,95	1,69	2,18	3,00	3,76	5,94	7,35	9,10	69,00
Evp/s/ajust	111,13	101,27	83,30	57,99	41,50	16,75	21,93	30,90	39,39	64,15	80,55	101,27	
Evp/ajustada	138,91	106,33	89,13	53,93	36,10	13,40	18,64	28,73	39,39	73,13	95,85	128,61	822,17
pp	83,90	6,80	50,40	83,60	51,20	5,60	24,60	143,60	29,40	209,60	126,00	54,50	869,20
variación	25,89	0,00	0,00	-29,67	-15,10	7,80	-5,96	-57,08	9,99	-9,99	0,00	74,11	0,00
almacenaje	0,00	0,00	0,00	29,67	44,76	36,96	42,92	100,00	90,01	100,00	100,00	25,89	570,21
evr	109,79	6,80	50,40	53,93	36,10	13,40	18,64	28,73	39,39	73,13	95,85	128,61	654,78
deficit	29,13	99,53	38,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	167,39
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,79	0,00	126,48	30,15	0,00	214,42
I.ARIDEZ: 20,4 I.HUMEDAD: 26,1 I.HIDRICO: 13,9													

Per.: 2002

Estación: Bordenave INTA

Latitud: 37,85

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	21,5	19,1	16,3	11,8	9,4	3,5	5,1	7,3	7,3	10,8	12,3	18,4	11,90
IndiceCalor	8,92	7,47	5,89	3,63	2,58	0,59	1,03	1,76	1,76	3,17	3,86	7,06	47,71
Evp/s/ajust	107,19	92,30	75,55	50,23	37,69	10,82	17,41	27,38	27,38	44,91	52,93	88,05	
Evp/ajustada	133,98	96,91	80,08	47,22	33,17	8,65	14,97	25,47	27,38	51,20	62,46	111,82	693,32
pp	13,50	89,00	42,50	50,30	56,50	4,00	34,50	105,50	27,00	91,00	113,00	61,50	688,30
variación	49,68	0,00	0,00	-3,08	-23,33	4,65	-19,53	-58,71	0,38	-0,38	0,00	50,32	0,00
almacenaje	0,00	0,00	0,00	3,08	26,42	21,76	41,29	100,00	99,62	100,00	100,00	49,68	541,85
evr	63,18	89,00	42,50	47,22	33,17	8,65	14,97	25,47	27,38	51,20	62,46	111,82	577,02
deficit	70,80	7,91	37,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,30
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,32	0,00	39,41	50,54	0,00	111,28
I.ARIDEZ: 16,77 I.HUMEDAD: 16,05 I.HIDRICO: 5,98													

Per.: 2002

**Estación: Pigtué**

Latitud: 37,6

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	21,40	19,20	16,20	12,30	11,00	5,50	6,60	7,90	11,20	14,00	16,70	19,80	13,48
IndiceCalor	8,85	7,52	5,83	3,86	3,26	1,15	1,52	1,99	3,35	4,69	6,10	7,88	56,01
Evp/s/ajust	103,97	89,35	70,48	47,98	41,05	15,60	20,12	25,86	42,10	57,49	73,54	93,28	
Evp/a justada	129,96	93,82	74,71	45,10	36,13	12,48	17,30	24,05	42,10	65,54	86,78	118,46	746,43
pp	39,50	116,30	65,50	68,40	42,50	14,60	5,50	91,60	11,00	142,00	174,00	121,20	892,10
variación	90,46	-22,48	9,21	-23,30	-6,37	-2,12	11,80	-57,21	31,10	-31,10	0,00	0,00	0,00
almacenaje	9,54	32,02	22,81	46,10	52,47	54,60	42,79	100,00	68,90	100,00	100,00	100,00	729,24
evr	129,96	93,82	74,71	45,10	36,13	12,48	17,30	24,05	42,10	65,54	86,78	118,46	746,43
deficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,34	0,00	45,36	87,22	2,74	145,67
I.ARIDEZ: 0,00													I.HUMEDAD: 19,51

I.HIDRICO: 19,51

Per.: 2002

**Estación: Coronel Suárez**

Latitud: 37,5

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	21,40	19,00	16,50	12,60	11,30	5,20	6,80	8,60	10,70	14,30	16,70	19,50	13,55
IndiceCaloric	8,85	7,41	5,99	4,00	3,40	1,06	1,59	2,26	3,13	4,84	6,10	7,70	56,33
Evp/s/ajust	103,85	87,91	72,14	49,44	42,44	14,30	20,83	28,95	39,32	59,03	73,37	91,16	
Evp/a justada	129,81	92,30	76,47	46,47	37,35	11,44	17,91	26,92	39,32	67,29	86,57	115,78	747,63
pp	160,00	49,00	158,50	62,10	68,80	13,50	59,00	99,40	10,80	118,10	65,60	108,70	973,50
variación	-28,05	43,30	-43,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,52	-28,52	20,97	7,08	0,00
almacenaje	100,00	56,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	71,48	100,00	79,03	71,95	1079,16
evr	129,81	92,30	76,47	46,47	37,35	11,44	17,91	26,92	39,32	67,29	86,57	115,78	747,63
deficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
exceso	2,14	0,00	38,73	15,63	31,45	2,06	41,09	72,48	0,00	22,29	0,00	0,00	225,87
I.ARIDEZ: 0,00													I.HUMEDAD: 30,21

I.HIDRICO: 30,21



**Balances Hídricos - Período 2006**

Per.: 2006

Estación: Bahía Blanca

Latitud: 38,73

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	22,50	23,30	18,80	15,90	10,00	9,40	8,40	10,30	13,40	16,20	18,50	23,50	15,85
IndiceCalor	9,55	10,06	7,29	5,67	2,83	2,58	2,18	2,96	4,39	5,83	7,12	10,19	70,63
Exp/s/ajust	105,77	111,97	78,92	60,06	28,20	25,49	21,22	29,59	45,44	61,91	76,87	113,54	
Exp/a/justada	132,21	117,57	84,44	55,85	24,53	20,40	18,04	27,52	45,44	70,58	91,48	144,19	832,26
pp	57,80	104,00	12,20	34,00	0,00	8,90	65,00	15,20	11,60	133,30	15,00	96,00	553,60
variación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-46,96	12,32	33,84	-62,72	63,52	0,00	0,00
almacenaje	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,96	34,64	0,80	63,52	0,00	0,00	145,91
evr	57,80	104,00	12,20	34,00	0,60	8,90	18,04	27,52	45,44	70,58	78,52	96,00	553,60
deficit	74,41	13,57	72,24	21,85	23,93	11,50	0,00	0,00	0,00	0,00	12,97	48,19	278,66
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I.ARIDEZ : 33,48		I.HUMEDAD: 0,00											
													I.HIDRICO: -20,09

Per.: 2006

Estación: Bordenave INTA

Latitud: 37,85

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	21,1	21,3	17,4	14,8	9,2	7,6	9,3	8,8	11,9	15,7	17,7	22,5	14,78
IndiceCalor	8,67	8,79	6,49	5,09	2,50	1,87	2,54	2,33	3,67	5,56	6,66	9,55	63,73
Exp/s/ajust	98,69	100,11	73,62	57,57	27,95	20,91	28,42	26,13	41,33	62,97	75,56	108,81	
Exp/a/justada	123,36	105,12	78,04	54,12	24,60	16,73	24,44	24,30	41,33	71,79	89,16	138,19	791,16
pp	81,00	163,00	38,70	14,80	0,00	6,50	18,50	4,50	16,60	120,80	8,90	98,50	571,80
variación	0,00	-57,88	39,34	18,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-49,01	49,01	0,00	0,00
almacenaje	0,00	57,88	18,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,01	0,00	0,00	125,43
evr	81,00	105,12	78,04	33,34	0,00	6,50	18,50	4,50	16,60	71,79	57,91	98,50	571,80
deficit	42,36	0,00	0,00	20,77	24,60	10,23	5,94	19,80	24,73	0,00	31,25	39,69	219,36
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I.ARIDEZ: 27,73		I.HUMEDAD: 0,00											
													I.HIDRICO: -16,64

Per.: 2006

Estación: Coronel Suárez

Latitud: 37,5

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura	20,40	20,80	16,70	13,10	9,00	7,80	9,20	7,80	11,00	14,20	16,60	21,10	13,98
IndiceCaloric	8,24	8,48	6,10	4,24	2,41	1,95	2,50	1,95	3,26	4,79	6,05	8,67	58,65
Exp/s/ajust	96,12	98,84	72,08	50,83	29,62	24,11	30,58	24,11	39,54	57,08	71,46	100,90	759,29
Exp/ajustada	120,15	103,79	76,40	47,78	26,07	19,29	26,30	22,43	39,54	65,08	84,32	128,15	759,29
pp	59,00	107,20	43,80	19,60	0,70	7,70	15,00	12,20	42,80	185,80	9,70	134,00	637,50
variación	31,23	-3,41	3,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,26	-96,74	74,62	-5,85	0,00
almacenaje	0,00	3,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,26	100,00	25,38	31,23	163,29
evr	90,23	103,79	47,21	19,60	0,70	7,70	15,00	12,20	39,54	65,08	84,32	128,15	613,51
deficit	29,92	0,00	29,19	28,18	25,37	11,59	11,30	10,23	0,00	0,00	0,00	0,00	145,78
exceso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,99	0,00	0,00	23,99
	I.ARIDEZ: 19,20		I.HUMEDAD: 3,16			I.HIDRICO: 8,36							

## ANEXO II

COMPLEJOS HIDROLÓGICOS  
SUELO-VEGETACIÓN

COMPLEJOS HIDROLÓGICOS SUELO-VEGETACIÓN /  
 ESCURRIMIENTO DIRECTO / COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Suelo (GH)	Uso del suelo	GH - US	Área US (km <sup>2</sup> )	Valor CN	Total (AUS * CN)	S (mm)	Pe (mm)	Cálculo de CN	CE (Pe/P)
C	Cultivo y forestal	32	0,16	82	13,00	55,76	41,27	82,00	0,49
B -	Suelo arado	23	4,56	88	401,59	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,67	87	58,26	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,20	87	17,52	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,24	87	21,08	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	1,12	80	89,35	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	1,53	87	132,86	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,06	78	4,31	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Suelo desnudo	24	1,37	87	119,42	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,29	78	22,45	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Suelo arado	23	1,56	88	137,23	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,55	88	48,22	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,16	78	12,46	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Suelo desnudo	24	0,01	87	0,71	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,76	78	59,27	71,64	34,35	78,00	0,41
B	Suelo arado	13	0,29	86	24,70	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Cultivo y forestal	12	0,01	75	0,52	84,67	29,64	75,00	0,35
B	Suelo arado	13	0,64	86	54,86	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Cultivo y forestal	12	1,55	75	116,60	84,67	29,64	75,00	0,35
B	Cultivo y forestal	12	0,83	75	62,28	84,67	29,64	75,00	0,35
B	Suelo arado	13	0,00	86	0,16	41,35	48,98	86,00	0,58
C	Cultivo y forestal	32	1,03	82	84,41	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo arado	33	1,92	91	175,14	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Cultivo y forestal	32	1,39	82	113,61	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo arado	33	1,05	91	95,64	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Cultivo y forestal	32	0,29	82	23,66	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Cultivos y forestal	32	0,75	82	61,41	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Pasturas	31	7,92	74	586,38	89,24	28,16	74,00	0,34
C	Cultivo y forestal	32	0,13	82	10,82	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo arado	33	0,82	91	74,89	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Cultivo y forestal	32	0,66	82	54,07	55,76	41,27	82,00	0,49
B	Área anegada	15	0,17	100	16,80	0,00	84,00	100,00	1,00
C	Suelo arado	33	0,56	91	51,20	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Suelo desnudo	34	0,16	90	14,68	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Área anegada	35	0,49	100	48,91	0,00	84,00	100,00	1,00
B -	Cultivo y forestal	22	3,47	78	270,48	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Suelo arado	23	4,41	88	388,44	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Área anegada	25	0,08	100	7,61	0,00	84,00	100,00	1,00
C	Suelo desnudo	34	0,02	90	1,83	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Cultivo y forestal	32	2,11	82	173,30	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo arado	33	0,69	91	62,64	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Cultivo y forestal	32	0,18	82	15,09	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo arado	33	1,58	91	143,55	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Pasturas	31	0,65	74	48,10	89,24	28,16	74,00	0,34
C	Cultivo y forestal	32	0,01	82	0,75	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Cultivo y forestal	32	0,37	82	30,24	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Pasturas	31	0,03	74	1,89	89,24	28,16	74,00	0,34
B -	Suelo desnudo	24	2,49	87	216,96	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,16	88	14,19	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	1,69	78	132,04	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Cultivo y forestal	22	0,63	78	49,30	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Suelo arado	23	0,67	88	59,17	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,67	88	58,75	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,77	87	67,25	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,71	87	61,35	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	1,41	87	122,39	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,34	87	29,36	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,03	80	2,23	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	1,81	80	144,59	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,20	87	17,42	37,95	51,05	87,00	0,61
C	Suelo desnudo	34	0,29	90	26,29	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Cultivo y forestal	32	0,91	82	74,74	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo desnudo	34	0,43	90	38,64	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Suelo arado	33	1,07	91	97,57	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Suelo arado	33	2,23	91	203,35	25,12	59,92	91,00	0,71

Suelo (GH) : Grupo hidrológico del suelo.

GH - US : Nomenclatura combinación GH y uso del suelo.

Área US : Superficie en km<sup>2</sup> de ocupación de los usos del suelo.

Valor CN : Valor del Número de curva para cada US según tabla CN II (Tabla 6.2) - Complejo Hidrológico.

Total (AUS \* CN) : Combinación del área de cada uso del suelo con su correspondiente valor de CN.

S : Retención potencial máxima en mm.

Pe : Escorrimento en mm para una tormenta de 84 mm (CN II).

Cálculo de CN : Cálculo del Número de curva con S conocida.

CE : Coeficiente de escorrentía.

Suelo (GH)	Uso del suelo	GH - US	Área US (km <sup>2</sup> )	Valor CN	Total (AUS * CN)	S (mm)	Pe (mm)	Cálculo de CN	CE (Pe/P)
C	Cultivo y forestal	32	1,03	82	84,49	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Cultivo y forestal	32	1,02	82	83,25	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Cultivo y forestal	32	0,32	82	26,44	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo arado	33	0,58	91	53,00	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Suelo desnudo	34	0,12	90	10,95	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Pasturas	31	6,42	74	474,71	89,24	28,16	74,00	0,34
C	Cultivo y forestal	32	0,24	82	19,59	55,76	41,27	82,00	0,49
B -	Suelo desnudo	24	0,84	87	72,97	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,89	87	77,13	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,51	80	40,93	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,12	87	10,63	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,02	88	1,67	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,36	80	28,44	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,22	87	19,19	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,28	80	22,61	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,38	88	33,39	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,19	88	16,61	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,69	87	60,30	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,59	87	50,97	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,54	80	43,07	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,67	88	59,14	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,61	80	49,01	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,38	87	33,01	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,45	88	39,16	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,17	80	13,66	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,26	87	22,90	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,26	87	22,26	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,48	80	38,66	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,87	88	76,45	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,66	80	52,56	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	2,13	80	170,18	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,40	88	34,87	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,52	80	41,92	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,73	80	58,46	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,68	87	59,04	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,71	87	62,20	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,39	87	33,84	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,53	80	42,52	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	2,92	87	254,04	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	2,27	87	197,46	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	2,19	84	183,93	48,38	45,02	84,00	0,54
B -	Suelo arado	23	1,06	88	93,49	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,74	87	64,07	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	1,64	88	144,08	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,85	88	74,57	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,26	87	22,51	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,20	87	17,68	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,37	88	32,44	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,29	87	25,48	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,34	87	29,49	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,50	87	43,54	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,25	87	21,77	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,22	80	17,37	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,24	87	20,76	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,07	80	5,89	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,10	88	9,03	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,46	87	39,96	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	1,98	80	158,36	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	3,95	87	344,02	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,96	88	84,30	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,74	80	59,56	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	±rea anegada	25	0,25	100	24,78	0,00	84,00	100,00	1,00
B -	Suelo arado	23	1,42	88	124,55	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	1,15	87	100,46	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,12	87	10,26	37,95	51,05	87,00	0,61

**Suelo (GH)** : Grupo hidrológico del suelo.

**GH - US** : Nomenclatura combinación GH y uso del suelo.

**Área US** : Superficie en km<sup>2</sup> de ocupación de los usos del suelo.

**Valor CN** : Valor del Número de curva para cada US según tabla CN II (Tabla 6.2) - Complejo Hidrológico.

**Total (AUS \* CN)** : Combinación del área de cada uso del suelo con su correspondiente valor de CN.

**S** : Retención potencial máxima en mm.

**Pe** : Escorrimento en mm para una tormenta de 84 mm (CN II).

**Cálculo de CN** : Cálculo del Número de curva con S conocida.

**CE** : Coeficiente de esorrentía.

Suelo (GH)	Uso del suelo	GH - US	Área US (km <sup>2</sup> )	Valor CN	Total (AUS * CN)	S (mm)	Pe (mm)	Cálculo de CN	CE (Pe/P)
B -	Suelo arado	23	1,37	88	120,30	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,63	80	50,48	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,13	91	11,85	25,12	59,92	91,00	0,71
B -	Cultivo y forestal	22	0,17	80	13,46	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,17	80	13,34	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,30	80	23,73	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,28	87	24,11	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Pasturas	21	0,20	82	16,67	55,76	41,27	82,00	0,49
B -	Suelo arado	23	0,32	88	28,18	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,48	87	42,10	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Pasturas	21	0,13	75	9,47	84,67	29,64	75,00	0,35
B -	Suelo desnudo	24	0,13	87	11,08	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,30	87	25,72	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,22	87	18,73	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,41	87	35,62	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	1,37	80	109,49	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,18	87	15,94	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,14	87	12,38	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,24	88	21,40	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,13	80	10,70	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,31	87	27,24	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,06	88	5,58	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,08	80	6,33	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,17	80	13,66	63,50	37,71	80,00	0,45
C	Suelo desnudo	34	0,11	90	9,94	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Cultivo y forestal	32	0,58	82	47,23	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo desnudo	34	2,74	90	246,79	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Cultivo y forestal	32	1,34	84	112,19	48,38	45,02	84,00	0,54
C	Suelo desnudo	34	0,02	90	2,08	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Cultivo y forestal	32	0,03	84	2,53	48,38	45,02	84,00	0,54
C	Suelo arado	33	0,58	91	52,57	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Suelo arado	33	0,42	91	38,28	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Suelo arado	33	0,41	91	37,08	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Cultivo y forestal	32	0,53	84	44,67	48,38	45,02	84,00	0,54
C	Cultivo y forestal	32	0,16	84	13,35	48,38	45,02	84,00	0,54
C	Pasturas	31	6,58	86	566,30	41,35	48,98	86,00	0,58
C	Cultivo y forestal	32	0,00	84	0,40	48,38	45,02	84,00	0,54
B -	Suelo arado	23	0,51	88	44,64	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,98	87	85,30	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,66	88	57,87	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,44	88	38,31	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,61	88	53,38	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,45	87	39,27	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,67	87	57,91	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,15	87	13,02	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,12	80	9,25	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,26	80	20,57	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,20	87	17,52	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,18	88	16,06	34,64	53,18	88,00	0,63
C +	Suelo arado	43	1,55	90	139,73	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Cultivo y forestal	42	0,47	82	38,50	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Area anegada	45	0,16	100	15,97	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	Suelo arado	43	1,04	90	93,23	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Suelo desnudo	44	0,65	89	58,04	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Suelo desnudo	44	1,25	89	111,28	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Suelo arado	43	0,16	90	14,09	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Suelo desnudo	44	1,29	89	114,45	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Suelo arado	43	1,45	90	130,17	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Suelo desnudo	44	1,11	89	99,05	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Pasturas	41	0,11	84	9,26	48,38	45,02	84,00	0,54
C +	Suelo arado	43	0,55	90	49,85	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Cultivo y forestal	42	0,29	82	23,63	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Pasturas	41	1,88	84	158,16	48,38	45,02	84,00	0,54
C +	Suelo arado	43	1,08	90	97,37	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Suelo desnudo	44	0,50	89	44,49	31,39	55,36	89,00	0,66

**Suelo (GH)** : Grupo hidrológico del suelo.

**GH - US** : Nomenclatura combinación GH y uso del suelo.

**Área US** : Superficie en km<sup>2</sup> de ocupación de los usos del suelo.

**Valor CN** : Valor del Número de curva para cada US según tabla CN II (Tabla 6.2) - Complejo Hidrológico.

**Total (AUS \* CN)** : Combinación del área de cada uso del suelo con su correspondiente valor de CN.

**S** : Retención potencial máxima en mm.

**Pe** : Escurrimiento en mm para una tormenta de 84 mm (CN II).

**Cálculo de CN** : Cálculo del Número de curva con S conocida.

**CE** : Coeficiente de escorrentía.

Suelo (GH)	Uso del suelo	GH - US	Área US (km <sup>2</sup> )	Valor CN	Total (AUS * CN)	S (mm)	Pe (mm)	Cálculo de CN	CE (Pe/P)
C +	Suelo arado	43	1,39	90	125,09	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	↳rea anegada	45	0,59	100	59,37	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	Cultivo y forestal	42	0,37	82	30,04	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Suelo desnudo	44	0,73	89	65,02	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Suelo desnudo	44	0,24	89	21,77	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Cultivo y forestal	42	0,27	82	22,35	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Cultivo y forestal	42	0,52	82	42,62	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Suelo desnudo	44	0,04	89	3,58	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Suelo desnudo	44	0,41	89	36,91	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	↳rea anegada	45	0,10	100	10,14	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	↳rea anegada	45	0,06	100	5,68	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	↳rea anegada	45	0,08	100	8,33	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	Suelo desnudo	44	1,10	89	97,63	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Suelo desnudo	44	0,18	89	16,21	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	↳rea anegada	45	0,11	100	11,12	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	↳rea anegada	45	0,08	100	7,87	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	Cultivo y forestal	42	0,64	82	52,86	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	↳rea anegada	45	0,78	100	78,39	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	Suelo arado	43	2,17	90	195,11	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Cultivo y forestal	42	0,98	82	80,57	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Suelo desnudo	44	1,54	89	137,38	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Suelo desnudo	44	0,54	89	48,07	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Suelo desnudo	44	0,35	89	31,21	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Cultivo y forestal	42	0,56	82	46,02	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Suelo desnudo	44	3,95	89	351,25	31,39	55,36	89,00	0,66
C +	Cultivo y forestal	42	0,92	82	75,53	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Suelo arado	43	0,68	90	61,09	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Suelo arado	43	1,22	90	109,60	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Suelo arado	43	0,04	90	3,62	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Suelo arado	43	0,22	90	19,82	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	↳rea anegada	45	0,08	100	7,77	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	↳rea anegada	45	0,06	100	5,50	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	↳rea anegada	45	0,13	100	13,48	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	↳rea anegada	45	0,17	100	16,94	0,00	84,00	100,00	1,00
C +	Suelo arado	43	0,15	90	13,62	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Suelo arado	43	0,18	90	16,26	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Cultivo y forestal	42	0,09	82	7,78	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Suelo arado	43	0,09	90	7,92	28,22	57,61	90,00	0,69
C +	Cultivo y forestal	42	0,16	82	13,04	55,76	41,27	82,00	0,49
C +	Suelo desnudo	44	0,20	89	17,72	31,39	55,36	89,00	0,66
B	Suelo desnudo	14	1,38	85	117,67	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo arado	13	1,03	86	88,95	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Cultivo y forestal	12	1,07	76	80,97	80,21	31,17	76,00	0,37
B	Suelo desnudo	14	0,34	85	29,24	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo arado	13	0,35	86	30,04	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Cultivo y forestal	12	0,24	76	17,89	80,21	31,17	76,00	0,37
B	Suelo desnudo	14	0,32	85	27,09	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Cultivo y forestal	12	0,20	76	15,41	80,21	31,17	76,00	0,37
B	↳rea anegada	15	0,09	100	9,42	0,00	84,00	100,00	1,00
B	Cultivo y forestal	12	0,19	76	14,08	80,21	31,17	76,00	0,37
B	Suelo desnudo	14	0,05	85	4,50	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo desnudo	14	0,11	85	9,43	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo desnudo	14	0,25	85	21,37	44,82	46,97	85,00	0,56
B -	Cultivo y forestal	22	1,71	80	136,60	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,96	87	83,91	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Pasturas	21	0,90	75	67,16	84,67	29,64	75,00	0,35
B -	Suelo arado	23	0,91	88	80,49	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	1,51	80	121,16	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	↳rea anegada	25	0,38	100	38,23	0,00	84,00	100,00	1,00
B -	Suelo arado	23	0,36	88	31,47	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,12	88	10,74	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	3,09	87	269,26	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,73	88	64,37	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,75	80	59,63	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,58	88	51,20	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	1,39	80	111,21	63,50	37,71	80,00	0,45

Suelo (GH) : Grupo hidrológico del suelo.

GH - US : Nomenclatura combinación GH y uso del suelo.

Área US : Superficie en km<sup>2</sup> de ocupación de los usos del suelo.

Valor CN : Valor del Número de curva para cada US según tabla CN II (Tabla 6.2) - Complejo Hidrológico.

Total (AUS \* CN) : Combinación del área de cada uso del suelo con su correspondiente valor de CN.

S : Retención potencial máxima en mm.

Pe : Escurrimiento en mm para una tormenta de 84 mm (CN II).

Cálculo de CN : Cálculo del Número de curva con S conocida.

CE : Coeficiente de escorrentía.

Suelo (GH)	Uso del suelo	GH - US	Área US (km <sup>2</sup> )	Valor CN	Total (AUS * CN)	S (mm)	Pe (mm)	Cálculo de CN	CE (Pe/P)
B -	Suelo desnudo	24	5,90	87	513,52	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,37	87	32,21	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	↳rea anegada	25	0,03	100	3,17	0,00	84,00	100,00	1,00
B -	Cultivo y forestal	22	1,02	80	81,70	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	↳rea anegada	25	0,20	100	19,82	0,00	84,00	100,00	1,00
B -	Cultivo y forestal	22	0,02	80	1,94	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,17	80	13,67	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,74	87	64,13	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	1,09	80	86,89	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,18	87	15,77	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	↳rea anegada	25	0,05	100	5,25	0,00	84,00	100,00	1,00
B -	Cultivo y forestal	22	0,40	80	31,70	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,09	87	7,50	37,95	51,05	87,00	0,61
B	↳rea anegada	15	0,25	100	25,26	0,00	84,00	100,00	1,00
B	Suelo desnudo	14	0,29	85	24,48	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Cultivo y forestal	12	3,06	76	232,32	80,21	31,17	76,00	0,37
B	Suelo desnudo	14	0,20	85	17,35	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo arado	13	0,53	86	45,54	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Cultivo y forestal	12	4,09	76	310,61	80,21	31,17	76,00	0,37
B	Cultivo y forestal	12	4,50	76	341,95	80,21	31,17	76,00	0,37
B	Cultivo y forestal	12	1,76	76	133,57	80,21	31,17	76,00	0,37
B	Suelo desnudo	14	0,53	85	44,85	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo arado	13	0,46	86	39,25	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Cultivo y forestal	12	0,61	76	46,68	80,21	31,17	76,00	0,37
B	Suelo desnudo	14	0,38	85	32,52	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo desnudo	14	0,34	85	28,81	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo desnudo	14	2,22	85	189,10	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo arado	13	1,71	86	146,93	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Suelo arado	13	1,18	86	101,78	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Suelo arado	13	0,23	86	20,09	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Suelo arado	13	0,01	86	1,17	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Suelo arado	13	0,34	86	29,29	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Suelo desnudo	14	0,08	85	6,40	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo desnudo	14	0,12	85	9,94	44,82	46,97	85,00	0,56
B	↳rea anegada	15	0,18	100	17,91	0,00	84,00	100,00	1,00
B	Cultivo y forestal	12	0,20	76	15,36	80,21	31,17	76,00	0,37
B -	Suelo desnudo	24	1,25	87	108,91	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,71	84	59,28	48,38	45,02	84,00	0,54
B -	Suelo desnudo	24	0,71	87	61,72	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,16	88	13,85	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,45	88	40,04	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,25	88	21,64	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	1,17	88	103,08	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,01	88	0,48	34,64	53,18	88,00	0,63
B	Suelo arado	13	0,62	86	53,50	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Suelo desnudo	14	1,13	85	95,98	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo desnudo	14	0,02	85	2,07	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Pasturas	11	0,01	79	1,04	67,52	36,01	79,00	0,43
B	Cultivo y forestal	12	0,03	81	2,19	59,58	39,46	81,00	0,47
B	Pasturas	11	0,08	79	6,55	67,52	36,01	79,00	0,43
B	Pasturas	11	0,16	79	12,72	67,52	36,01	79,00	0,43
B	Cultivo y forestal	12	0,08	81	6,58	59,58	39,46	81,00	0,47
B	Pasturas	11	0,93	79	73,75	67,52	36,01	79,00	0,43
B	Suelo desnudo	14	0,28	85	23,46	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo desnudo	14	0,47	85	40,09	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Suelo arado	13	0,06	86	5,57	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Suelo arado	13	0,20	86	17,14	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Suelo desnudo	14	0,07	85	5,79	44,82	46,97	85,00	0,56
B	Pasturas	11	2,78	79	219,64	67,52	36,01	79,00	0,43
B -	Cultivo y forestal	22	0,38	84	32,12	48,38	45,02	84,00	0,54
B -	Suelo desnudo	24	0,44	87	38,23	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,37	84	31,01	48,38	45,02	84,00	0,54
B -	Área urbana	26	0,39	88	34,60	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,50	87	43,28	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,30	88	26,35	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,39	87	33,67	37,95	51,05	87,00	0,61

Suelo (GH) : Grupo hidrológico del suelo.

GH - US : Nomenclatura combinación GH y uso del suelo.

Área US : Superficie en km<sup>2</sup> de ocupación de los usos del suelo.

Valor CN : Valor del Número de curva para cada US según tabla CN II (Tabla 6.2) - Complejo Hidrológico.

Total (AUS \* CN) : Combinación del área de cada uso del suelo con su correspondiente valor de CN.

S : Retención potencial máxima en mm.

Pe : Escurrimiento en mm para una tormenta de 84 mm (CN II).

Cálculo de CN : Cálculo del Número de curva con S conocida.

CE : Coeficiente de escorrentía.

Suelo (GH)	Uso del suelo	GH - US	Área US (km <sup>2</sup> )	Valor CN	Total (AUS * CN)	S (mm)	Pe (mm)	Cálculo de CN	CE (Pe/P)
B -	Suelo arado	23	0,17	88	14,79	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,15	88	12,93	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,18	87	15,98	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,22	87	18,94	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,13	87	11,19	37,95	51,05	87,00	0,61
B	Cultivo y forestal	12	0,08	81	6,47	59,58	39,46	81,00	0,47
B	Suelo desnudo	14	0,05	85	3,90	44,82	46,97	85,00	0,56
B -	Suelo arado	23	0,01	88	1,28	34,64	53,18	88,00	0,63
B	Suelo desnudo	14	0,95	85	80,43	44,82	46,97	85,00	0,56
C	Área anegada	35	0,64	100	63,86	0,00	84,00	100,00	1,00
C	Cultivo y forestal	32	0,31	88	26,98	34,64	53,18	88,00	0,63
C	Pasturas	31	0,27	86	23,59	41,35	48,98	86,00	0,58
C	Suelo desnudo	34	0,18	90	16,11	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Suelo desnudo	34	0,19	90	16,87	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Área urbana	36	0,10	89	9,28	31,39	55,36	89,00	0,66
C	Suelo arado	33	0,19	91	16,98	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Área urbana	36	1,10	91	100,54	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Suelo desnudo	34	0,45	90	40,12	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Área anegada	35	0,24	100	23,85	0,00	84,00	100,00	1,00
C	Cultivo y forestal	32	0,36	88	31,52	34,64	53,18	88,00	0,63
C	Suelo desnudo	34	0,15	90	13,32	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Área urbana	36	0,07	89	6,66	31,39	55,36	89,00	0,66
C	Suelo desnudo	34	0,05	90	4,08	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Área urbana	36	0,23	89	20,37	31,39	55,36	89,00	0,66
B -	Cultivo y forestal	22	3,56	78	277,49	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Suelo desnudo	24	0,48	87	41,90	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,62	87	53,55	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	6,96	80	557,13	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,24	80	19,12	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,55	78	42,91	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Suelo desnudo	24	2,26	87	196,43	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	3,32	78	258,82	71,64	34,35	78,00	0,41
C	Pasturas	31	62,40	74	4617,59	89,24	28,16	74,00	0,34
C	Cultivo y forestal	32	5,52	82	453,02	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo arado	33	1,98	91	179,97	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Pasturas	31	20,74	74	1534,58	89,24	28,16	74,00	0,34
B -	Cultivo y forestal	22	0,84	78	65,80	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Suelo desnudo	24	0,40	87	34,91	37,95	51,05	87,00	0,61
C	Cultivo y forestal	32	2,06	82	168,65	55,76	41,27	82,00	0,49
C	Suelo desnudo	34	3,07	90	276,10	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Pasturas	31	10,90	74	806,75	89,24	28,16	74,00	0,34
B -	Cultivo y forestal	22	3,05	78	237,63	71,64	34,35	78,00	0,41
C	Suelo arado	33	1,04	91	94,24	25,12	59,92	91,00	0,71
B -	Suelo desnudo	24	1,49	87	129,38	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,52	88	45,41	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,32	80	25,55	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	1,42	87	123,57	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,23	80	18,35	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	1,04	88	91,88	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,33	88	29,43	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	3,24	80	259,47	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	5,79	80	463,41	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	1,34	87	116,36	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,13	88	11,64	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	0,09	88	8,27	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	6,42	80	513,89	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	1,85	88	162,51	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,71	80	56,87	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	2,39	80	190,93	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	1,53	87	133,27	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,61	88	53,46	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	2,07	80	165,64	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	1,63	88	143,74	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,80	80	64,02	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,20	87	17,14	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Área urbana	26	1,38	91	125,65	25,12	59,92	91,00	0,71

**Suelo (GH)** : Grupo hidrológico del suelo.

**GH - US** : Nomenclatura combinación GH y uso del suelo.

**Área US** : Superficie en km<sup>2</sup> de ocupación de los usos del suelo.

**Valor CN** : Valor del Número de curva para cada US según tabla CN II (Tabla 6.2) - Complejo Hidrológico.

**Total (AUS \* CN)** : Combinación del área de cada uso del suelo con su correspondiente valor de CN.

**S** : Retención potencial máxima en mm.

**Pe** : Escurrimiento en mm para una tormenta de 84 mm (CN II).

**Cálculo de CN** : Cálculo del Número de curva con S conocida.

**CE** : Coeficiente de escorrentía.

Suelo (GH)	Uso del suelo	GH - US	Área US (km <sup>2</sup> )	Valor CN	Total (AUS * CN)	S (mm)	Pe (mm)	Cálculo de CN	CE (Pe/P)
B -	Suelo desnudo	24	1,27	87	110,58	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	1,23	87	107,13	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,62	88	54,53	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	2,43	87	211,29	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,35	80	28,23	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,41	88	36,41	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	2,06	87	179,15	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	2,52	88	221,53	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	0,88	80	70,79	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,25	87	22,09	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,34	87	29,27	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,50	80	40,30	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,60	80	48,36	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	1,32	87	114,96	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,99	80	79,03	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,29	88	25,56	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	2,67	80	213,22	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	1,87	88	164,54	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	1,01	80	80,72	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,75	80	60,09	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Cultivo y forestal	22	0,15	80	11,93	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	0,87	87	75,53	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	1,46	87	127,12	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	0,40	80	31,68	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,71	88	62,06	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Cultivo y forestal	22	4,08	80	326,09	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo desnudo	24	1,49	87	129,30	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	1,83	88	161,25	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	1,45	87	125,99	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	1,09	88	96,09	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,46	87	40,03	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo arado	23	0,81	88	70,87	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	1,44	87	125,55	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	22	3,05	80	243,88	63,50	37,71	80,00	0,45
B -	Suelo arado	23	0,82	88	71,91	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo arado	23	2,03	88	178,79	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	1,24	87	107,57	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Cultivo y forestal	12	1,63	78	126,92	71,64	34,35	78,00	0,41
B -	Cultivo y forestal	22	2,07	84	173,88	48,38	45,02	84,00	0,54
B -	Cultivo y forestal	12	0,75	81	60,71	59,58	39,46	81,00	0,47
B -	Cultivo y forestal	12	0,14	81	11,08	59,58	39,46	81,00	0,47
B -	Cultivo y forestal	22	5,52	84	463,93	48,38	45,02	84,00	0,54
B -	Pasturas	11	106,04	79	8377,26	67,52	36,01	79,00	0,43
B -	Suelo arado	13	0,06	86	4,91	41,35	48,98	86,00	0,58
B -	Cultivo y forestal	22	1,21	84	101,41	48,38	45,02	84,00	0,54
C -	Suelo arado	33	0,17	91	15,79	25,12	59,92	91,00	0,71
C -	Cultivo y forestal	32	0,65	88	57,13	34,64	53,18	88,00	0,63
C -	Suelo desnudo	34	0,12	90	10,67	28,22	57,61	90,00	0,69
C -	Área urbana	36	0,41	89	36,87	31,39	55,36	89,00	0,66
C -	Suelo desnudo	34	0,25	90	22,55	28,22	57,61	90,00	0,69
C -	Cultivo y forestal	32	0,08	88	7,10	34,64	53,18	88,00	0,63
C -	Suelo arado	33	1,76	91	159,74	25,12	59,92	91,00	0,71

**Suelo (GH)** : Grupo hidrológico del suelo.

**GH - US** : Nomenclatura combinación GH y uso del suelo.

**Área US** : Superficie en km<sup>2</sup> de ocupación de los usos del suelo.

**Valor CN** : Valor del Número de curva para cada US según tabla CN II (Tabla 6.2) - Complejo Hidrológico.

**Total (AUS \* CN)** : Combinación del área de cada uso del suelo con su correspondiente valor de CN.

**S** : Retención potencial máxima en mm.

**Pe** : Escurrimiento en mm para una tormenta de 84 mm (CN II).

**Cálculo de CN** : Cálculo del Número de curva con S conocida.

**CE** : Coeficiente de escorrenfía.

Suelo (GH)	Uso del suelo	GH - US	Área US (km <sup>2</sup> )	Valor CN	Total (AUS * CN)	S (mm)	Pe (mm)	Cálculo de CN	CE (Pe/P)
C	Cultivo y forestal	32	3,07	88	270,06	34,64	53,18	88,00	0,63
C	Suelo desnudo	34	0,40	90	36,17	28,22	57,61	90,00	0,69
C	Suelo arado	33	0,63	91	56,88	25,12	59,92	91,00	0,71
C	Cultivo y forestal	32	0,54	88	47,27	34,64	53,18	88,00	0,63
C	Área anegada	35	6,22	100	621,72	0,00	84,00	100,00	1,00
C	Pasturas	31	35,60	86	3061,56	41,35	48,98	86,00	0,58
B	Cultivo y forestal	12	1,67	75	125,46	84,67	29,64	75,00	0,35
C	Suelo arado	33	0,21	91	18,68	25,12	59,92	91,00	0,71
B	Área urbana	16	0,40	88	35,32	34,64	53,18	88,00	0,63
B	Pasturas	11	76,19	79	6018,86	67,52	36,01	79,00	0,43
B	Pasturas	11	25,49	61	1555,06	162,39	12,41	61,00	0,15
B -	Suelo arado	23	0,76	88	66,90	34,64	53,18	88,00	0,63
B -	Suelo desnudo	24	0,24	87	21,00	37,95	51,05	87,00	0,61
B	Suelo arado	13	0,12	86	10,30	41,35	48,98	86,00	0,58
C +	Pasturas	41	80,82	84	6788,80	48,38	45,02	84,00	0,54
C	Suelo arado	33	0,06	91	5,82	25,12	59,92	91,00	0,71
B -	Pasturas	21	778,10	75	58357,51	84,67	29,64	75,00	0,35
B -	Suelo desnudo	24	0,39	87	33,61	37,95	51,05	87,00	0,61
B -	Suelo desnudo	24	0,86	87	75,09	37,95	51,05	87,00	0,61
			1595,44		124887,73	70,49	22934,93		

**Suelo (GH)** : Grupo hidrológico del suelo.

**GH - US** : Nomenclatura combinación GH y uso del suelo.

**Área US** : Superficie en km<sup>2</sup> de ocupación de los usos del suelo.

**Valor CN** : Valor del Número de curva para cada US según tabla CN II (Tabla 6.2) - Complejo Hidrológico.

**Total (AUS \* CN)** : Combinación del área de cada uso del suelo con su correspondiente valor de CN.

**S** : Retención potencial máxima en mm.

**Pe** : Escurrimiento en mm para una tormenta de 84 mm (CN II).

**Cálculo de CN** : Cálculo del Número de curva con S conocida.

**CE** : Coeficiente de escorrenfía.

## ANEXO III

### MODELO DE ENTREVISTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Departamento de Geografía y Turismo  
Entrevista realizada en el marco del desarrollo de Tesis Doctoral

Entrevista N°  
Fecha:

Año: 2009

Entrevista a pobladores de la cuenca del río Sauce Chico.

- *El objetivo es establecer el conocimiento que poseen de las condiciones ambientales que los rodean y de las actividades que realizan con el fin de garantizar el desarrollo sustentable del recurso hídrico.*

**1. Localice el área donde vive:**

Área 1                      Área 2                      Área 3  
Área 4                      Área 5                      Otra: \_\_\_\_\_ (especificar)

