



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DOCTORAL EN GEOGRAFÍA

**GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL APLICADA AL PELIGRO
DE CRECIDAS. CUENCA DEL ARROYO SAN
BERNARDO, SISTEMA DE VENTANIA, ARGENTINA**

LIC. ANTONELA VOLONTÉ

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2017

PREFACIO

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur 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 de la Universidad Nacional del Sur, durante el periodo comprendido entre el 30 de octubre de 2012 y el 19 de septiembre de 2016 bajo la dirección de la Dra. Alicia María Campo y la Dra. Verónica Gil.

Lic. Antonela Volonté

Departamento de Geografía y Turismo

Universidad Nacional del Sur

Bahía Blanca



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

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

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Sur por la Beca de Estímulo a la Investigación y a la Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por la beca de Finalización de Doctorado, ambas permitieron desarrollar la presente investigación. A las autoridades, personal docente y administrativo del Departamento de Geografía y Turismo por el lugar de trabajo y el apoyo durante estos 5 años.

A mis directoras de tesis, la Dra. Alicia M. Campo y la Dra. Verónica Gil por guiarme y dirigirme en todo este proceso brindándome sus conocimientos y dedicación a lo largo de este trabajo.

Al Sr. Juan Marín por permitirme el acceso a su propiedad cada vez que lo necesite para los diferentes trabajos de campo.

A mis compañeros del proyecto de Investigación donde se desarrolló esta tesis y con los cuales compartimos diariamente el Gabinete 16. Al Dr. Jorge Gentili, la Dra. Paula Zapperi, la Dra. María Belén Ramos y la Dra. Julia Inés Gabella por sus sugerencias y apoyo en todo momento.

A la Lic. Valeria S. Duval quien además de ser mi compañera de Gabinete, es mi amiga, compañera de campañas y con quien he transcurrido mi historia en la universidad. Gracias por estar siempre alentándome, por las sugerencias y el apoyo en los momentos más difíciles. A Guadalupe Ybarra Alcaráz por acompañarme en numerosas campañas, por su aliento y confianza.

A mi familia, especialmente a mis padres, por el acompañamiento, confianza y ánimo en los momentos necesarios para lograr este objetivo. A mi papá por ser mi compañero de campaña en muchas oportunidades. A ellos va dedicada esta tesis.

Antonela Volonté

Bahía Blanca, 19 de septiembre de 2016
Departamento de Geografía y Turismo
Universidad Nacional del Sur

RESUMEN

La dinámica de una cuenca es el reflejo combinado de la geomorfología fluvial, la variabilidad climática y los procesos antropogénicos. La cuenca del arroyo San Bernardo (83 km²) nace en las laderas orientales del cordón de Sierra de la Ventana localizada al sur de la provincia de Buenos Aires. El curso principal es uno de los tributarios de la cuenca del río Sauce Grande y confluye en cercanías de la localidad turística de Sierra de la Ventana. Actualmente hay un impulso inmobiliario y un despegue económico muy importante en esta área, especialmente en las zonas lindantes a las riberas de los arroyos serranos. En la cuenca del arroyo San Bernardo se generan crecidas intensas provocadas por eventos hidrometeorológicos extremos que afectan a la población situada en las márgenes. Estas crecidas son espontáneas y ocasionan el aislamiento temporario, la inundación de sectores urbanos aledaños al curso principal, la evacuación de personas y pérdidas tanto humanas como económicas.

El área de estudio es una zona de transición con precipitaciones variables en función de las características regionales e influidas por eventos de escala global. Estas precipitaciones han desplazado su estacionalidad de primavera a verano. Con respecto a las condiciones naturales se halla en una zona relicto del pastizal pampeano, con especies adaptadas a los eventos de crecidas e importante por su riqueza ecológica. Las actividades agrícolas ganaderas son las predominantes, las cuales han estructurado el espacio del suroeste bonaerense. La cuenca baja del arroyo San Bernardo comprende parte de la localidad de Sierra de la Ventana y es uno de los principales núcleos urbanos de la comarca serrana tanto por el número de turistas que recibe, como por la infraestructura y el equipamiento con que cuenta.

Se analizaron e interpretaron diferentes índices y parámetros cuyos resultados mostraron que la cuenca presenta una alta peligrosidad de que ocurran crecidas debido a que existen cambios bruscos de pendiente, lo cual se comprobó con el perfil longitudinal. Las crecidas en el arroyo San Bernardo ocurren cuando las precipitaciones son intensas y concentradas en un lapso de tiempo corto. Las principales consecuencias son materiales y están vinculadas a daños en infraestructuras públicas y en viviendas particulares.

A través de la carta hidrogeomorfológica de la cuenca se explicaron las características hidrológicas del terreno, la capacidad de infiltración en las áreas con rocas coherentes y en la cubierta sedimentaria y se diferenciaron los tipos de cauces. Mediante el cálculo del NDVI, se identificaron áreas de muestreo con diferentes grados de coberturas. Las zonas ribereñas y la cuenca baja son las que presentan mayor cobertura.

Considerando de manera conjunta la problemática que presenta el área junto con el análisis de las características físicas de la cuenca se presentan distintas propuestas. A través del enfoque de la Gestión Integral de Crecidas se vinculó de manera sistémica todas las variables físicas y humanas analizadas. Se propone reglamentar el uso de suelo, proteger los lugares más vulnerables ante crecidas y elaborar un plan de gestión de crecidas que incluya un sistema de alerta y la señalización correspondiente.

ABSTRACT

Basin dynamics consist on a reflection of the combined action of the fluvial geomorphology, climate variability and anthropogenic processes. The San Bernardo stream basin (83 km²) arises from the eastern slopes of Sierra de la Ventana, Buenos Aires. The main course is a Sauce Grande's stream tributarie and mingle near the touristic village of Sierra de la Ventana. The real estate pressure in these areas led to the opening of new subdivisions for the construction of resorts, especially in areas bordering the streams banks. Intense floods are caused by extreme hydrometeorological events that affects the population. These events are spontaneous and causes temporary isolation, urban flooding, people's evacuation and economic and human losses.

The study area corresponds to a transitional zone characterized by a rainfall variability, which depends on regional and global scale phenomena. Rainfall main season has shifted from Spring to Summer. In terms of natural landscape, it comprehends the area of pampas grassland (pastizal pampeano), with adapted species to flood events which are very important due to their ecological value. Cattle industry and agriculture are the main activities, which have structured Buenos Aires's southwest space. San Bernardo's lower basin comprises a part of the town of Sierra de la Ventana, one of the most important villages of the region in terms of amount of tourists, infrastructure and equipment.

Indexes and parameters were analyzed and interpreted, demonstrating that the basin has a high flooding dangerousness due to sudden slope changes, verified with a longitudinal profile. Floods in San Bernardo stream occur when intense and concentrated rainfall. The main consequences are damaged public and private infrastructure.

Though the hidrogeomorphological map hydrogeological features of the area, infiltration capacity in places with coherent rocks and sedimentary cover were explained and different types of channels were defined. By calculating NDVI, sampling areas were identified according different coverage degrees. The lower basin and riparian areas are those with greater coverage.

Considering the area's main issue along with the analysis of the basin's physical characteristics, several proposals are presented. Through Integrated Flood Management, all natural and human variables were systemically analyzed. Regulate land use, protect the most vulnerable places to flood events and develop a flood management plan that includes an alert system and the corresponding signaling, are some of the main proposals.

INDICE GENERAL

Prefacio.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Índice general.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	xi

PARTE I

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Área de estudio: la cuenca del arroyo San Bernardo	2
1.2 Antecedentes y estado actual del conocimiento	4
1.3 Justificación de la investigación.....	9
1.4 Hipótesis de trabajo	10
1.5 Objetivos.....	11
1.6 Estructura de tesis.....	11
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	13
2.1 Geografía física aplicada y su importancia en la síntesis del conocimiento.....	13
2.2 El sistema fluvial dentro del ciclo hidrológico.....	14
2.2.1 La cuenca hidrográfica como unidad de análisis.....	17
2.3 Geomorfología fluvial: base teórica aplicada al estudio de las crecidas.....	19
2.4 Cartografía aplicada: mapas hidrogeomorfológicos y de peligrosidad.....	21
2.5 La peligrosidad de crecidas y sus consecuencias en el medio físico y social.....	22
2.5.1 La conceptualización del término crecidas aplicado a la peligrosidad.....	24
2.6 La Gestión Integral de Crecidas.....	26
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 Metodología específica para el tratamiento de la peligrosidad.....	30
3.2 Métodos y técnicas utilizadas.....	31
3.2.1 Información bibliográfica y cartográfica.....	31
3.2.2 Sistemas de Información Geográfica y cartografía temática.....	32
3.2.3 Imágenes satelitales aplicadas al análisis de la vegetación.....	34
3.2.4 Análisis estadísticos de datos climáticos e hidrométricos oficiales.....	36
3.2.5 Análisis de la red de drenaje.....	36
3.2.6 Cálculo del Número de Curva.....	39
3.3 Métodos y técnicas para la obtención de datos en el campo	42
3.3.1 Hidrometría y aforo con correntómetro.....	42
3.3.2 Perfiles longitudinales y transversales a los cauces.....	44
3.3.3 Muestreo de la vegetación en la cuenca media y baja del arroyo San Bernardo	45
3.3.4 Muestreo de sedimentos de fondo en el canal y la llanura de inundación.....	47
3.3.5 Percepción social de la peligrosidad.....	49
CAPÍTULO 4. LA CUENCA DEL ARROYO SAN BERNARDO: CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO REGIONAL	52
4.1 Variabilidad en las precipitaciones: característica distintiva del clima en la región....	52
4.1.1 Características de las precipitaciones en el sistema de Ventania.....	55
4.2 Caracterización del suelo: el predominio de Molisoles.....	57

4.3 La vegetación autóctona de la región: la importancia del pastizal pampeano.....	59
4.4 La vegetación en el sistema de Ventania.....	60
4.5 Unidades morfo-estructurales relevantes del área.....	63
4.6 Dinámica hidrogeomorfológica de la cuenca alta del río Sauce Grande.....	66
4.7 La estructura socio-económica del suroeste bonaerense	68
4.7.1 El turismo, una actividad en crecimiento en la Comarca Serrana.....	69

PARTE II

CAPÍTULO 5. LA DINÁMICA HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA DEL ARROYO SAN BERNARDO	73
5.1 Red de drenaje de la cuenca del arroyo San Bernardo.....	73
5.2 La influencia de la vegetación en el comportamiento hidrográfico de la cuenca.....	75
5.3 Análisis morfométrico de la red de drenaje.....	77
5.3.1 Parámetros vinculados a las variables del relieve y a la forma y tamaño de la cuenca.....	78
5.3.2 Índices vinculados con las variables topológicas y de longitud	79
5.3.3 Índices vinculados con las variables del relieve.....	81
5.3.4 Índices vinculados con las variables de la intensidad del drenaje concentrado.....	83
5.4 La dinámica hidrológica a partir del análisis del caudal.....	84
5.4.1 Los caudales históricos.....	85
5.4.2 Cálculo y análisis de caudales a partir de aforos con correntómetros.....	86
5.5 Eventos extremos de precipitación generadores de crecidas en la cuenca.....	87
5.6 Análisis de un Hidrograma Unitario Sintético para el evento de crecida del 17 de marzo de 2015.....	95
CAPÍTULO 6. DINÁMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA	100
6.1 Aspectos geomorfológicos de la cuenca: base del análisis hidrogeomorfológico.....	100
6.2 La carta hidrogeomorfológica como herramienta para la interpretación sistémica de la cuenca.....	103
6.2.1 Características hidrológicas de los terrenos.....	105
6.2.2 Características de los cauces.....	106
6.2.3 Características fitogeográficas de la cuenca.....	109
6.2.3.1 La vegetación en la cuenca media y alta.....	110
6.2.3.2 La vegetación en la cuenca baja: diversidad de especies herbáceas.....	113
6.2.4 Los elementos antropogénico.....	116
CAPÍTULO 7. LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL CANAL PRINCIPAL	119
7.1 Diseño en planta del canal principal: sinuosidad como rasgo distintivo.....	119
7.2 Análisis de la carga sedimentaria de fondo.....	120
7.2.1 Análisis estadístico básico de las gravas.....	126
7.3 Caracterización fluviomorfológica de dos tramos del curso principal.....	127
7.4 Indicios de crecidas en el canal principal en función de la morfología de los ejemplares arbóreos.....	132
	137
CAPÍTULO 8. LA GESTIÓN INTEGRAL DE CRECIDAS. PROPUESTAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN	
8.1 El enfoque sistémico de la Gestión Integral de Crecidas (GIC) adaptado a la cuenca del arroyo San Bernardo.....	137
8.2 La percepción de la población sobre la peligrosidad de crecidas.....	139

8.3 Medidas propuestas para la reducción de los efectos de las crecidas en la población	141
8.3.1 La reglamentación del uso de suelo	140
8.3.2 Generación de un sistema de alerta de crecidas	142
8.3.3 Diseño y ubicación de puntos de encuentro ante una posible evacuación.....	143
8.3.4 Difusión de cartografía delimitando las áreas según la peligrosidad de crecidas....	144
CONCLUSIONES	148
BIBLIOGRAFÍA	152

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1 Área de estudio.....	3
Figura 1.2 Crecidas del Arroyo San Bernardo y sus consecuencias según medios de información locales.....	10

CAPITULO 2

Figura 2.1 Campos y sub campos de la geografía física.....	14
Figura 2.2 Elementos del sistema fluvial.....	15
Figura 2.3 El ciclo hidrológico a nivel de cuenca.....	17
Figura 2.4 Componentes de la cuenca hidrográfica.....	19
Figura 2.5 Factores que intervienen en el sistema morfogenético fluvial.....	20
Figura 2.6 Modelo de Gestión Integral de crecida.....	27

CAPITULO 3

Figura 3.1 Métodos utilizados en el análisis de la peligrosidad de crecidas.....	31
Figura 3.2 Mosaico elaborado a partir de imágenes georreferenciadas obtenidas de Google Earth Pro®.....	33
Figura 3.3 Jerarquización sobre el mosaico de imágenes según Strahler (1974).....	34
Figura 3.4 Visor del SCP v 4.0.....	35
Figura 3.5 Componentes del cauce.....	38
Figura 3.6 Sección transversal para realizar la medición hidrométrica.....	43
Figura 3.7 Correntómetro TECMES TS 1001 y aforo de un sector del canal principal.....	44
Figura 3.8 Herramientas de ArcGIS 10.2 para la realización de los perfiles longitudinales.....	45
Figura 3.9 Levantamiento de perfiles transversales.....	43
Figura 3.10 Muestro de vegetación a partir de transectas y cuadrados.....	46
Figura 3.11 Simbología de la metodología de Dansereau.....	46
Figura 3.12 Muestreo de sedimentos de fondo.....	48
Figura 3.13 Diagrama de Hjulström.....	49

CAPITULO 4

Figura 4.1 Mapa de anomalías en las precipitaciones con respecto a la precipitación media (2007—2008).....	53
Figura 4.2 Precipitación mensual para el periodo 1970-2012 en localidades del suroeste bonaerense.....	54
Figura 4.3 Recurrencia de años secos y húmedos en el suroeste bonaerense (1950-2010).....	55
Figura 4.4 Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) para la cuenca alta del río Sauce Grande.....	57
Figura 4.5 Órdenes de suelos predominantes para el suroeste de la provincia de Buenos Aires.....	58
Figura 4.6 Regiones fitogeográficas del Suroeste bonaerense.....	59
Figura 4.7 Esquema representativo de la ubicación de algunas comunidades vegetales de Sierra de la Ventana.....	61
Figura 4.8 Sistema de Ventania.....	65
Figura 4.9 Formaciones del sistema de Ventania.....	66
Figura 4.10 La cuenca del río Sauce Grande en el entorno regional.....	67
Figura 4.11 Actividad ganadera en la cuenca alta del río Sauce Grande.....	68
Figura 4.12 Cantidad de turistas por año en la comarca serrana.....	70

CAPITULO 5

Figura 5.1 División de la cuenca del arroyo San Bernardo.....	73
Figura 5.2. Jerarquización de la red de drenaje.....	74
Figura 5.3 Tipología de la red de drenaje.....	75
Figura 5.4 Áreas con vegetación en la cuenca del arroyo San Bernardo.....	77
Figura 5.5 Procesos de erosión y de depositación.....	79
Figura 5.6 Perfil longitudinal del curso principal.....	82
Figura 5.7 Pendientes de la cuenca del arroyo San Bernardo.....	82
Figura 5.8. Caudales medios mensuales (1938-1943).....	85
Figura 5.9 Caudales medios anuales (1938-1943).....	86
Figura 5.10 Comparación entre los caudales medios mensuales y las precipitaciones medias mensuales para el año 1940.....	86
Figura 5.11 Localización de las mediciones de caudal.....	87
Figura 5.12 Precipitaciones anuales para el período 1915-2008.....	88
Figura 5.13 Situación sinóptica para el día 12 de marzo de 2015.....	89
Figura 5.14 Situación sinóptica para el día 17 de marzo de 2015.....	90
Figura 5.15 Imágenes y titulares asociados a la crecida de 1944 en el diario La Nueva Provincia.....	91
Figura 5.16 Desborde y crecida del arroyo San Bernardo (25/01/2011).....	92
Figura 5.17 Desborde del arroyo San Bernardo y corte del puente sobre la RP 72...	93
Figura 5.18 Crecida del arroyo San Bernardo en las inmediaciones del puente del ferrocarril.....	94
Figura 5.19 Daños ocasionados por la crecida del 17/03/2015.....	94
Figura 5.20 Hidrograma típico.....	95
Figura 5.21 Componentes para el cálculo del hidrograma unitario sintético.....	96
Figura 5.22 Hidrograma sintético unitario para el evento del 17/03/2015.....	97

CAPITULO 6

Figura 6.1 Carta geomorfológica de la cuenca del arroyo San Bernardo.....	100
Figura 6.2 Formaciones aflorantes en el área de estudio.....	101
Figura 6.3 Ejemplos de anticlinales, sinclinales y pliegues y diaclasamiento en la cuenca alta del arroyo San Bernardo. Sector Cerro Tres Picos.....	102
Figura 6.4 Acumulaciones fluviales sobre las que se practica el pastoreo.....	103
Figura 6.5 Mapa hidrogeomorfológico.....	104
Figura 6.6 Ejemplos de diaclasamientos en la formación Napostá.....	105
Figura 6.7 Tipos de cauce en la cuenca del arroyo San Bernardo.....	107
Figura 6.8 Ejemplos de terrazas en la cuenca media.....	108
Figura 6.9 Ejemplos de terrazas en cuenca baja.....	109
Figura 6.10 Índice de vegetación estandarizado (NDVI).....	110
Figura 6.11 Esquema de cobertura. Primera unidad de muestreo.....	111
Figura 6.12 Esquema de cobertura. Segunda unidad muestreo.....	112
Figura 6.13 Esquema de cobertura. Tercera unidad muestreo.....	113
Figura 6.14. Danserograma de la transecta 1.....	114
Figura 6.15 Danserograma de la transecta 2.....	115
Figura 6.16 Danserograma de la transecta 3.....	116
Figura 6.17 Elementos antropogénicos de la cuenca baja.....	116

CAPITULO 7

Figura 7.1 Variaciones en la sinuosidad del canal principal.....	120
Figura 7.2 Localización de los puntos de muestreo y frecuencia de los sedimentos de acuerdo al tamaño (cm).....	123
Figura 7.3 Relación entre el tamaño y número de muestra en las transectas 1, 2 y 3.....	124
Figura 7.4 Relación entre el tamaño y número de muestra en las transectas 4, 5 y 6.....	125
Figura 7.5 Localización de los perfiles transversales.....	128

Figura 7.6 Perfil en planta del primer tramo.....	129
Figura 7.7 Perfiles transversales correspondientes al primer tramo.....	130
Figura 7.8 Perfil en planta del segundo tramo.....	131
Figura 7.9 Perfiles transversales correspondientes al segundo tramo.....	132
Figura 7.10 Tipología de árboles que han sido afectados por crecidas.....	133
Figura 7.11 Evidencias de crecidas en las ramificaciones de las especies arbóreas de la cuenca.....	134

CAPITULO 8

Figura 8.1 Medidas no estructurales propuestas para minimizar la peligrosidad de crecidas.....	138
Figura 8.2 Principales usos de suelo en Sierra de la Ventana.....	141
Figura 8.3 Señales para colocar en los puntos de encuentro y en camino hacia las rutas de evacuación	143
Figura 8.4 Señal para colocar en los balnearios alertando a los turistas sobre el peligro de crecidas.....	144
Figura 8.5 Mapa de peligrosidad.....	146

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 2

Tabla 2.1 Definiciones de crecidas, inundaciones y anegamientos.....	24
----------------------------------------------------------------------	----

CAPITULO 3

Tabla 3.1 Información digitalizada sobre la base de distintas fuentes.....	33
Tabla 3.2 Características de las bandas espectrales utilizadas en la combinación	36
Tabla 3.3 Índices morfométricos.....	37
Tabla 3.4 Tipología de ríos en función de la sinuosidad.....	39
Tabla 3.5 Grupos hidrológicos de suelo y características generales de los perfiles que los definen.....	40
Tabla 3.6 Valores del índice CN para diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación (para Condiciones Antecedentes de Humedad II).....	41
Tabla 3.7 Variables analíticas y sintéticas consideradas para la interpretación de los cuadrados de vegetación.....	47

CAPITULO 4

Tabla 4.1 Categorías de las anomalías según los valores del IPE.....	56
Tabla 4.2 Descripción de las especies endémicas del Sistema de Ventania.....	63
Tabla 4.3 Comparación de la cantidad de población para las localidades del suroeste bonaerense. Censos 2001 y 2010.....	69

CAPITULO 5

Tabla 5.1 Número de segmentos de cauces de los diferentes órdenes jerárquicos..	74
Tabla 5.2 Parámetros de las variables de forma, tamaño y relieve de la cuenca.....	78
Tabla 5.3 Relación de bifurcación entre los distintos órdenes de la cuenca.....	80
Tabla 5.4 Valores de la relación de longitud.....	80
Tabla 5.5 Comparación de índices a diferentes escalas.....	84
Tabla 5.6 Número de curva asignado a la cuenca para el cálculo del HUS.....	97

CAPITULO 7

Tabla 7.1 Medidas de centralidad.....	126
Tabla 7.2 Medidas de dispersión.....	127

CAPITULO 8

Tabla 8.1 Medidas a tomar por la población según el tipo de alerta de crecidas emitida.....	143
---------------------------------------------------------------------------------------------	-----

PARTE 1

CAPÍTULO 1 **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se analiza el estado actual del conocimiento a nivel mundial, regional y nacional de los temas vinculados a la geomorfología fluvial y al peligro de crecidas. Se presenta el área de estudio y se justifica el por qué de la investigación. Se plantean las hipótesis y objetivos que guiaron el trabajo.

El estudio de las redes hidrográficas es importante como temática geográfica por el amplio abanico de correlaciones que pueden generarse entre los fenómenos físicos y las actividades humanas. El agua es uno de los elementos fundamentales para el ser humano ya que resulta imprescindible para el desarrollo de la vida y es a través del ciclo hidrológico que se conocen las características del agua y su relación con las actividades antropogénicas (Tyler Miller, 2002). La sociedad a través de sus actividades e infraestructuras produce una intervención cada vez mayor en la naturaleza y su dinámica, siendo el hombre el agente modificador de los parámetros hidrográficos que resulta más afectado por las variaciones que se producen en el sistema natural.

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 (Balairón Pérez, 2000). Los temas fluviales deben analizarse desde una perspectiva íntegra, considerando los elementos de análisis y realizando síntesis con las relaciones entre ellos. La mayoría de los actuales sistemas fluviales no se encuentran en situación natural sino que fueron interferidos por las actividades humanas desde tiempos ancestrales lo que hace más complejo el sistema de interrelaciones y su interpretación (Díez Herrero, 2001).

Las investigaciones sobre el ambiente físico y particularmente las vinculadas con los sistemas fluviales han avanzado cada vez con mayor énfasis en el estudio de cuencas pequeñas o individuales. Esto es debido a que en las mismas se puede estudiar con mayor detalle los distintos sistemas que las caracteriza. El análisis del paisaje físico o natural requiere de la comprensión de los factores, fenómenos y procesos biofísicos que interactúan de manera compleja. Desde la Geografía es fundamental la importancia que tienen los estudios hidrográficos, donde se interrelacionan las características y procesos físico ambientales que se desarrollan en una cuenca hidrográfica.

1.1 Área de estudio: la cuenca del arroyo San Bernardo

El área de estudio está comprendida en la franja planetaria de climas templados, con veranos e inviernos bien marcados y primaveras y otoños moderados. Los valores medios anuales están comprendidos entre 14 °C y 20 °C. Durante la estación cálida son frecuentes los registros que llegan a valores extremos y superan los 40 °C. Los inviernos suelen presentar marcadas olas de frío que ocasionan perjuicios a la población y a las actividades económicas en general. En esta zona donde existe una alternancia permanente de masas de aire de distinta índole, la característica esencial es la variabilidad en las condiciones de tiempo, hecho que se pone de manifiesto en todas las estaciones del año (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). La característica distintiva de esta región es la variabilidad temporal y espacial de la precipitación. A su vez, la ocurrencia de las precipitaciones no solo se ve influida por la variabilidad característica de la región impuesta por el movimiento propio de las masas de aire, sino que los fenómenos

meteorológicos a escala global también contribuyen a las fluctuaciones periódicas en el monto de las lluvias (Deschamps *et al.*, 2003; Zapperi *et al.*, 2006; Zapperi *et al.*, 2007; Gil *et al.*, 2008; Zapperi, 2012).

La cuenca alta del río Sauce Grande se encuentra localizada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. La misma nace en el cordón de Ventana, drena las laderas de la vertiente este y recibe en su trayecto varios afluentes del cordón de las Tunas y Pillahuincó por su margen izquierda y del cordón de Sierra de la Ventana por la margen derecha. La combinación de factores hidrometeorológicos y geomorfológicos es la principal causa generadora de la dinámica fluvial.

El arroyo San Bernardo es uno de los principales tributarios del río Sauce Grande y confluye en cercanías de la localidad turística de Sierra de la Ventana. En el área perteneciente a la cuenca se observan espacios de uso rural sobre los valles y de uso urbano en los sectores de las márgenes de los ríos. La cuenca del arroyo San Bernardo (82 km²) nace en las laderas orientales del cordón de Sierra de la Ventana (Sierras Australes) al sur de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1.1).

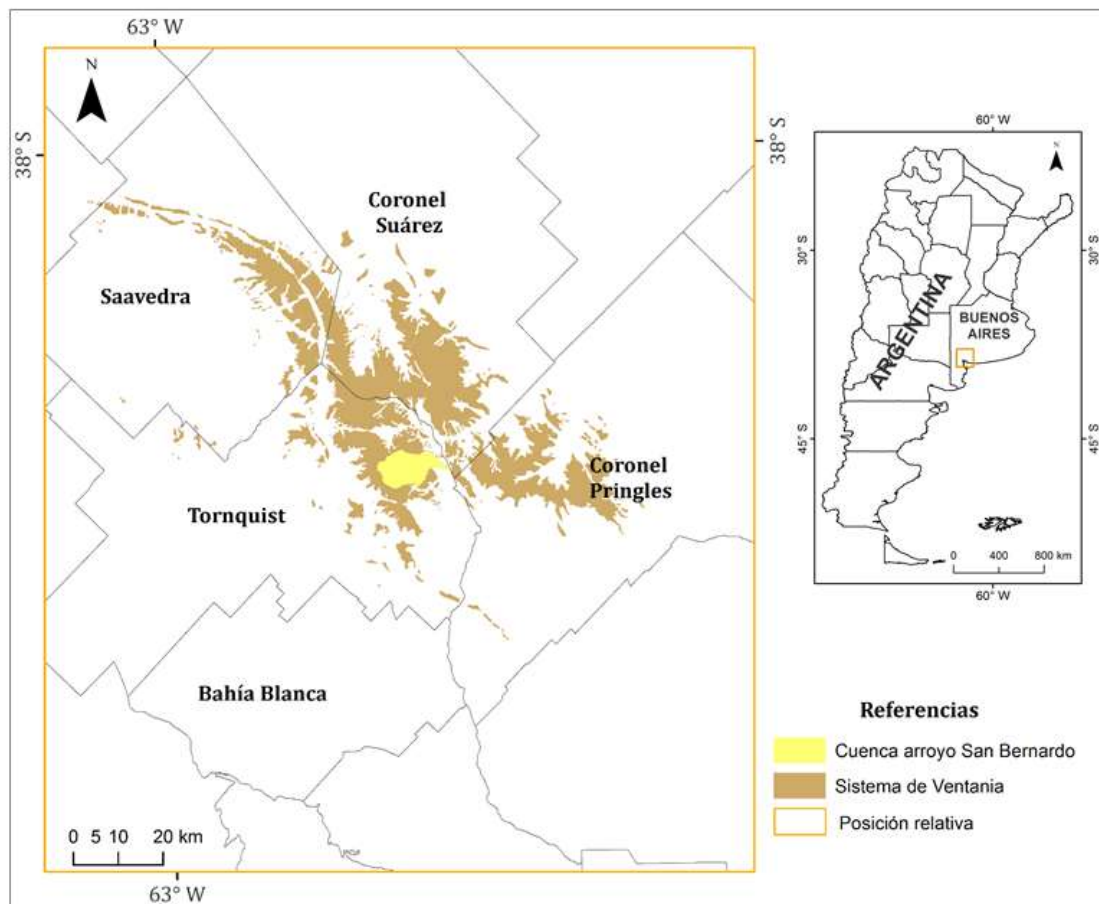


Figura 1.1 Área de estudio.
Fuente: elaborado por Volonté

1.2 Antecedentes y estado actual del conocimiento

Escala mundial

Las redes hidrográficas junto con las áreas drenadas por ellas son asiento de la población y de las actividades que la sociedad realiza y se encuentran en permanente cambio. Los flujos de materia y energía modifican la forma de los cauces, las redes de drenaje y configuran la morfología de cada cuenca. El análisis cualitativo en cuencas fluviales considera aspectos vinculados a la morfología de la red de drenaje, la forma y tipo de cauce, la sinuosidad, entre otros. Su estudio es importante porque permite realizar una primera interpretación de la red de drenaje y brinda la posibilidad de comparar diferentes cuencas. Distintos estudios referidos al estudio de la morfología de las redes de drenaje y procesos fluviales asociados fueron desarrollados en ríos españoles por Díez Herrero y Pedraza Gilsanz (1994), Pedraza Gilsanz (1996), Senciales González (1999), García Martínez y Baena Escudero (2008), Escorza (2011); Ibisate *et al.* (2011), Conesa García y Pérez Cutillas (2014); Ollero Ojeda *et al.* (2015).

Los procesos sedimentológicos que ocurren en el cauce modifican la morfología fluvial. Esta es variable en tiempo y espacio, hecho que se refleja en la forma de los cauces y para lo cual las crecidas tienen un papel determinante en la movilización y transporte aguas abajo. En Europa la evolución de las características granulométricas ha sido estudiada por distintos autores durante caudales bajos y por tramos ya que dichas características no son uniformes a lo largo de todo el curso (Vericat *et al.*, 2006; Dumitriu *et al.*, 2011; Soria-Jáuregui, 2014).

Los estudios referidos a la morfología de cauces y los procesos fluviales tales como las avenidas y sus impactos se han incrementado en Europa (González, 1991; Camarasa Belmonte, 1995; Pedraza Gilsanz, 1996; Bescos y Camarasa Belmonte, 1998; Morell Cuevas, 2001; Garry *et al.*, 2002; Guevara Álvarez, 2002; Ibisate González, 2004; Ayala *et al.*, 2007). Durante las últimas décadas, especialmente en España, se han desarrollado sistemas para el análisis y la cartografía de la peligrosidad por inundaciones, dándole un papel importante a la Geografía a partir del análisis multicriterio con Sistemas de Información Geográfica (Díez Herrero *et al.*, 2008; González de Matauco, 2004; Rodrigo *et al.*, 2014).

La morfometría fluvial complementa la información que permite caracterizar la dinámica hidrográfica ya que posibilita conocer la respuesta hidrológica de la cuenca y valorar formas y procesos de erosión. Numerosos autores han desarrollado índices morfométricos y evaluado su aplicabilidad, entre ellos se destacan: Horton (1945), Tricart (1973), Strahler (1974), Morisawa (1986), Leopold *et al.* (1995); Knighton (1998), Garry *et al.* (2002) y Lelievre *et al.* (2008).

Bajabaa *et al.* (2013) estudiaron a través de índices morfométricos, técnicas geomorfológicas y Sistemas de Información Geográfica el riesgo de inundación en Wadi Al Lith, Arabia Saudita. En Rumania, Grecu (2008) investigó cuencas en diferentes ambientes utilizando índices morfométricos para establecer correlaciones entre ellas. Thomas *et al.* (2012), Magesh, *et al.* (2013) e Ibrahim Batthis y Ahmed (2013) aplicaron índices morfométricos en India junto con modelos digitales de elevación (DEM) y Sistemas de

Información Geográfica para generar cartografía específica a los efectos de comprender el comportamiento fluvial ante las inundaciones.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen múltiples campos de aplicación en el estudio y gestión del riesgo de inundaciones fluviales, desde aspectos vinculados al estudio de la peligrosidad como la regionalización de datos de precipitación, obtención de parámetros morfométricos y de la red de drenaje. El empleo combinado de datos de precipitación, modelos hidrológicos e hidráulicos junto con los SIG son utilizados para la estimación de caudales y la delimitación de áreas inundables así como también se utilizan para la realización de cartografía de peligrosidad de inundaciones, a través del cálculo y representación de las zonas inundables para crecidas con distintos periodos de retorno (Perles Roselló *et al.*, 2006; Llorente *et al.*, 2009; Domenech Zueco *et al.*, 2011; García Lorenzo y Conesa García, 2011).

Por otra parte, en el estudio de un sistema fluvial es importante considerar la vegetación ribereña. Esta es un sistema abierto con propiedades físicas y biológicas propias, a lo largo de los cuales se redistribuye el material orgánico transportado por la corriente del río. La vegetación ribereña es un sistema dinámico afectado por procesos hidrológicos y geomorfológicos que desempeña funciones ecosistémicas. Freire Boado y Guitian Rivera (2005) analizaron la vegetación ribereña del río Ulla para determinar los principales ambientes de ribera y el grado de degradación en la cuenca media. La vegetación de la cuenca protege los márgenes de la acción erosiva y se convierte en un obstáculo cuando genera diques que magnifican la crecida (Fernández Aláez y Fernández Aláez, 1984; Meunier, 1996).

Escala regional

En Venezuela, Guerra y González (2002) Méndez y Marcucci (2006) realizaron estudios morfométricos en la quebrada de Curucutí con el objetivo de conocer el comportamiento y la respuesta hidrológica del sistema, establecer el comportamiento de la red de drenaje y la evolución topográfica e hipsométrica, asociada a la morfodinámica de la cuenca. Viramontes Oliva *et al.* (2007) calcularon los parámetros morfométricos de la cuenca del río San Pedro, Conchos para establecer el comportamiento evolutivo de la misma. Para ello se empleó el Modelo Digital de Elevación a escala 1:50.000 y se calculó la superficie, perímetro, forma, relieve y densidad de drenaje. Morales Calvet (2009) estudió la morfología del río Ichilo (Bolivia) teniendo en cuenta la amplitud de los meandros y la erosión lateral de la orilla izquierda del río para determinar la tasa de erosión anual y hacer una predicción del comportamiento del río para la toma de decisiones en futuros planes de intervención.

En Costa Rica, Martínez-Gutiérrez *et al.* (2010) y Martínez-Gutiérrez y Díaz-Gutiérrez (2011) analizaron morfométricamente la cuenca hidrográfica San José del Cabo con el fin de determinar posibles zonas de capturas utilizando también mapas geológicos y geomorfológicos. En Brasil, Vestena *et al.* (2006) utilizaron los parámetros morfométricos para comprender la dinámica hidrogeomorfológica y contribuir a la planificación en la cuenca de Caeté. El estudio de los sedimentos en los diferentes tramos de una cuenca permite obtener información acerca del origen de los mismos, la distancia recorrida a lo

largo del transporte, las condiciones en el momento de su depositación. Rodríguez *et al.* (2005) realizaron un análisis de los sedimentos obtenidos en la cuenca media y alta del río Chama en Venezuela con el objetivo de determinar distintos ambientes de depositación. En Bolivia se investigó en el río Madeira el tamaño de los sedimentos y la forma de depositación, para lo cual se utilizaron distintas metodologías de muestreo (Guyot *et al.*, 1999).

Solano Mata y Salas González (2011) estudiaron la dinámica hidrogeomorfológica asociada a la producción y movilidad de sedimentos en la cuenca alta del río Aranjuez. La investigación permitió identificar el comportamiento hidrodinámico y construir el mapa hidrogeomorfológico del área. En Chile se estudiaron los procesos de transporte de sedimentos en una cuenca experimental de montaña ubicada en la Cordillera de los Andes. Se trabajó la importancia relativa de los mecanismos de transporte de sedimentos en suspensión y de fondo, considerando su dinámica en relación con las características de los caudales (Iroume, 2003).

Camacho Rico *et al.* (2006) analizaron la estructura y composición de la vegetación ribereña en la porción media-alta del río Tembembe, México. Registraron la altura, el diámetro, la cobertura y la identidad taxonómica de cada individuo con el objetivo de contribuir al conocimiento de la vegetación para proporcionar información básica para futuros proyectos en la cuenca. En la cuenca del río La Vieja (Colombia) se evaluaron las características bióticas y abióticas de quebradas que drenan en microcuencas con dominancia de pasturas y se compararon esas características en quebradas con protección de corredores ribereños y sin ellos (Chará *et al.*, 2007). Guevara *et al.* (2008) trabajaron con el concepto de ambientes ribereños para formular planes de manejo que tengan por objetivo la conservación de dichas áreas promoviendo un uso sostenible.

Existen eventos hidrometeorológicos que periódicamente provocan inundaciones en diferentes cuencas dejando severos daños económicos y humanos. Ellis *et al.* (2012) estudiaron la cuenca del río Tuxpan en Veracruz (México) y analizaron geográficamente las áreas susceptibles a la inundación en la cuenca con relación a distintos periodos de retorno de precipitación máxima, en 24 horas y los integraron en un Sistema de Información Geográfica para modelizar la cuenca y calcular la superficie afectada de acuerdo a distintos posibles caudales. Garnica Peña y Alcántara Ayala (2004) hicieron una zonificación de las áreas susceptibles a ser inundadas en la cuenca baja del río Tecolutla (México) consideraron criterios morfológicos y estadísticos junto con técnicas de percepción remota. Cantarero (2013) propone un método de análisis para identificar y cartografiar puntos de interferencia negativa entre el patrón de distribución de la actividad humana y el patrón natural de peligrosidad. La metodología la aplicó en cuencas con características diferentes para su posterior comparación: la cuenca de Motozintla (Chiapas, México) y las cuencas de Totalán y de la Cala del Moral (Málaga, España).

Escala nacional

Estudiar las cuencas hidrográficas como sistemas resulta importante dado que cualquier acción que afecte a un sector de la cuenca repercute indefectiblemente aguas abajo de la misma, una alteración en la utilización del territorio en el área de cabecera

termina teniendo consecuencias en la desembocadura. Son precisamente estas alteraciones en el uso del suelo las responsables en gran parte de que sean más rigurosos los efectos de las crecidas en muchas áreas. En la Argentina son numerosos los estudios sobre cuencas, desde diferentes enfoques como el geográfico, ambiental, territorial, etc. (Geraldi *et al.*, 2010; Lanfranco Vázquez, 2012; Gaspari *et al.*, 2013; Magnante *et al.*, 2014; Quiroga *et al.*, 2014).

La geomorfología e hidrografía es fundamental en los estudios integrados de cuencas dado que influyen sobre las características y la dinámica del sistema. En la Argentina los trabajos hidrográficos y geomorfológicos en los últimos años, están orientados a contribuir al ordenamiento y gestión del territorio, manejo y utilización racional de los recursos hídricos desde un punto de vista ambiental y del peligro de inundación (Gil, 2010).

Torres (2003) realizó el mapa geomorfológico de la provincia de Jujuy con fines de ordenamiento territorial. En el mismo combinó morfografía, morfometría, pendientes, materiales y estructura, procesos morfodinámicos y áreas con procesos de denudación, transporte y acumulación para la cuenca del río Reyes. Barbeito y Contreras (2007) realizaron un diagnóstico geológico y geomorfológico orientado a determinar el peso de estos factores en la crecida del río Tartagal ocurrida en diciembre del año 2005 en la ciudad de Tartagal, provincia de Salta, cuando ocurrieron precipitaciones que superaron la media mensual en más de 400 mm.

En la provincia de Mendoza, Duffar (1983) realizó la carta hidrogomorfológica de la cuenca del arroyo Maura. Maza y Burgos (2007) analizaron la cuenca del río Blanco, el cual presenta importantes crecidas en la época estival y genera inconvenientes debido a que en sus márgenes se halla una importante cantidad de viviendas, campings y la planta potabilizadora de la localidad de Potrerillos. Se zonificó el área de acuerdo al riesgo de inundación y se implementó un plan de ordenamiento para las riberas tanto del curso principal como de sus afluentes. Mikkan (2007) aborda el problema aluvional en Mendoza utilizando la carta hidrogeomorfológica para el tratamiento de las cuencas del oeste de la ciudad.

En Córdoba, Barbeito *et al.* (2011) realizaron la cartografía de riesgo a partir de la aplicación del criterio geomorfológico y el empleo de las técnicas de fotointerpretación y teledetección considerando las diferentes unidades y analizando los procesos fluviales asociados. El objetivo de este análisis fue establecer la dinámica y alcance de inundaciones repentinas y extremas. Andreazzini *et al.* (2014) estudiaron el volumen y el comportamiento del material sólido generado en la cuenca del río Las Cañitas para definir propuestas de ordenamiento territorial e intervenciones directas en el curso. Vaccarino Pasquali *et al.* (2012) determinaron los parámetros morfométricos relacionados con la geometría, relieve y red de drenaje para analizar, comparar y establecer las características propias de algunas cuencas del piedemonte árido precordillerano, ubicado al oeste de la ciudad de Mendoza. En San Juan, Esper Angillieri y Perucca (2014) caracterizaron morfométricamente a la cuenca del río Colanguil aplicado al peligro de crecidas. En Río Negro, Genchi *et al.* (2011) analizaron dos cuencas que, ante precipitaciones extremas,

provocan inundaciones en la localidad de Las Grutas, para ello utilizaron índices morfométricos y Sistemas de Información Geográfica.

La provincia de Buenos Aires ha sido estudiada desde diferentes aspectos naturales (clima, vegetación, geomorfología, etc.) cubriendo gran variedad de autores y temáticas (Frenguelli, 1955; Marchetti, 1968, Tricart, 1973; Hernández *et al.*, 1975; Sala *et al.*, 1983; Petagna de del Río, 2002; Capelli de Steffens *et al.*, 2004; Dangavs, 2005; Fucks *et al.*, 2008 y Quiroz Londoño *et al.*, 2013). En el sur de la provincia de Buenos Aires se realizaron varios trabajos sobre diferentes cursos fluviales desde la perspectiva geográfica como por ejemplo el del río Quequén Grande (Campo de Ferreras, 1999). Marini (2002) realizó un análisis hidrográfico de la cuenca del río Quequén Salado. Carbone (2004) estudió la hidrografía del arroyo Claromecó y Bohn (2009) estableció patrones de distribución espacial de lagunas sobre la base del conocimiento de variables climáticas, geomorfológicas, hidrográficas y edafológicas. Los problemas de inundaciones y sus consecuencias tanto en el deterioro ambiental como en la economía fueron tratados por Sélles Martínez y Carletto (1990), Monachesi (1993) y Ríos y Murguida (2004).

Con respecto a la peligrosidad de crecidas, en la Argentina se ha trabajado principalmente desde la gestión ambiental y la mayoría de los estudios no toman como unidad básica las cuencas hidrográficas. Así, por ejemplo, en San Juan se analizaron eventos de precipitaciones intensas generadoras de aluviones, cuyos efectos pueden ser minimizados a través del establecimiento de un sistema de predicción y alerta, de la educación pública y de la realización de medidas estructurales (Perruca y Paredes, 2005). En Santa Fe el Instituto Nacional del Agua (INA) generó información a partir de la delimitación de áreas con riesgo hídrico, modelando las crecidas y obteniendo probables caudales (INA, 2008).

En particular para el área del estudio se han realizado diferentes investigaciones desde varias disciplinas. Estos trabajos son muy puntuales y domina el enfoque geológico (Harrington, 1947; Rabassa, 1982; Andreis *et al.*, 1989; Von Gosen *et al.*, 1991; Zabala y Quattrocchio, 2001; Demoulin *et al.*, 2005). Asimismo, trabajos muy focalizados sobre hidrogeología de algunos sectores del sistema de Ventania fueron realizados por Albouy (1994) y Bonorino *et al.* (2001). La cuenca superior del arroyo Napostá Grande fue analizada desde la hidrogeología debido a que constituye un área de interés para la explotación del recurso hídrico subterráneo como fuente alternativa de abastecimiento de agua a núcleos urbanos de la región entre los que se encuentra la ciudad de Bahía Blanca (Carrica, 1998; Carrica y Lexow, 2004).

En los últimos años se ha avanzado sobre la temática hidroclimática y geomorfológica del suroeste bonaerense. Casado *et al.* (2007) establecieron las vinculaciones entre la ocurrencia de procesos de avenidas e incendios forestales y la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario. Torrero (2008) analizó la hidrogeomorfología de la cuenca del río Sauce Chico utilizando un Sistema de Información Geográfica a partir del cual se crearon mapas hipsométricos, hidrográficos e hidrogeomorfológico del área. Gil (2010) realizó el estudio hidrogeomorfológico de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicado al peligro de crecidas en relación con las actividades humanas que allí se realizan demostrando que es necesario monitorear y

profundizar las investigaciones en algunas sub-cuencas para proteger de las crecidas a la población ubicada en las áreas más vulnerables. En la cuenca del arroyo Sauce Corto Gentili (2012) analizó los factores físico-naturales y sociales que gobiernan la dinámica hidrográfica y su relación con las inundaciones y anegamientos. Casado (2013) estudió el grado de impacto del dique Paso de las Piedras en la cuenca media del río Sauce Grande y su efecto sobre la hidrología y morfología.

Gil y Campo (2012) analizaron los procesos de vertientes y crecidas intensas de los arroyos de la cuenca alta del río Sauce Grande provocadas por lluvias torrenciales de baja frecuencia realizando la cartografía geomorfológica y analizando 17 perfiles topográficos. Gil *et al.* (2009) compararon a partir de índices morfométricos (Relación de Bifurcación, Densidad de Drenaje, Índice de Torrencialidad y Coeficiente de almacenamiento) la influencia de la litología, estructura y morfología en la dinámica fluvial de 4 sub-cuencas del ambiente serrano y determinaron que la representatividad areal y el tipo de roca aflorante junto con la pendiente del sector influyen en los resultados obtenidos en la densidad de drenaje.

1.3 Justificación de la investigación

La dinámica de una cuenca es el reflejo combinado de la geomorfología fluvial, la variabilidad climática y los procesos antropogénicos. En la cuenca del río Sauce Grande se generan crecidas intensas provocadas por eventos hidrometeorológicos extremos que afectan a la población situada en las márgenes. Estas crecidas son torrenciales y de corta duración (*flash flood*) y ocasionan el aislamiento temporario, la inundación de sectores urbanos aledaños al curso principal, la evacuación de personas y pérdidas tanto humanas como económicas (Fig. 2.1). Gil (2010) estudió la cuenca del río Sauce Grande y determinó que la sub-cuenca del arroyo San Bernardo es una de las que presenta mayor peligrosidad ante la ocurrencia de lluvias torrenciales dado que posee una dinámica diferencial respecto al resto de las subcuencas. Sin embargo no fueron analizadas las causas que generan esta dinámica hidrogeomorfológica diferente.

La originalidad de este estudio reside en la posibilidad de conocer la dinámica de la cuenca del arroyo San Bernardo a partir de una escala de trabajo detallada, la cual permitirá analizar las características hidrogeomorfológicas de una manera precisa. La geomorfología fluvial tiene un papel relevante en la génesis y propagación de las crecidas, así como en sus efectos de inundación por anegamiento de las márgenes. A partir de la utilización de este enfoque se pretende aportar los criterios necesarios para evaluar el riesgo de inundación en las márgenes a través del conocimiento exhaustivo de los procesos morfológicos y sedimentológicos asociados a la cuenca como así también considerando las actividades antropogénicas.

Actualmente hay un impulso edilicio y un despegue económico muy importante en Sierra de la Ventana, principalmente en las zonas lindantes a las riberas de los arroyos serranos. En particular la llanura de inundación del arroyo San Bernardo en su tramo inferior está siendo loteada para uso residencial. Los compradores de estos terrenos generalmente no viven en la zona y desconocen el comportamiento del arroyo. Esta expansión inmobiliaria carece de criterios de organización urbanística. Si bien la comarca

de Sierra de la Ventana cuenta con un Plan de Ordenamiento (2002) en ningún momento se nombran medidas vinculadas al peligro de crecidas, principalmente en aquellos arroyos que son vulnerables a crecidas repentinas que pueden afectar a la población. No existe una zonificación de la ocupación de las márgenes de los arroyos ni planes de emergencia/evacuación ante estas posibles crecidas. Por ello, la generación de la cartografía de los elementos morfológicos en la llanura inundable permitirá zonificar el área y asignar usos de suelo de acuerdo a los niveles de peligrosidad.



Figura 1.2 Titulares de las crecidas del arroyo San Bernardo y sus consecuencias según medios periodísticos locales. Fuente: diario La Nueva Provincia (26/01/2011-08/04/2014-27/10/2014) y La Nueva Radio Suárez (14/03/2015)

1.4 Hipótesis de trabajo

La hipótesis que guía esta investigación plantea que:

Las condiciones naturales influyen en la ocurrencia y magnitud de las crecidas del arroyo San Bernardo y afectan a las actividades socio- económicas en la cuenca baja.

El estudio de la dinámica fluvial de la cuenca del arroyo San Bernardo contribuye a generar nuevos conocimientos y herramientas indispensables para la formulación de planes de gestión de crecidas.

1.5 Objetivos

A fin de comprobar la hipótesis, se plantea un objetivo general y siete objetivos específicos que ordenan y estructuran la investigación.

Objetivo general

Estudiar la geomorfología fluvial del arroyo San Bernardo aplicada al peligro de crecidas en la localidad de Sierra de la Ventana.

Objetivos específicos

- 1.- Estudiar la geomorfología de la cuenca del arroyo San Bernardo y los cauces que la componen.
- 2.- Estudiar la distribución de las precipitaciones y caudales en la cuenca.
- 3.- Identificar las condiciones meteorológicas extremas de precipitaciones que generan la crecida de los arroyos.
- 4.- Determinar las formas de diferentes secciones transversales y su variación en el perfil longitudinal del curso principal
- 5.- Analizar las actividades socio-económicas que se desarrollan en la cuenca.
- 6.- Establecer áreas con peligro de crecidas.
- 7.- Establecer propuestas que contribuyan a la gestión integral de crecidas en Sierra de la Ventana.

1.6 Estructura de tesis

El trabajo de tesis se estructuró en dos partes y a su vez fue dividido en capítulos. La primera parte se compone de los capítulos 1 al 4. El primer capítulo es la introducción y presentación de la problemática a estudiar. En el capítulo 2 se desarrolla el marco teórico conceptual que dio sustento al estudio. Marca la orientación y referencia con la cual se plantea el desarrollo de esta tesis. El tercer capítulo presenta las cuestiones metodológicas que guiaron la investigación y las técnicas utilizadas para su desarrollo. Por último, el capítulo 4 presenta el área de estudio en el contexto regional en el que se desarrollan los aspectos físicos y sociales que serán relevantes para la comprensión de la problemática a analizar.

En la segunda parte, capítulos 5 al 8, se realiza un cambio de escala. En el capítulo 5 se desarrolla el análisis morfológico y morfométrico de la cuenca. En el capítulo 6 se presenta la carta hidrogeomorfológica, donde se describen cada uno de sus componentes. En el capítulo 7 se estudia el canal principal en tramos resaltando las características morfológicas más importantes. El capítulo 8 corresponde a las propuestas en el marco de la Gestión Integral de Crecidas, se plantean medidas no estructurales para reducir la peligrosidad ante la ocurrencia de crecidas. Finalmente se redactó el apartado correspondiente a las conclusiones de la tesis.

CAPÍTULO 2
MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

En el marco de la Geografía Física Aplicada en este capítulo se desarrollan los conceptos teóricos básicos para esta investigación. Los pilares centrales de este apartado son el sistema fluvial, la geomorfología fluvial y la peligrosidad de crecidas ya que constituyen las herramientas conceptuales necesarias para comprender y explicar la problemática abordada en esta tesis.

2.1 Geografía Física Aplicada y su importancia en la síntesis del conocimiento

La geografía estudia las características del espacio en relación con el accionar de la sociedad. El objeto de estudio de la ciencia deja de ser único para transformarse en un imbricado conjunto de relaciones entre el ámbito natural y social (Campo, 2015). La geografía física es un área de investigación dentro de la ciencia geográfica que pone en contacto e interrelaciona los elementos del medio físico con el hombre (Strahler y Strahler, 1994).

Lo específico, lo importante, lo primero y lo último en geografía no es físico ni biológico ni humano; es geográfico y está constituido por las relaciones que guardan los hechos originados en la esfera física con los de la esfera biológica y la humana. La esfera física sobre la cual se asienta la biológica recibe influencias de ésta y ambas constituyen el escenario sobre el cual se desarrolla la actividad humana (Zamorano et al., 1968: 34).

La geografía física presenta diferentes campos y subcampos que se encuentran vinculados a diversas disciplinas (Fig. 2.1). Una de sus características es la de no considerar al ser humano de manera aislada sino que se tienen en cuenta las fuerzas socioeconómicas y culturales que producen cambios en el medio natural, como así también se consideran las fuerzas principales de la naturaleza generadoras de procesos naturales. La fuerza antropogénica también es considerada como la generadora -modificadora de procesos en el sistema natural (Campo, 2015). Es así que adquiere importancia la geografía física aplicada para poder cubrir todas estas variables y obtener una síntesis producto de la gran transversalidad.

Dentro de los subcampos la geomorfología ha sido desde los inicios de la geografía una de las más productivas (Campo, 2015). Esta es definida por Schumm (1991) como la ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos. El desarrollo de la geomorfología fluvial ha estado muy vinculado al incremento de conocimiento en la geomorfología. Richards (1987) considera que el objetivo de la geomorfología fluvial es explicar las relaciones entre los procesos físicos del flujo en canales de lecho móvil, la mecánica de transporte de sedimentos forzado por el flujo y las formas de los canales creados por el transporte de sedimentos. El alcance geográfico de este subcampo de aplicación está vinculado con la generación de nuevos conocimientos que son aplicables al estudio de los impactos naturales y también antropogénicos (Campo, 2015).

La geografía física tiene una concepción holística que pretende integrar no solo los procesos geomorfológicos, climatológicos y biogeográficos que confluyen en la superficie terrestre, sino que también como es propio de la ciencia geográfica, imbricar estos procesos con la acción del hombre como ser social. De la geografía física aplicada surge un concepto del paisaje en el que al potencial físico y el funcionamiento del ecosistema se incorpora la acción humana y su herencia histórica. Este enfoque permite ofrecer

soluciones a los nuevos problemas territoriales y ambientales. Según Perles Roselló, (2005) todo geógrafo comprometido con su ciencia debe considerar como objetivo básico que los conocimientos que se investigan sean útiles y aplicables para así lograr el acercamiento de la geografía a la sociedad.



Figura 2.1 Campos y sub campos de la geografía física.
Fuente: modificado de Campo (2015)

2.2 El sistema fluvial dentro del ciclo hidrológico

El enfoque para abordar la manera en que se relacionan los componentes de cada esfera (hidrosfera - litosfera - atmósfera) es el sistémico. De esta forma se estudia cada componente por separado para luego integrarlos y poder comprender sus relaciones. Específicamente el sistema fluvial se puede definir como un conjunto de elementos o procesos físicos unidos a través de alguna interdependencia que actúa sobre un grupo de variables de entrada para convertirse en salidas del sistema. Cada uno de los elementos o procesos integrantes es el resultado de complejas interrelaciones de factores de gran variabilidad espacial y temporal, cuyas características físicas no son medibles ni calculables (Campos Aranda, 1998). La unidad básica del sistema fluvial es la cuenca, la cual constituye un sistema abierto en donde la energía y los materiales se intercambian con el medio ambiente circundante (Sheng, 1992).

El sistema fluvial presenta caracteres topográficos, litológicos y fitogeográficos propios del ambiente geográfico en que se desarrollan y tales condiciones actúan sobre la alimentación y el escurrimiento (Fig. 2.2). El factor topográfico resulta relevante al

momento de trazar la divisoria de aguas y al calcular índices morfométricos. Las condiciones climáticas también son un factor importante para el sistema, por ejemplo, las precipitaciones son una entrada al sistema. El factor litológico hace referencia al papel que desempeñan las características físicas de las capas superficiales de la corteza sobre el escurrimiento fluvial, en cuanto contribuyen a mantener el caudal y a asegurar su continuidad en el tiempo (Bruniard, 1992).

El efecto de la cubierta vegetal puede ser por un lado interceptando las precipitaciones y la insolación o bien mediante la transpiración del agua que absorbe el suelo. Estas variables van a depender del tipo de formación fitogeográfica y del grado de cobertura sobre la superficie de la cuenca. En el caso de la vegetación de ribera el rol que cumple está asociado a la retención de sedimentos y en casos de crecidas a la generación de diques que magnifican la onda de crecida (Bruniard, 1992; Ward *et al.*, 2002).

En síntesis, el sistema fluvial a partir de sus propias características topográficas, litológicas y fitogeográficas cumple la función de recibir, almacenar y devolver el agua al circuito hidrológico, en proporciones que varían según se combinen esas características en relación con el clima.

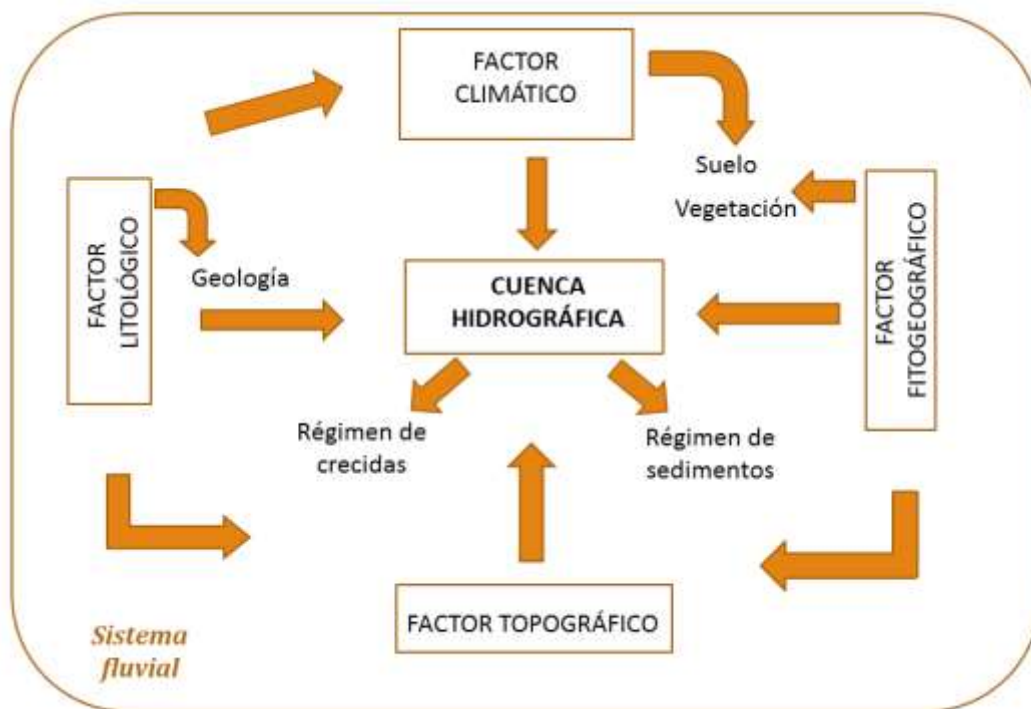


Figura 2.2 Elementos del sistema fluvial.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Bruniard (1992)

La sociedad estuvo desde sus inicios ligada a los ríos utilizándolos como recurso natural y aprovechándolos como fuente de agua. A medida que el hombre fue teniendo mayor tecnología, las transformaciones sobre el sistema fluvial fueron mayores de manera tal que actualmente son pocos los ríos que no se encuentran modificados (Allan y Castillo, 2007; Sabater, 2008). Estas transformaciones de la sociedad muchas veces resultan negativas para el ecosistema fluvial, ya que son cambios que perduran el tiempo y que

modifican el funcionamiento natural del sistema. Es importante también considerar las consecuencias que tienen las actividades agrícolas- ganaderas, por ejemplo el exceso de nutrientes produce cambios en la composición del agua y genera lo que se conoce como eutrofización (Elosegi y Sabater, 2009).

El ciclo hidrológico está compuesto por varios procesos interrelacionados de extensión continental, regional y local. Aunque el volumen de agua global permanece constante, la distribución del agua está cambiando continuamente a nivel de continentes, regiones y cuencas de drenaje. A medida que la civilización progresa las actividades humanas alteran el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e inician nuevos procesos y eventos (Chow *et al.*, 1994). Este ciclo se basa en la consideración de que toda el agua de la tierra y de la atmósfera está involucrada en un sistema de interrelaciones continuo que se lleva a cabo a través de los tres estados del agua: sólido, líquido y gaseoso. Esta dinámica hidrológica, cuyos procesos ocurren en forma continua, afecta a la litosfera aproximadamente hasta 1 km de profundidad y a la atmósfera hasta unos 15 km de altitud (Strahler, 1974; Chow *et al.*, 1994).

Un factor determinante en el desarrollo del ciclo hidrológico es la precipitación, tanto en su tipo como cantidad y distribución, dado que constituye la entrada de agua en el sistema constituido por la cuenca hidrográfica. Evaporación y transpiración son dos procesos estrechamente interrelacionados y de gran importancia dentro de este ciclo porque determinan el regreso a la atmósfera de una parte de las precipitaciones, representando las salidas de agua del sistema (Sala Sanjaume y Batalla Villanueva, 1996).

El ciclo hidrológico a escala de cuenca hidrográfica es un sistema abierto que posee como entrada la precipitación y la energía solar, como salida el caudal que se genera. Entre la entrada y salida ocurren varios fenómenos que condicionan esta relación y que están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su antropización. Las precipitaciones que ocurren en la cuenca, en parte son absorbidas por la vegetación, otra proporción se infiltra y parte discurre hasta llegar al sistema fluvial. Este ciclo se puede ver modificado por la acción de hombre a través de sus actividades y por las características físicas propias de la cuenca (Fig. 2.3).

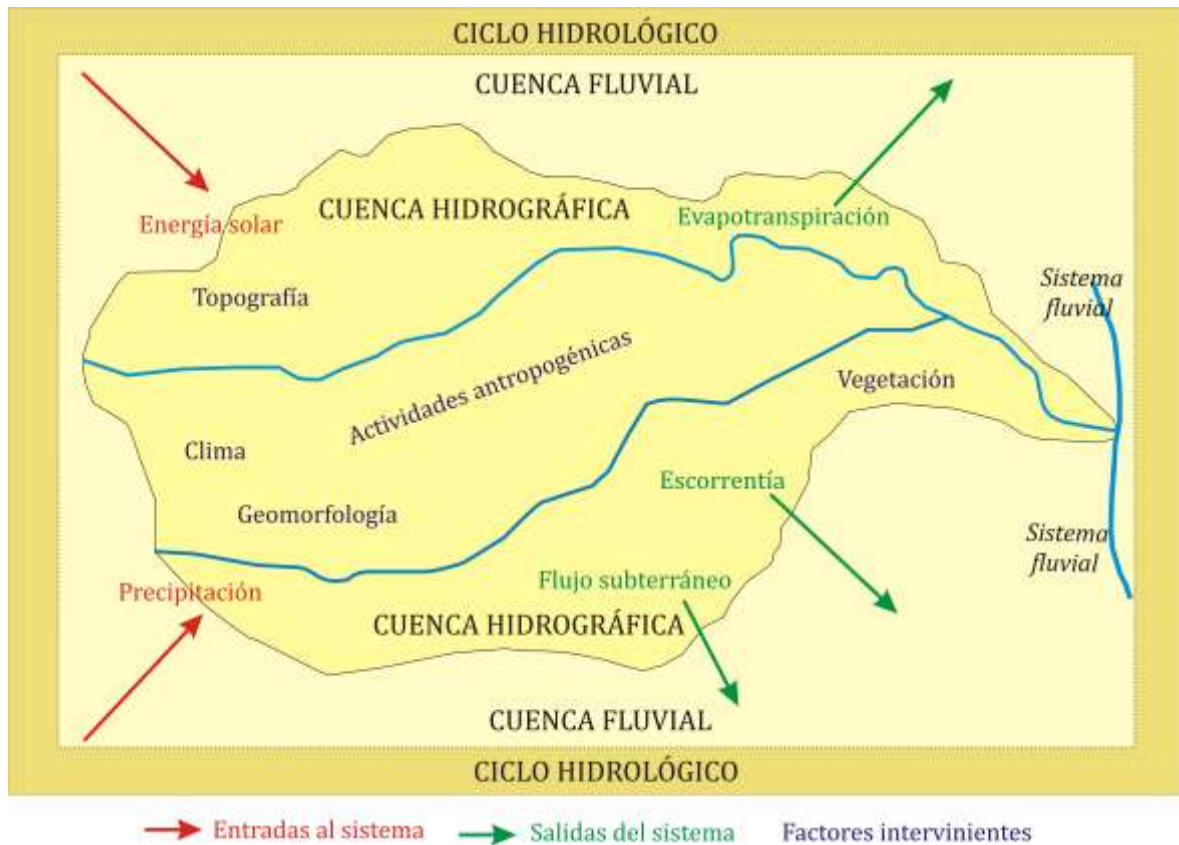


Figura 2.3 El ciclo hidrológico a nivel de cuenca hidrográfica.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Remenieras, 1974; Sheng, 1992 y Chow *et al.*, 1994

2.2.1 La cuenca hidrográfica como unidad de análisis

Las cuencas fluviales son sistemas complejos cuyas propiedades se definen a partir de la interrelación de características geomorfológicas, geológicas, climáticas, hidrográficas, biogeográficas, de uso del suelo, etc. Esto impone la necesidad de individualizar estos aspectos particulares para integrarlos luego en sus conjuntos naturales y evaluar los resultados concretos del comportamiento de la cuenca. Estas no solo son reconocidas como unidades físicas – naturales sino que también se consideran los distintos factores antropogénicos intervinientes en las mismas (Sheng, 1992; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009).

Umaña Gómez (2002) la define como una unidad territorial natural que capta la precipitación y por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal, es decir en un área delimitada por una divisoria topográfica. La superficie que abarca una cuenca es definida por la línea divisoria de agua en la cual se desarrolla un sistema hídrico-superficial, formando una red de cursos de agua que concentran caudales hasta formar un río principal. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define a las cuencas hidrográficas como la zona geográfica drenada por una corriente de agua, este concepto lo aplica tanto a unidades que van desde una superficie agrícola atravesada por un arroyo hasta las grandes cuencas fluviales o

lacustres (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009).

Parra (2009) la define como una unidad formada por un río con sus afluentes y un área colectora del agua. En las cuencas están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como el agua, el suelo, la vegetación y la fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre. Sheng (1992) explica que 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 socio-económico-políticas para la planificación y ordenación de los recursos naturales. Por otra parte, en la cuenca hidrográfica se producen relaciones, interacciones e interrelaciones y es un sistema natural dinámico de elementos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos que se relacionan entre sí evolucionando permanentemente en función de las actividades antropogénicas (Bruniard, 1992; Umaña Gómez, 2002).

Los principales componentes que determinan el funcionamiento de una cuenca son los elementos naturales y los antropogénicos (Fig. 2.4). Los naturales interactúan y se influyen mutuamente. Los componentes abióticos y bióticos están condicionados por las características geográficas (latitud, altitud), geomorfológicas (tamaño, forma, relieve, densidad y tipo de drenaje), geológicas (orogénicas, volcánicas y sísmicas). Los elementos antropogénicos pueden ser de carácter socioeconómico y jurídico-institucional. Entre los primeros se encuentra la tecnología, la organización social, la cultura y las tradiciones, la calidad de vida y la infraestructura desarrollada.

Entre los elementos jurídico-institucionales están las normas reguladoras, las políticas de desarrollo y gestión y las instituciones involucradas. Las normas reguladoras hacen referencia al sistema de leyes en el cual se enmarca la gestión de recursos hídricos como así también a los espacios de diálogo entre los distintos actores involucrados. Las instituciones son los organismos responsables de coordinar los diferentes niveles gubernamentales como los mecanismos de planificación y financiamiento.

Por último, la gestión se ocupa de evaluar los recursos hídricos (disponibilidad y demanda), establecer sistemas de comunicación e información, resolver conflictos sobre la asignación del agua, establecer normas, acuerdos financieros y la autorregulación (acciones voluntarias), fomentar la investigación y el desarrollo, emprender obras de aprovechamiento, garantizar la responsabilidad como así también desarrollar la capacidad de organización y coordinación (Sheng, 1992; Umaña Gómez, 2002; Global Water Partnership, 2009; Parra, 2009).

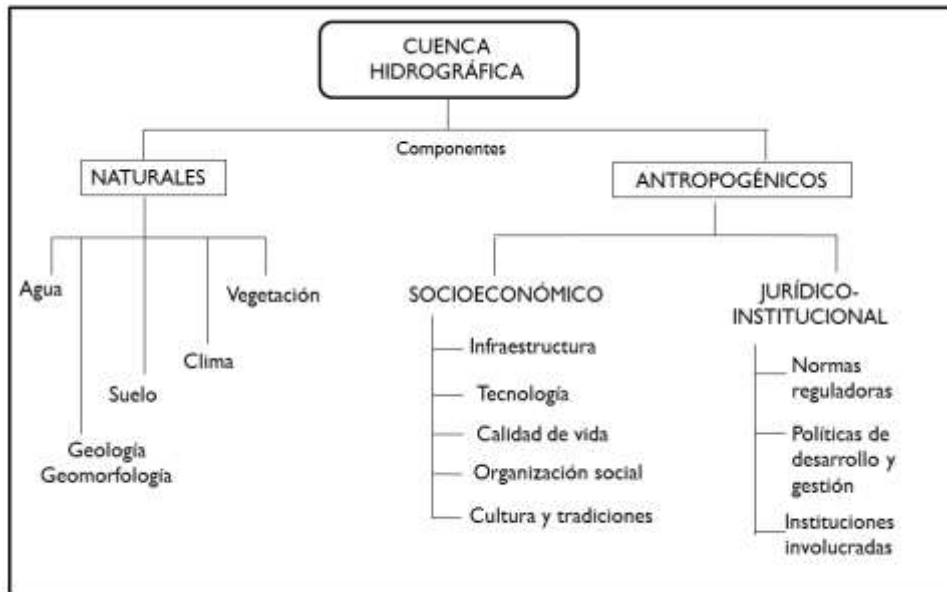


Figura 2.4. Componentes de la cuenca hidrográfica.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Umaña Gómez (2002) y Parra (2009)

2.3 Geomorfología fluvial: base teórica aplicada al estudio de las crecidas

La interpretación de los sistemas fluviales, desde el punto de vista geomorfológico se basa en tres principios. Por un lado, que los sistemas fluviales son *dinámicos*, los cambios en dicha morfología ocurren en escalas de tiempo relativamente breves debido a la erosión o depositación. Los cambios en los sistemas fluviales son *complejos*, las respuestas del sistema a cambios en las variables externas pueden ser previstas, pero frecuentemente es imposible predecir en forma precisa su naturaleza. Por último *un cambio gradual de una variable externa puede producir un cambio drástico del sistema fluvial*, siendo uno de los problemas más críticos determinar las condiciones externas límites que causan modificaciones significativas en el sistema (Niño, 2004).

La geomorfología es una disciplina científica que se ocupa de la descripción, análisis e interpretación espacio-temporal de las formas del relieve y los depósitos recientes asociados. La información geomorfológica es aplicable al estudio y propuestas de soluciones para resolver problemas de recursos, gestión y planificación ambiental (Gutiérrez Elorza, 2008). Según Hugget (2011) estudia las interacciones de los humanos con las formas y los paisajes. Las aplicaciones de la geomorfología se dividen en dos grupos, por un lado el hombre como agente geomorfológico, en término de sus efectos sobre los procesos y las formas geomorfológicas y por el otro la geomorfología como ayuda para valorar la ubicación, construcción y la planificación de un espacio.

La geomorfología fluvial estudia las formas y depósitos de los ríos, arroyos y torrentes. Tiene un papel relevante en el estudio de la génesis y propagación de las crecidas y avenidas fluviales así como en sus efectos de inundación por anegamiento de las márgenes en la corriente donde tienen lugar estos eventos. Esta influencia se manifiesta en una triple faceta: configuracional en cuanto a las formas de la superficie terrestre; dinámica, referida a las acciones que desarrollan los procesos fluviales y los productos

resultantes y evolutiva por la existencia de tendencias y ritmos en la modificación del relieve con repercusiones en las zonas inundables (Viers, 1983). El objetivo fundamental de la geomorfología fluvial es la explicación de las relaciones entre procesos físicos del flujo en canales de lecho móvil, la mecánica del transporte de sedimentos forzado por el flujo y las formas de los canales aluviales creados por el transporte de sedimentos (Gutiérrez Elorza, 2008).

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 sistema morfogenético fluvial comprende formas y procesos que están determinados por la presencia de flujos de agua superficiales. El estudio de los mismos permite determinar características y dinámicas propias de cada cuenca (Pedraza Gilsanz, 1996; Marchetti, 2000) (Fig. 2.5).

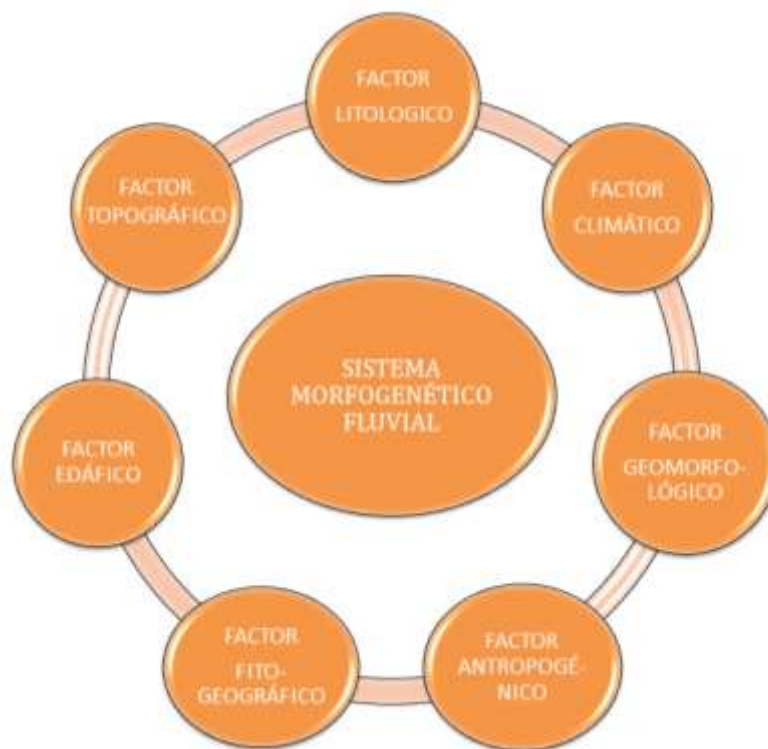


Figura 2.5 Factores que intervienen en el sistema morfogenético fluvial.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Pedraza Gilsanz, 1996 y Gutiérrez Elorza, 2008

Dentro de los factores que intervienen en el sistema morfogenético fluvial se encuentra la **topografía**, la cual posibilita que las precipitaciones escurran hasta un cauce común a favor de la pendiente. Este factor permite delimitar el alcance de la cuenca identificando las líneas divisorias de aguas o líneas de altas cumbres que separan las cabeceras de los afluentes que convergen a un colector común. La rapidez del escurrimiento también dependerá del perfil transversal que tenga el cauce, es decir sus proporciones entre ancho y profundidad. Un cauce angosto y con laterales con pendientes empinados favorecerá la escorrentía respecto de un cauce ancho y plano es así que la fricción total depende tanto del tamaño como de la forma del canal. La topografía también

interviene en la acción del agua, por ablación y deposición, sobre el modelado del perfil longitudinal del curso (Pedraza Gilsanz, 1996; Gutiérrez Elorza, 2008).

El **factor litológico** se refiere a la influencia que tienen las características físicas de las capas superficiales de la corteza (suelos y afloramientos rocosos) sobre el escurrimiento fluvial. Una cuenca donde predominen superficies con alta permeabilidad favorecerá la infiltración del agua de lluvia. Ello repercutirá en una menor escorrentía superficial a favor de un aumento en el almacenamiento de agua subterránea que será restituida a superficie en temporadas de sequías. Los ríos que drenan cuencas impermeables adquieren características torrenciales mientras los terrenos permeables juegan un papel retardador y regulador (Senciales González, 1999 y Gutiérrez Elorza, 2008).

El **factor fitogeográfico** actúa interceptando las precipitaciones mediante la transpiración del agua que absorbe del suelo, disminuye las reservas de agua acumuladas en el suelo y con ello las posibilidades de incorporar agua a los cursos fluviales mediante vertientes. La acción de la vegetación dependerá del tipo de formación fitogeográfica, de su densidad y profundidad alcanzada por las raíces y del grado de cobertura sobre la superficie de la cuenca (Bruniard, 1992). El **factor edáfico** resulta importante porque permite interpretar el comportamiento del suelo ante eventos extremos de precipitación, dependiendo su permeabilidad, el escurrimiento e infiltración van a variar.

El **factor climático** resulta fundamental en el origen del escurrimiento fluvial y en las características que adquieren los regímenes estacionales de precipitación. El carácter hidrológico de una cuenca dependerá de la alimentación y de las pérdidas por evaporación y evapotranspiración. El clima actúa principalmente a través de dos componentes: precipitaciones y temperatura. Las precipitaciones son una fuente directa de aporte de agua a los ríos y por ende inciden en el régimen fluvial tanto por su estacionalidad como por su intensidad y distribución geográfica, mientras que la temperatura es la responsable de la mayor o menor evaporación (Bruniard, 1992 y Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

El **factor geomorfológico** comprende las formas y procesos del modelado que se determinan a partir de la acción del agua superficial principalmente la encauzada. Esta última constituye el principal agente del modelado. Los agentes del modelado, en general contribuyen a una progresiva erosión y aplanamiento del relieve preexistente. El **factor antropogénico** es variable dependiendo de la actividad que el hombre realice en la cuenca. Las modificaciones antropogénicas generan cambios morfológicos importantes como por ejemplo, una canalización o la construcción de una represa activando y/o favoreciendo mecanismos de transporte y sedimentación.

2.4 Cartografía aplicada: mapas hidrogeomorfológicos y de peligrosidad

La cartografía constituye un sistema de comunicación gráfica cuya función principal es la de facilitar la visión de las cosas a representar. Un mapa es definido por Peña Monné (1997) como una representación gráfica, simplificada y convencional de datos de todo tipo y relaciones espaciales que tienen lugar en un espacio bi o tri dimensional con una relación de similitud denominada escala. El estudio integrado de una

cuenca hidrográfica debe proporcionar un adecuado conocimiento de las características, jerarquía y dimensiones de los distintos cursos que la componen. La representación de la dinámica del escurrimiento, los procesos más relevantes, el régimen hídrico de los mismos y su relación con el tipo de suelo también debe ser integral. En este punto es que la carta hidrogeomorfológica combina en un solo mapa las distintas formas de escurrimiento y las condiciones que las dominan (ITC, 1980; Marini, 2002; Mikkan, 2007). Permite establecer las condiciones del escurrimiento en una cuenca, derivadas de las combinaciones de los diferentes procesos que definen un comportamiento hidrológico una cuenca hidrográfica. Se torna de esta manera en una herramienta indispensable para la interpretación visual y espacial del comportamiento hidrológico (Tricart, 1965; Capitanelli, 1998).

Los mapas de peligrosidad de crecidas constituyen una herramienta eficaz de información y una base adecuada para el establecimiento de prioridades y la toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política relativa a la gestión del riesgo de inundación. Díez Herrero *et al.* (2006; 2008) explican que el análisis de la peligrosidad de inundaciones se realiza empleando de forma combinada y complementaria una serie de técnicas y procedimientos que, a grandes rasgos, pueden agruparse en tres aproximaciones metodológicas: métodos históricos, métodos geológicos-geomorfológicos y métodos hidrológicos (Etxeberria Ramírez *et al.*, 2002; Díez Herrero *et al.*, 2006; Díez Herrero *et al.*, 2008; Pérez Morales, 2012).

Los *métodos históricos* se emplean para reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada por las aguas durante una crecida desencadenada en el período histórico. Los *métodos geológicos-geomorfológicos* emplean la disposición y tipología de las formas de terreno y los depósitos generados durante o tras un evento de crecidas. Con ello se pueden delimitar las áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes y por tanto susceptibles de ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial. Los *métodos hidrológicos* tienen como objetivo estimar caudales generados en una cuenca o corriente y el cálculo de velocidades medias que circula por un determinado tramo fluvial (Díez Herrero *et al.*, 2008).

Existen distintos tipos de mapas de peligrosidad por ejemplo: mapas de áreas inundadas en una determinada inundación; mapas de áreas potencialmente inundables, mapas de áreas o puntos anegados durante inundaciones históricas, entre otros. Es importante considerar dentro de las variables a representar la exposición, la vulnerabilidad social y económica tanto individual como colectiva (Díez Herrero *et al.* 2006; Montecelos Zamora *et al.*, 2011; Olcina Cantos, 2012).

2.5 La peligrosidad de crecidas y sus consecuencias en el medio físico y social

Los riesgos ambientales han sido siempre desarrollados por las ciencias naturales. Desde las ciencias sociales Natenzon *et al.* (2005 a) aportó la teoría social del riesgo para la caracterización de la vulnerabilidad social frente a riesgos de origen natural y tecnológico. Para abordar el análisis de situaciones catastróficas parte de considerarlas como un problema complejo. Utilizar como marco esta teoría implica ampliar el campo de análisis en el que habitualmente solo se pone énfasis en los aspectos físicos desencadenantes y en la magnitud del daño producido. El hecho de conceptualizar el

riesgo en los términos mencionados permite dar cuenta de otras dimensiones que hacen a la complejidad de la problemática en cuestión. Según esta autora existen cuatro dimensiones del riesgo: la peligrosidad, la vulnerabilidad, la exposición y la incertidumbre.

La **peligrosidad** hace referencia al potencial peligro que tienen los fenómenos naturales, potencial inherente al fenómeno mismo, sea cual sea el grado de artificialidad.

La **vulnerabilidad** está definida por las condiciones socioeconómicas previas a la ocurrencia del evento catastrófico en tanto a la capacidad diferenciada de hacerle frente. Los niveles de organización e institucionalización de los planes de mitigación son un componente central de la vulnerabilidad.

La **exposición** se refiere a la distribución de los que es potencialmente afectable, la población y los bienes materiales “expuestos” al fenómeno peligroso. Es una consecuencia de la interrelación entre peligrosidad-vulnerabilidad y a la vez incide sobre ambas.

La **incertidumbre** se relaciona con las limitaciones en el estado del conocimiento y las indeterminaciones en cuanto a competencias institucionales y aspectos normativas. Al mismo tiempo estas limitaciones y la complejidad del fenómeno en cuestión impiden el manejo de la totalidad de las variables involucradas impregnando de incertidumbre el proceso de toma de decisiones.

Las crecidas tienen efectos sobre el medio natural y sobre la población. Las principales consecuencias según Ollero Ojeda (1997) y Díez Herrero *et al.* (2008) en el medio abiótico son:

- La activación de procesos de vertientes en la cuenca como resultado de las fuertes precipitaciones.
- La movilización de gran cantidad de sedimentos desde la cabecera de la cuenca.
- Aceleración en los cauces de los procesos de erosión, transporte y sedimentación.
- Acumulaciones de gravas, inicios de nuevos cauces, encharcamientos, profundos socavones, corrimientos de tierras, arranque de árboles, elevación de diques naturales de ramas y materiales arrastrados, etc.
- Variaciones en la geometría y trazado de cauces, desde la migración lateral hasta la consecución de cortas y aperturas de nuevos cauces por desbordamiento de *levées* o diques naturales.

En el medio biótico las consecuencias están asociadas a la muerte y arrastre de seres vivos (animales y vegetales), siendo un proceso de gran importancia en el control demográfico de muchas especies. Las crecidas renuevan el ambiente fluvial y los hábitats, favoreciendo la regeneración de los ecosistemas. Constituye fenómenos físicos y socioeconómicos que afectan las actividades humanas. Si bien en ciertas ocasiones presentan consecuencias positivas como por ejemplo: el incremento de la fertilidad del suelo, la limpieza de cauces, la renovación de aguas estancadas, la renovación de acuíferos aprovechables o el riego con aguas de avenida en zonas deficitarias. Sin embargo, las consecuencias en su mayor parte son negativas y pueden estructurarse en tres bloques:

- Daños en infraestructuras: vías de comunicación, sistemas de telecomunicación, viviendas, instalaciones industriales, edificaciones agrícolas, puentes, defensas,

presas, azudes, estaciones de aforo, redes de agua potable, conducciones enterradas, aterramiento de embalses, canales y acequias, etc.

- Repercusiones en actividades humanas: paralización de actividad por la crecida (corte de comunicaciones y energía), pérdidas económicas directas e indirectas en el sector privado y en el público, gastos económicos en reparaciones, limpieza general y ayudas de emergencia, incremento del paro y retroceso de la prosperidad general, conflictos de propiedad, efectos psicológicos y sociológicos (percepción individual y colectiva del riesgo), epidemias y problemas de salud pública por expansión de contaminantes, corte del agua potable, falta de abastecimiento, aguas estancadas, etc.
- Pérdida de vidas humanas, tanto directa como indirectamente.

2.5.1 La conceptualización del término *crecidas* aplicado a la peligrosidad

Los sistemas fluviales poseen un comportamiento hidrológico normal representado por el régimen estacional y presentan comportamiento extremos ya sea por el volumen del caudal (crecidas o estiajes) o por su frecuencia. Para la definición de la peligrosidad de crecidas en ordenamiento territorial es fundamental conocer qué se entiende por crecida, inundación y anegamiento. En la tabla 2.1 se pueden observar distintas definiciones de los conceptos mencionados anteriormente.

Autor	Definición de crecida	Definición de inundación	Definición de anegamiento
	<i>(flash flood)</i>	<i>(flood)</i>	
Fuschini Mejía (1994)	-----	Se produce cuando los cursos o ríos de llanura reciben aguas de sus nacientes y la crecida consiguiente se traslada hacia aguas abajo superando los bordes de la sección transversal y extendiéndose por los campos adyacentes.	Un anegamiento es la acumulación temporal de agua de lluvia en un determinado sector. Factores como la saturación o impermeabilización del suelo y microrelieves que obstaculizan el escurrimiento provocan la acumulación en sectores donde esta no puede escurrirse ni infiltrarse.
Ollero Ojeda (1997)	Es un proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales, constituido por un incremento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial.	Corresponde a una masa de agua que desborda su cauce natural. Es una consecuencia derivada de procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado a condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificiales, colectores urbanos, etc.	-----

<p>Organización Meteorológica Mundial (2006;2011)</p>	<p>Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad.</p> <p>Son producto de fuertes lluvias con respuesta rápida en cuencas pequeñas. Se producen dentro de las 6 horas después de las fuertes lluvias.</p>	<p>El desborde del agua fuera de los confines normales de un río o inundación por agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas.</p>	<p>Zona cubierta de agua cuando el caudal excede la capacidad del cauce, o como consecuencia de precipitaciones excesivas.</p>
<p>Díez Herrero et al. (2008)</p>	<p>Episodios temporales con caudales anormalmente altos que de manera periódica o excepcional registra un punto o tramo de la corriente</p>	<p>Acción y efecto de inundar, es decir cubrir los terrenos y poblaciones, implica la sumersión temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia del aporte inusual y repentino de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada. Se pueden clasificar en diferentes tipos de acuerdo a: lugar geográfico donde se producen (terrestres o costeras); causa general que las produce (naturales o antrópicas); el agua que la produce (dulce o marina); según el origen y la tipología de las precipitaciones (frontales, convectivas u orográficas); según estación del año (estivales, invernales, etc.).</p>	<p>-----</p>
<p>National Weather Service (2012)</p>	<p>Son causadas por fuertes lluvias en un corto período de tiempo, generalmente menos de 6 horas. Suelen caracterizarse por su poder erosivo. También pueden producirse por causas antrópicas como por ejemplo la rotura de un dique.</p>	<p>Desborde de agua sobre tierra normalmente seca causada por el aumento de agua en una vía existente, como un río, un arroyo o canal de desagüe. Se caracteriza por ser un evento que puede durar días o semanas.</p>	<p>-----</p>

Tabla 2.1. Definiciones de crecidas, inundaciones y anegamientos.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de: Fuschini Mejía, 1994; Ollera Ojeda, 1997; Organización Meteorológica Mundial, 2006; 2011; Díez Herrero *et al.*, 2008; National Weather Service, 2012

En esta tesis se utilizará el término crecidas diferenciándolas en ordinarias o extraordinarias de acuerdo al tiempo de recurrencia. El concepto de crecida ordinaria hace referencia a aquella crecida que desborda el cauce y se establece estadísticamente asociándola a la frecuencia de aparición del caudal máximo. Para definir el concepto se

tomó como base a Remenieras (1974) y Ollero Ojeda (1997). Estas crecidas máximas suelen presentarse entre 2 y 7 años en regímenes no alterados y determinan el umbral a partir del cual los cauces se desbordan y el agua ocupa las márgenes de la llanura de inundación. Las máximas crecidas extraordinarias se definen en función de un tiempo de retorno de 50 años.

Desde la geomorfología fluvial es importante conocer las causas, intensidad, propagación, evolución y frecuencia de las crecidas ya que suelen asociarse con importantes modificaciones morfológicas. Su estudio presenta dos enfoques complementarios: 1) el hidrológico que estima caudales y/o su distribución temporal y 2) el geológico cuya finalidad es determinar efectos geomorfológicos y sedimentológicos. El enfoque geográfico complementa los anteriores dado que al considerar a las crecidas como un riesgo natural que afecta al sistema social permite integrar las características físicas (geomorfológicas e hidrográficas) con las de índole humana representando los resultados más importantes en cartografía aplicada a través de Sistemas de Información Geográfica (Frécaut, 1972; Remenieras, 1974; Díez Herrero *et al.*, 2006; Gil, 2010).

2.6 La Gestión Integrada de Crecidas (GIC)

La Gestión Integrada de Crecidas es una propuesta de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2009) que se basa en el concepto de cuenca fluvial como un sistema dinámico con muchas interacciones e intercambios entre los medios hidrológicos y la tierra. Tiene como finalidad maximizar los beneficios netos de las planicies de inundación y minimizar la pérdida causada por las crecidas (Fig. 2.6). Los objetivos de este modelo son:

- Adoptar un enfoque centrado en la cuenca para la gestión de crecidas incorporando un enfoque multidisciplinar (Gestión de los recursos hídricos)
- Reducir la vulnerabilidad y los riesgos debidos a las inundaciones (Gestión del riesgo y ordenación de las zonas de ribera)
- Fomentar la participación de la comunidad
- Preservar los ecosistemas

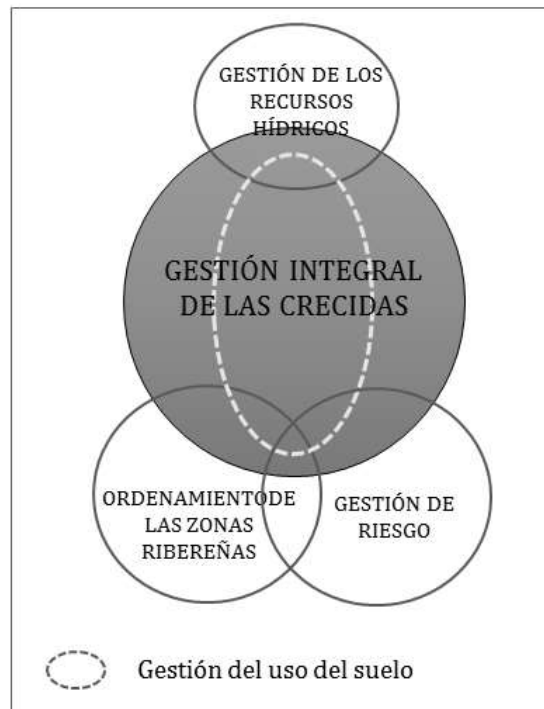


Figura 2.6 Modelo de Gestión Integral de Crecidas.

Fuente: modificado por Volonté sobre la base de Organización Meteorológica Mundial (2006)

Este enfoque se basa en la importancia que tiene la participación social. Se integran diferentes instituciones y se mejora el funcionamiento de una cuenca fluvial en su conjunto. Se trabaja con medidas y objetivos a corto y a largo plazo, planificando los usos de las llanuras de inundación y espacios ribereños. Permite adoptar una combinación óptima de estrategias conformes a factores como el clima, las características de la cuenca y las condiciones socioeconómicas. Desde el tratamiento de la peligrosidad de las crecidas se pueden combinar distintas medidas que colaboren en disminuir las consecuencias de estos eventos además de la generación de cartografía específica (Díez Herrero *et al.*, 2006; OMM, 2006; Díez Herrero *et al.*, 2009). Entre estas medidas se destacan:

- ❖ La reglamentación del uso del suelo

Esta desempeña una función importante en la gestión de cuencas y en la reducción de los riesgos debidos a inundaciones. El cambio en el uso de la tierra, debido en particular a la urbanización, tiene repercusiones significativas en la magnitud y periodicidad de las crecidas. En las cuencas pequeñas aumenta el “caudal pico” de crecida debido a la reducción de la infiltración; reduce el tiempo de concentración y acorta la duración de la crecida. La llanura de inundación, como parte esencial del corredor fluvial, ofrece posibilidades a diferentes actividades económicas. Los efectos negativos de las crecidas pueden reducirse por medio de reglamentos y en ocasiones la prohibición de ciertas actividades y nuevos proyectos de desarrollo en las zonas de alta peligrosidad. Estos reglamentos pueden presentarse en forma de normas del uso de la tierra, reglamentos de parcelamiento, códigos de construcción, políticas de desarrollo y repartición de costos mediante rectificación de impuestos, etc. La elaboración de cartografía sobre la

peligrosidad de crecidas es un requisito previo esencial para elaborar una reglamentación del uso del suelo.

❖ La protección contra inundaciones/crecidas

En aquellos lugares en los que la magnitud del desarrollo actual es considerable, se puede implementar estrategias alternativas como la protección contra inundaciones de los elementos situados en la zona inundable. Consiste en una combinación de medidas no estructurales y estructurales secundarias a largo plazo, así como también de medidas de emergencia, es importante no sólo para reducir los daños causados por la inundación, sino también para prevenir efectos negativos en el medio ambiente como la difusión de contaminantes. Incluye la prestación de servicios de drenaje rápido como la limpieza de canales de desagüe primario y secundario y de obras de drenaje transversal obstruidas, antes del comienzo de la temporada de inundaciones. Las medidas de protección contra inundaciones incluyen, entre otras, la evacuación de bienes, equipos y productos químicos industriales, agrícolas y domésticos peligrosos, fuera de la zona inundable o fuera del contacto con las aguas de la crecida, construyendo diques en terrenos elevados o pequeñas obras de contención.

❖ La preparación, respuesta y recuperación en casos de emergencia

El elemento esencial en la reducción de daños producidos por las crecidas es la preparación y respuesta en casos de emergencia. Se debe mejorar y mantener la sensibilización de la comunidad al peligro de crecidas. Esto es esencial para organizar una evacuación coordinada de la zona afectada y mantener condiciones saludables e higiénicas en las zonas inundadas. La información sobre las rutas de evacuación, la identificación de los refugios de emergencia y otras acciones debe estar de antemano a disposición de todos los afectados. Después de una crecida, las operaciones de limpieza se realizan en situación de emergencia y por ello, puede que se preste poca atención a la descarga de la basura y los escombros. Si no se planificó éstos pueden terminar en los canales de drenaje, ríos, lo cual tiene repercusiones en los ecosistemas naturales. Estas operaciones de limpieza requieren una atención especial en la fase posterior de recuperación para evitar los efectos negativos a largo plazo.

Para el desarrollo de esta tesis se considera que el mejor método de análisis de la peligrosidad de crecidas es el que combina métodos geomorfológicos, históricos e hidrológico-hidráulicos. El análisis geomorfológico ofrece una visión basada en evidencias reales las cuales permiten zonificar la llanura aluvial según las diferentes actividades a las que están sometidas y, en consecuencia, según la frecuencia relativa de las crecidas. Además tiene en cuenta aspectos como los efectos de la carga sólida así como la posibilidad del cambio de trazado del cauce principal.

La aplicación del modelo de GIC en la cuenca del arroyo San Bernardo permite abordar la problemática de una manera integral como es propio de la ciencia geográfica. La localidad de Sierra de la Ventana carece de un plan de manejo de crecidas y la aplicación del modelo en el desarrollo de las propuestas de esta tesis es el primer paso para su divulgación en los organismos correspondientes y su posterior desarrollo e implementación.

CAPÍTULO 3
MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presenta el enfoque metodológico abordado en la investigación. Se explican los métodos y técnicas utilizados para la concreción de los objetivos propuestos. Se describe el instrumental empleado en las actividades de campo. La elección del enfoque metodológico es el primer paso para definir de qué manera se obtendrán los datos, como serán analizados e interpretados. Grinnell (1997) señala que tanto el enfoque cuantitativo como el cualitativo utilizan fases similares y relacionadas entre sí para desarrollar el proceso de investigación.

La combinación de ambos enfoques posibilita obtener mejores resultados en la investigación. Por un lado el enfoque cuantitativo permite generalizar los resultados y comparar los fenómenos estudiados con casos similares y por el otro el enfoque cualitativo proporciona profundidad en la información y la contextualiza. Es por esto que para el desarrollo de esta tesis se seleccionó el enfoque mixto (Hernández Sampieri *et al.*, 2006) donde se combina el análisis y la síntesis, de modo tal que se suceden a lo largo de su desarrollo procesos sintéticos (capítulos 1 al 3) y analíticos (capítulos 4 al 8). Para concretar los objetivos planteados fueron necesarios diferentes técnicas y métodos (cualitativos y cuantitativos) así como la recopilación de información básica con diversas procedencias y formatos.

3.1 Metodología específica para el tratamiento de la peligrosidad

De acuerdo a Díez Herrero *et al.* (2008) la mejor manera de realizar el análisis de la peligrosidad de crecidas es combinando métodos biogeográficos, geomorfológicos, históricos e hidrográficos integrando los resultados en un Sistema de Información Geográfica (Fig. 3.1). La geomorfología ofrece una visión basada en evidencias reales las cuales permiten zonificar la llanura de inundación y tener en cuenta aspectos que exceden a la parte hidrográfica como lo son los efectos de la carga sedimentaria de fondo y los cambios en el trazado del cauce principal. Esto combinado con métodos históricos sobre inundaciones o crecidas posibilita realizar validaciones y así los resultados adquieren mayor viabilidad. Los métodos hidrográficos permiten estimar caudales, delimitar la profundidad y velocidad de la corriente de agua, ya sea a través de un análisis estadístico de los datos como realizando modelos y/o estimándolo. El aporte que realizan los métodos biogeográficos está asociados a la distribución de la vegetación y a las características y funciones de la vegetación ribereña (Marquínez *et al.*, 2006; Díez Herrero *et al.*, 2008). Estos grandes grupos de métodos no son excluyentes, al contrario, se recomienda aplicarlos de manera integrada y complementaria.

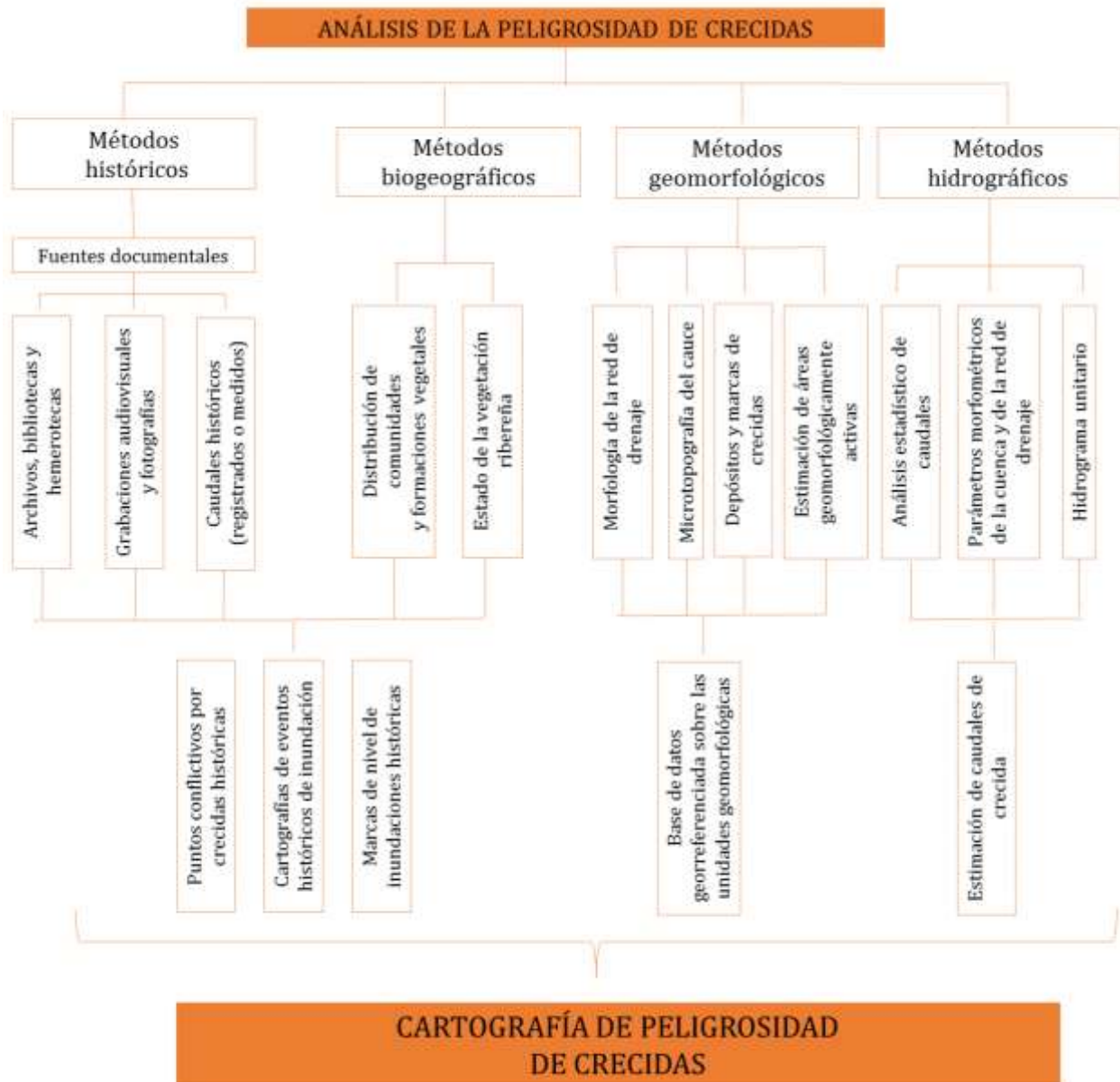


Figura 3.1 Métodos utilizados en el análisis de la peligrosidad de crecidas.
Fuente: modificado por Volonté sobre la base de Díez Herrero *et al.*, 2008.

3.2 Métodos y técnicas utilizados

3.2.1 Información bibliográfica y cartográfica

En primer lugar se recopiló información bibliográfica, cartográfica y fotográfica relacionada con el tema de investigación propuesto así como de la zona de estudio donde se enmarca la cuenca. Para la búsqueda y revisión bibliográfica se recurrió a la consulta de las bases de datos de distintas bibliotecas públicas de Bahía Blanca y la región.

Se consultaron publicaciones periódicas de revistas especializadas en geomorfología, hidrografía, geología, hidrología y geografía tanto nacionales como internacionales. La consulta de bases documentales en internet fue de suma importancia para completar el relevamiento de información en constante actualización. Se realizó también un seguimiento en la prensa local: La Nueva Provincia; Noticias Tornquist; Tornquist Distrital, entre otros, para apreciar la repercusión de los eventos extremos de precipitación tuvieron en la población. Los documentos cartográficos utilizados fueron las cartas topográficas de Sierra de la Ventana y Saldungaray a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional¹.

Se obtuvieron los *shape files* (.shp) del área de estudio a escala 1:250.000 del sitio web del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (<http://www.ign.gob.ar/sig#descarga>) y de la Subsecretaría de Coordinación Económica, Dirección Provincial de Estadística (<http://www.ec.gba.gov.ar/estadistica/censo2010/cartografia.html>). Las fotografías aéreas utilizadas para realizar fotointerpretación fueron proporcionadas por la Dirección de Geodesia de la provincia de Buenos Aires y corresponden al año 1981, escala 1:20.000. Se utilizaron imágenes satelitales del satélite LANDSAT 8 OLI (Path 225 Row 86) las cuales poseen una calibración radiométrica y geométrica previa, obtenidas del sitio web del Servicio Geológico de Estados Unidos (United States Geological Survey - <http://earthexplorer.usgs.gov>) y las proporcionadas por Google Earth Pro®.

3.2.2 Sistemas de Información Geográfica y Cartografía Temática

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) tiene como objeto la comprensión y análisis de datos espaciales georreferenciados. Su fin último es ayudar a las diversas actividades humanas donde los datos espaciales tienen un papel determinante. Los SIG son utilizados para la gestión, análisis y visualización del conocimiento geográfico que se estructura en diferentes conjuntos de información. Estos se han convertido en el principal medio para realizar un análisis socio-espacial con el fin de proveer caminos de solución a problemáticas concretas que demandan de la gestión y planificación territorial (Moreno Jiménez, 2008; Buzai, 2013).

En el desarrollo de esta tesis se utilizó el software SIG ArcGIS® 10.1 con el objeto de facilitar el manejo de información, agilizar los cálculos y elaborar cartografía temática. Se digitalizaron las curvas de nivel, puntos acotados y elementos antrópogenicos de las cartas topográficas anteriormente mencionadas (Fig. 3.1). Se obtuvieron 45 imágenes desde Google Earth Pro® (altura del ojo: 3 km) las cuales fueron georreferenciadas en ArcGIS® y se elaboró el mosaico en el cual se digitalizaron distintas variables como por ejemplo unidades geomorfológicas, red hidrográfica, rutas y caminos. El mosaico se utilizó también como base para la carta hidrogeomorfológica (Fig. 3.2).

¹ El 14 de mayo de 2009 mediante el Decreto 554 se sustituyó la denominación del Instituto Geográfico Militar por la de Instituto Geográfico Nacional.

INFORMACION DIGITAL	FUENTE	ESCALA
Límite de la cuenca	Carta Topográfica (IGN)	1:50.000
Vías de comunicación	Shapes obtenidos del IGN y de la Subsecretaría de Coordinación Económica (Gobierno de Buenos Aires)	1:50.000
Elementos topográficos	Carta topográfica (IGN)	1:50.000
Elementos morfoestructurales	Fotografías aéreas	1:20.000
	Mosaico Google Earth Pro®	1:1.400
Áreas fitogeográficas	Mosaico Google Earth Pro®	1:1.400
Elementos antrópicos puntuales	Mosaico Google Earth Pro®	1:1.400
Red de drenaje	Mosaico Google Earth Pro®	1:1.400

Tabla 3.1 Información digitalizada sobre la base de distintas fuentes.
Fuente: elaborado por Volonté

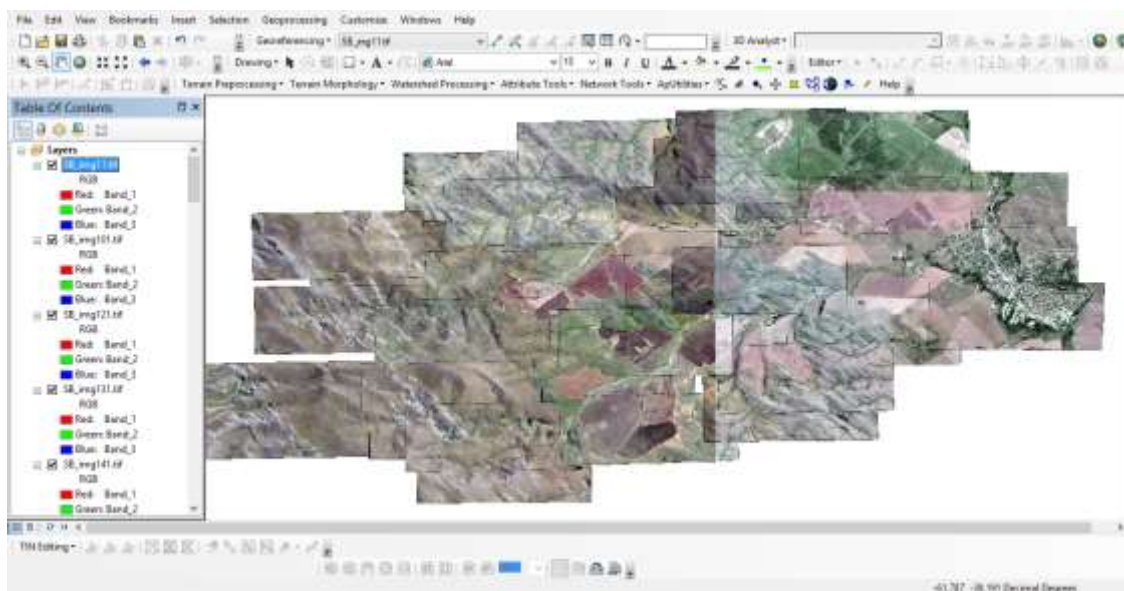


Figura 3.2 Mosaico elaborado a partir de imágenes georreferenciadas obtenidas de Google Earth Pro ®. Fuente: elaborado por Volonté

La red hidrográfica se digitalizó siguiendo la propuesta de Strahler (1974) con el fin de posibilitar y facilitar la comparación de resultados y contrastación de conclusiones. La misma consiste en asignar el orden 1 a todos los segmentos de cauce iniciales de la red de drenaje. Cuando dos cauces de igual número de orden confluyen en un tercero, a este último le corresponde el número de orden inmediato superior. En el caso en que un curso de orden inferior confluye en uno de orden superior, este último mantiene su número de orden (Fig. 3.3).

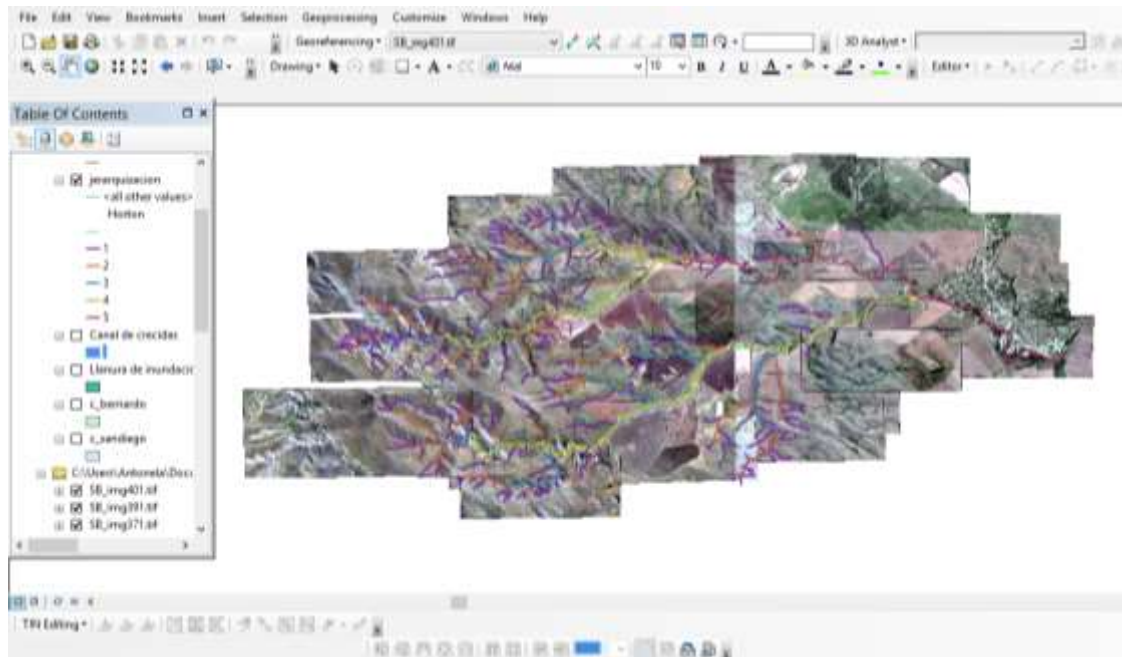


Figura 3.3 Jerarquización sobre el mosaico de imágenes según Strahler (1974).

Fuente: elaborado por Volonté

3.2.3. Imágenes satelitales aplicadas al análisis de la vegetación

Los pre-procesamientos de la imagen satelital consistieron en convertir los valores de cada pixel (Número Digital) a un valor radiométrico para eliminar el ruido que generan los propios sensores (Chander *et al.*, 2009; Chuvieco, 2010). A partir de dichos valores se realizó la corrección atmosférica de las bandas del visible y el infrarrojo cercano utilizando el método de sustracción de objetos oscuros (Chávez, 1989). Este método postula que los efectos atmosféricos sobre la radiación solar aumentan los valores de ND en áreas de agua limpia, profunda y calma, las cuales por sus características físicas deberían presentar valores de reflectancia próximos a cero. Para lograr la corrección atmosférica se sustrae en cada banda la diferencia entre el valor teórico y el almacenado por el sensor de dichas áreas de la imagen

Para ello se utilizó el módulo SCP v 4.0 (*Semi-Automatic Classification Pluggin*) del software libre QGIS 2.8.3. El mismo permite la corrección atmosférica de todas las bandas del Landsat de manera automática mediante el método de corrección atmosférica DOS. Como se puede observar en la figura 3.4 los requerimientos para dicha corrección es el directorio original donde se encuentran todas las bandas y el archivo de metadatos de la imagen, normalmente con extensión MTL. Para aplicar el método de corrección se utilizó la herramienta *Apply DOS1 atmospheric correction*.

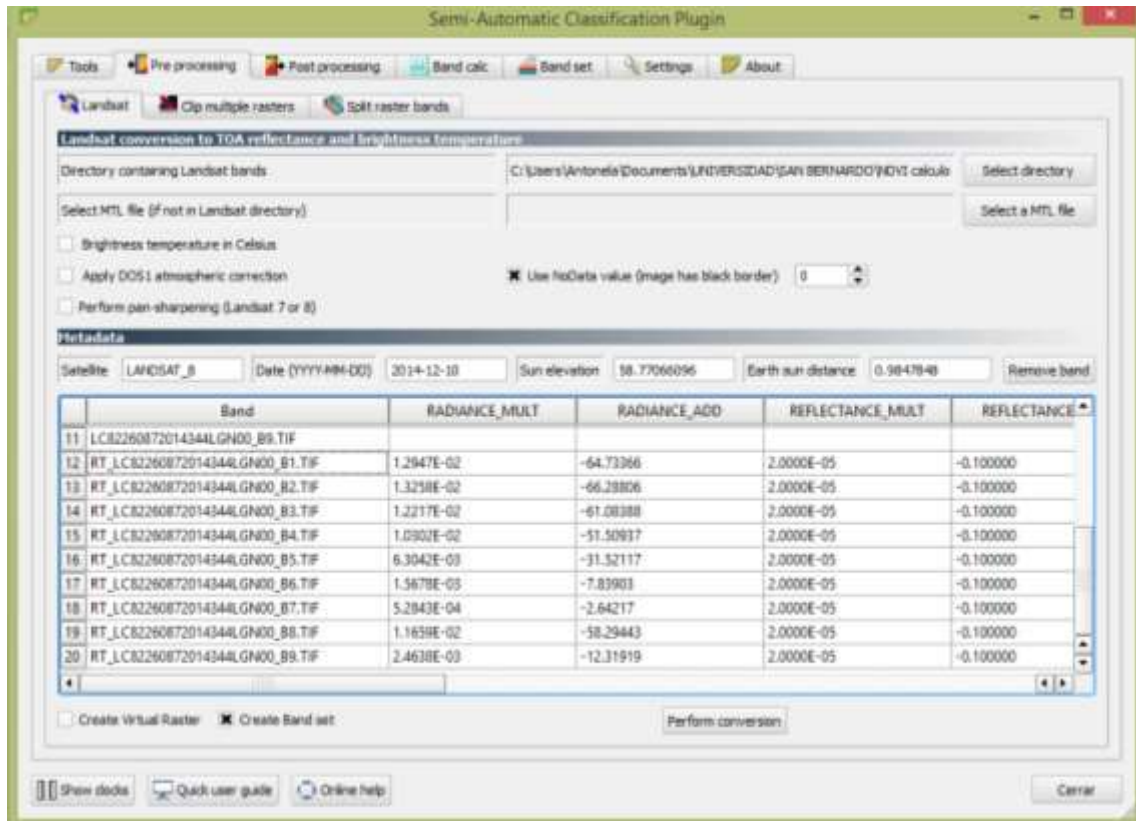


Figura 3.4 Visor del SCP v 4.0

Fuente: Volonté

Con posterioridad a la corrección atmosférica se calculó el Índice de Vegetación Estandarizado (NDVI) que permite conocer la calidad y la cantidad de la vegetación que se encuentra en el área de estudio. Para su cálculo son necesarias las bandas 4 y 5 del Landsat 8 OLI en reflectancia corregida atmosféricamente. Los valores obtenidos varían entre -1 y 1 siendo los menores valores aquellos que presenten menor vegetación y el caso opuesto para los valores más altos. El cálculo se realizó utilizando el QGIS 2.8.3 según la siguiente fórmula (1):

$$NDVI = \frac{\text{(banda 4 - banda 3)}}{\text{(banda 4 + banda 3)}} \quad (1)$$

Las imágenes satelitales LANDASAT son multiespectrales lo cual brinda la posibilidad de combinar las distintas bandas en función de lo que se quiera resaltar. Se combinaron las bandas correspondientes al Infrarrojo de Onda Corta, el Infrarrojo Cercano y la Banda Roja (Tabla 3.2). Esta combinación es recomendada para distinguir áreas vegetadas de suelo desnudo y el vigor de esa vegetación (Ariza, 2013).

Bandas espectrales de OLI	Longitud de onda (μm)	Resolución (metros)
Banda 4 - Rojo	0,630 - 0,680	30
Banda 5 - Infrarrojo Cercano	0,845 - 0,885	30
Banda 6 - SWIR 1	1,560 - 1,660	30

Tabla 3.2 Características de las bandas espectrales utilizadas en la combinación.
Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de USGS (2013).

3.2.4 Análisis estadísticos de datos climáticos e hidrométricos oficiales

Los datos correspondientes a caudales para el periodo 1937-1946 fueron obtenidos del anuario Hidrológico de la Dirección General de Agua y Energía Eléctrica. Con respecto a los datos climáticos, los datos oficiales son escasos y solo se cuenta con las estadísticas meteorológicas de los periodos 1961-1970 y 1971-1980. Los datos para realizar la caracterización regional de precipitación y temperatura fueron obtenidos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina. Se realizó el análisis de las precipitaciones medias anuales y mensuales.

Se utilizaron las imágenes NEFO provistas por el Servicio Meteorológico Nacional para analizar aspectos meteorológicos y condiciones de precipitación extrema o diferentes estados de tiempo que suceden en el área de estudio. Los registros de los diferentes elementos climáticos se analizaron con métodos estadísticos estándar.

3.2.5 Análisis de la red de drenaje

Morfometría

La morfometría pretende hallar parámetros e índices que sirvan para caracterizar un ambiente geomorfológico y que además, sean susceptibles de un tratamiento estadístico o matemático que permita disminuir la influencia de la subjetividad en las conclusiones que se deriven de estos (Senciales González, 1999). En particular, la morfometría de cuencas de drenaje ha reunido un conjunto numeroso de parámetros e índices que representan propiedades inherentes al sistema fluvial. Horton (1945), Schumm (1963) y Strahler (1964; 1964) fueron pioneros en la caracterización cuantitativa de cuencas.

Los parámetros denominados de medición directa (Jardí, 1985) son aquellos que se obtienen directamente desde la cartografía base. Para la cuenca del arroyo San Bernardo se obtuvieron: altura máxima, mínima y media los cuales sirvieron luego para calcular los diferentes índices. Aquellos obtenidos a partir de la red de drenaje fueron: número de orden, número de segmentos de orden u, número total de segmentos, longitud de cada segmento de orden u (km), longitud total de la red de drenaje (km), longitud del cauce principal (km), área de la cuenca total (km^2), área de las sub-cuencas de cada segmento de orden u (km^2).

La morfometría de una cuenca hidrográfica serrana desempeña un papel fundamental en el estudio y comportamiento de los componentes del ciclo hidrológico. En

el caso que la cuenca no se encuentre aforada, como sucede con la cuenca objeto de estudio, el análisis morfométrico es de gran importancia porque permite comprender e interpretar el comportamiento morfodinámico e hidrológico, como así también inferir de manera indirecta y cualitativa características y formas de los hidrogramas resultantes de eventos de crecidas. También permiten analizar y comprender los elementos geométricos básicos del sistema, que ante la presencia de una precipitación externa interactúan para originar y/o activar procesos geomorfológicos (Méndez y Marcucci, 2006). Algunos índices son requeridos como datos de entrada en la mayoría de los modelos hidrológicos para el análisis de las características morfológicas y funcionales, para un potencial ordenamiento territorial. En la cuenca del arroyo San Bernardo se emplearon los siguientes índices ya que son los que mejor se ajustan a la temática. A partir de ellos se extrajeron conclusiones y se las relacionó con las crecidas (Tabla 3.3).

NOMBRE	FÓRMULA	DEFINICIÓN
Razón de bifurcación (R_b) (Horton, 1945)	$Nu/Nu + 1$	Nu=número de cauces de orden u R _b =Es la proporción existente entre el número de segmentos de un orden dado y los del orden inmediato superior.
Razón de longitud (R_l) (Horton, 1945)	$Lu/Lu - 1$	Lu=longitud de los cauces de un orden dado R _l =La proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado y la de los segmentos del orden inmediato inferior.
Relación de superficie (R_s)	$Au/Au-1$	Au=área media acumulada de orden u Au-1=área media acumulada de orden u-1 R _s = Superficie ocupada por los segmentos de cauce de cada orden.
Razón de elongación (R_e) Schumm (1956)	$1,129*(\sqrt{A/l})$	A= área de la cuenca l= longitud del cauce principal R _e =Es la razón entre el diámetro de un círculo con la misma área que la cuenca y la longitud del cauce principal.
Densidad de drenaje (Dd) Horton (1932)	Lt/A	Lt=Longitudes totales de los cauces de todos los órdenes A=área de la cuenca Dd=Es la relación existente entre la suma de las longitudes totales de los cauces de todos los órdenes y el área de la cuenca. La unidad es km/km ²
Índice de frecuencia (I_f)	Nl/A	Nl=Número de cursos de orden 1 A=área de la cuenca

Strahler (1964)		I_f =Es la relación entre el número de cursos de orden 1 y el área de la cuenca.
Coefficiente de torrencialidad (C_t)	$Dd*(Nl/A)$	Dd=densidad de drenaje Nl=número de cursos de orden 1 A=área de la cuenca C_t =es el cociente entre el número de cursos de primer orden y la superficie de la cuenca en km^2 multiplicado por la densidad de la red de drenaje.

Tabla 3.3. Índices morfométricos.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Horton (1932; 1945); Schumm (1956) y Strahler (1964).

Morfología

El análisis morfológico está centrado principalmente en la caracterización de la tipología de las redes de drenaje a partir de su análisis en planta (Senciales González, 1999). Teniendo en cuenta la geometría en planta de un río es posible definir tipologías de cauce que son la base para estudios morfodinámicos y sedimentológicos posteriores. Esta es función principalmente del régimen fluvial y de la carga sedimentaria a lo largo del tiempo (King, 1984; Morisawa, 1985 a; Leopold *et al.*, 1995; Pedraza Gilsanz, 1996; Charlton, 2008).

El cauce es el principal elemento constitutivo y punto de origen de la red de drenaje. En esta tesis se considera el criterio de Pedraza Gilsanz (1996) quien asume que el cauce comprende el canal más la llanura de inundación (Fig. 3.5). También Senciales González (1999) explica que un cauce debe dar origen a una arroyada concentrada con una profundidad mayor a 30 cm y continúa a lo largo de más de 20 m.

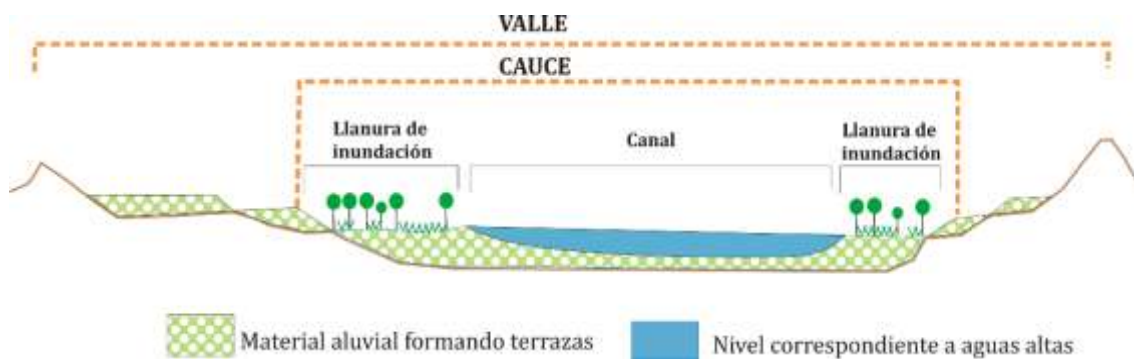


Figura 3.5 Componentes del cauce.

Fuente: modificado por Volonté sobre la base de Pedraza Gilsanz (1996)

Para la clasificación de la geometría del cauce se utilizará el método propuesto por Rust (1978). Esta tipología se basa en el índice de sinuosidad y la división de los canales del cauce principal o del tramo considerado. Mediante este índice se determina si el río es recto, sinuoso, meandriforme, entrelazado (*braided*) o anastomosado (Tabla 3.4).

Para el cálculo de la sinuosidad se utiliza el Índice de Sinuosidad Hidráulica (ISH) dado que es el más apropiado para el análisis morfométrico. Se obtiene del cociente entre

la longitud del cauce principal (LC) y la longitud media del valle (LV). El parámetro de *braiding* se calcula a partir del número de barras o islas presentes en el canal (Senciales González, 1999).

	Multiplicidad	Canal sencillo	Canal múltiple
Sinuosidad		<i>(Parámetro de braiding < 1)</i>	<i>(Parámetro de braiding > 1)</i>
Baja <1,5		RECTILINEO	BRAIDED
Alta > 1,5		MEANDRIFORME	ANASTOMOSADO

Tabla 3.4. Tipología de ríos en función de la sinuosidad.
Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Rust (1978)

La determinación del diseño de drenaje se realizó según la propuesta de Howard (1967). Según este autor existen diversos tipos de redes ante sistemas morfodinámicos diferentes según tengan su origen en causas climáticas, litológicas-estructurales o una combinación de ambas. Para determinar la tipología de la red de drenaje se comparó la geometría de la cuenca del arroyo San Bernardo con las tipologías propuestas por este autor.

Las llanuras de inundación y los meandros aluviales asociados a ellas integran un mismo sistema hidromorfológico. Para que los meandros se desarrollen se requiere de un exceso de energía inicial. Una vez generado el primer meandro, el flujo helicoidal traslada aguas abajo las condiciones para la formación del siguiente y así sucesivamente (Martínez Ferreros, 1992). La identificación de los meandros y sus características es un aporte al conocimiento morfológico del canal principal ya que permite inferir rasgos distintivos de la capacidad de carga del curso como así también particularidades de su dinámica.

Para la identificación de la forma del canal y los meandros se utilizó la cartografía topográfica oficial a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional y fotos aéreas del año 1981 a escala 1:20.000. Para la medición de los parámetros de escala (longitud de arco) y forma (longitud de onda, amplitud, sinuosidad) que caracteriza a cada uno de los meandros se utilizó el mosaico de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth®. El análisis morfológico de los cauces se complementó con una descripción cualitativa y semi-cuantitativa de las formas y procesos propios de los cauces durante períodos de estiaje. Esta es una propuesta de Thorne *et al.* (1996) y Thorne (1998) que consiste en la descripción del valle y su entorno, la caracterización de la llanura de inundación y las relación vertical y lateral con el canal; la descripción del canal, los sedimentos de ambas márgenes y su comparación.

3.2.6 Cálculo del Número de Curva

A fin de elaborar el Hidrograma Unitario Sintético (HUS) se calculó el Número de Curva (CN). Para ello el *Soil Conservation Service* (SCS) desarrolló un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo y para distintas condiciones de humedad antecedente. Para estandarizar estas curvas se definió un número adimensional de curva

CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y de agua $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$ y para superficie sin escurrimiento $CN = 0$. Los números de curva se aplican para condiciones secas (Condición I), para condiciones de humedad normales (Condición II) y condiciones húmedas (Condición III) (Chow *et al.*, 1994).

Para definir el grupo hidrológico del suelo se considera el grado de infiltración, variando desde suelos con un alto grado de infiltración y un bajo potencial de escurrimiento a suelos con muy baja infiltración y, por lo tanto, un alto potencial de escurrimiento. En la tabla 3.5 se puede observar las características generales más importantes para cada grupo hidrológico.

Grupo hidrológico	Potencial de escurrimiento	Grado de infiltración	Suelos típicos	Textura
A	Escaso	Alto (>60 mm/h)	Suelos profundos, bien o excesivamente drenados. Arenas y gravas con poco limo y arcilla, loess.	Arenosa Areno-limosa
B	Moderado	Moderado ($25-40$ mm/h)	Suelos moderadamente profundos, sin barreras físicas importantes. Arenas finas y limos.	Franco arenosa Franca Franco-arcillo Arenosa Franco limosa
C	Medio	Bajo ($10-18$ mm/h)	Suelos con presencia de capas u horizontes que limitan la infiltración y transmisión hídrica.	Franco arcillosa Franco arcillo Limosa Arcillo arenosa
D	Alto	Muy bajo (<10 mm/h)	Suelos someros con una capa freática alta o densificada e impermeable cercana a la superficie.	Arcillosa

Tabla 3.5 Grupos hidrológicos de suelo y características generales de los perfiles que los definen. Fuente: modificado por Volonté sobre la base de USSCS, 1972 y Chow *et al.*, 1994

En la tabla 3.6 se pueden observar los valores de CN para distintos tipo de usos de suelo y cobertura para una Condición Antecedente de Humedad (CAH)² II ya que es la que corresponde al área de estudio por tener precipitaciones anuales entre los 635 y 1.270 mm.

² CAH I: Asociado a áreas con precipitaciones entre 0-635 mm/año.

CAI III: Asociado a áreas con precipitaciones mayores a 1.270 mm/año.

USO DE 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 pastizales con rotación	o Surcos rectos	>1	66	77	85	89
	o Surcos rectos	<1	58	72	81	85
	o Curvas de nivel	>1	64	75	83	85
	o Curvas de nivel	<1	55	69	78	83
Praderas pastizales	o -----	>1	68	79	86	89
	o -----	<1	39	61	74	80
	o Curvas de nivel	>1	47	67	81	88
	o Curvas de nivel	<1	6	35	70	79
Bosque 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	-----	-----	98	98	98	98
Caminos de grava	-----	-----	76	85	89	91

Tabla 3.6 Valores del índice CN para diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación (para Condiciones Antecedentes de Humedad II). Fuente: modificado por Volonté sobre la base de USSCS, 1975 y Chow *et al.*, 1994

3.3 Métodos y técnicas para la obtención de datos en el campo

El trabajo de campo es una estrategia metodológica relevante para la recolección de datos en geografía física. Zusman (2011) considera que esta estrategia no puede ser reducida al momento en que el investigador entra en contacto con los lugares que contribuyen a conformar el cuerpo empírico de la investigación. El trabajo de campo no se restringe al estudio *in situ* sino que adquiere un carácter más amplio, se constituye a través de los distintos ámbitos por los cuales el investigador se va desplazando.

A continuación se describen los métodos y técnicas utilizadas en las diferentes campañas para el desarrollo de esta tesis y cómo fueron abordados los resultados en el trabajo de gabinete.

3.3.1 Hidrometría y aforo con correntómetro

La hidrometría se define como la parte de la hidrología que tiene por objeto medir el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo a través de una sección transversal de flujo (Remenieras, 1974). Dada la escasez de datos hidrográficos para la cuenca se realizaron mediciones a través de aforos directos en distintos puntos del canal principal. La forma de realizar estas mediciones se sustenta en que la velocidad del flujo no es uniforme en la sección transversal del canal por lo cual es necesario realizar medidas de las velocidades en diferentes puntos de la sección. La profundidad del río en la sección transversal se mide en verticales y al mismo tiempo que se mide la profundidad se hacen mediciones de la velocidad en uno o más puntos de la vertical. La medición del ancho, la profundidad y la velocidad permite calcular el caudal correspondiente a cada sub-área de la sección transversal. La suma de los caudales de estos segmentos representa el caudal total.

Para obtener los caudales se seleccionaron secciones de control en las que se tuvo en cuenta la accesibilidad, la estabilidad del lecho y que la sección estuviera ubicada en un tramo libre de turbulencias además de que la velocidad pudiera ser registrada por el correntómetro. Para determinar el área de las secciones transversales se midió el ancho de la corriente con una cinta métrica y las profundidades a cada metro a lo largo de la sección.

Según Chow *et al.* (1994) la velocidad crece desde cero en el lecho a un máximo cerca de la superficie con un valor promedio de alrededor de 0,6 m de la profundidad. Por esta razón los autores proponen medir la velocidad a 0,2 m y 0,8 m de la profundidad cuando esta es mayor a 0,6 m y así promediar las velocidades para obtener las velocidades medias de la sección (Fig. 3.6).

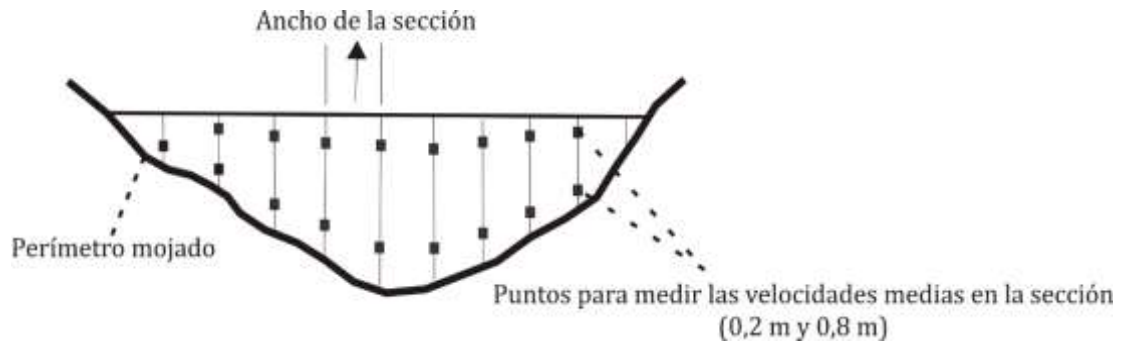


Figura 3.6. Sección transversal para realizar la medición hidrométrica.
Fuente: modificado por Volonté sobre la base de Chow *et al.*, 1994.

Las profundidades se midieron con una vara de un metro graduada cada 10 cm la cual sostiene el molinete (Fig. 3.7). La velocidad media (m/s) se mide en la vertical del aforo y se realiza un promedio de la velocidad en dos verticales consecutivas.

$$V_{\text{media vertical}} = (V_{0.2} + V_{0.8})/2 \quad (2)$$

Para obtener el caudal a partir de los datos del aforamiento se pueden emplear diferentes métodos. En este caso se utilizó el método de la sección media (Belleggia, 2012). Se calcularon los caudales parciales que pasan entre las verticales para luego sumarlos y obtener el caudal total. Se utilizó la fórmula:

$$Q_{2-3} = (D_3 - D_2) * ((h_2 + h_3)/2) * ((v_2 + v_3)/2) \quad (3)$$

Donde:

$(D_3 - D_2)$ = Distancia horizontal (m) de la sección parcial entre las verticales 2 y 3

$(h_2 + h_3)/2$ = promedio de la profundidad (m) en la sección parcial entre las verticales 2 y 3

$(v_2 + v_3)/2$ = velocidad media (m/s) de la sección parcial entre 2 y 3

Para el caso de los bordes se aplica la misma fórmula pero teniendo en cuenta que tanto la altura como la velocidad son cero.



Figura 3.7 Correntómetro TECMES TS 1001 y aforo de un sector del canal principal.

Fuente: fotografía de Volonté (2015)

3.3.2 Perfiles longitudinales y transversales a los cauces

Los perfiles longitudinales posibilitan observar los cambios en la altura y pendiente de una superficie a lo largo de una línea. Se realizaron perfiles longitudinales en el curso principal con el objetivo de resaltar estos cambios. Se utilizó como base el Modelo Digital de Elevación (DEM) con información de las elevaciones a partir de las curvas de nivel digitalizadas de la carta topográfica. Se utilizó la función ArcGIS®10 3D Analyst, esta herramienta permite generar, a partir de una entidad de línea 3D dibujada sobre la superficie, el perfil longitudinal a través de la opción Profile Graph (Fig. 3.8).

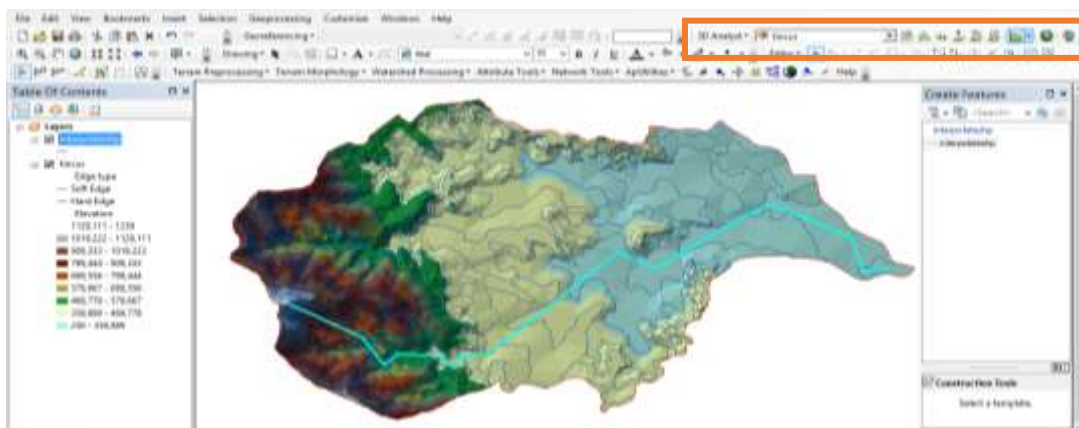


Figura 3.8 Herramienta de ArcGIS 10.1 para la realización de los perfiles longitudinales.

Fuente: elaborado por Volonté

Los perfiles transversales fueron realizados con el objetivo de caracterizar tramos morfológicamente diferentes y complementar la información brindada por el perfil longitudinal para lo cual fue necesario trabajar en una escala mayor que permitiese obtener un mayor nivel de detalle. Para la realización de los perfiles se utilizó un nivel óptico Pentax y una regla graduada (Fig. 3.9).



Figura 3.9. Levantamiento de perfiles transversales.
Fuente: fotografía de Volonté (2013; 2015)

3.3.3 Muestreo de la vegetación en la cuenca del arroyo San Bernardo

El método utilizado para el muestreo y posterior caracterización de las especies vegetales en la cuenca baja fue la transecta de línea debido a que es más adecuada cuando la vegetación es heterogénea (Fig. 3.10). Esta metodología consiste en la observación, identificación y posterior descripción de cada especie que se encuentran a lo largo de la línea (Petagna de del Río, 2002). La representación sintética de los individuos vegetales se realizó a través de los danserograma propuestos por Dansereau (1957). Esta es una representación esquemática en la cual se asignan símbolos a cada categoría fisionómica estructural (Matteuci y Colma, 2002). A partir de esta es posible hacer estimaciones de la estratificación de la comunidad, de las formas biológicas predominantes y de la abundancia relativa de las especies. Se analizaron las condiciones del biotopo como la utilización, suelo, la estructura, la textura y el drenaje del suelo, el tipo de relieve y la exposición (Fig.3. 11).



Figura 3.10 Muestra de vegetación a partir de transectas y cuadrados.
Fuente: fotografía de Volonté (2013; 2015)

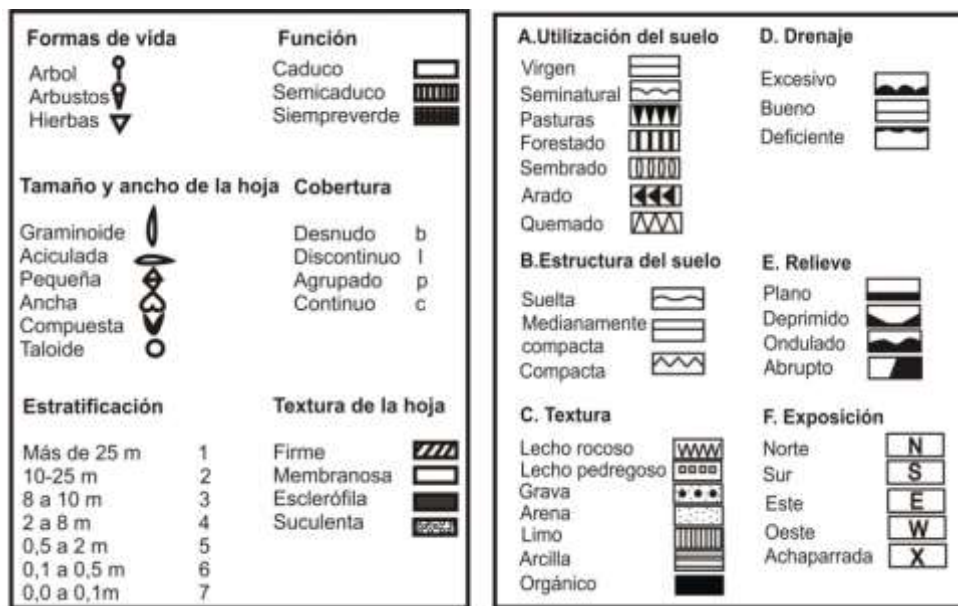


Figura 3.11 Simbología de la metodología de Dansereau.
Fuente: Dansereau (1957)

En la cuenca media y alta se utilizó el método de los cuadrados a través del muestreo aleatorio. Este método resulta adecuado para superficies pequeñas y cuando se desea obtener información global acerca de las variables consideradas. Se definieron unidades muestrales de 100 m² en las cuales se consideraron los siguientes caracteres: número de individuos, densidad, cobertura, sociabilidad y presencia (Tabla 3.5). Estos parámetros permiten establecer la abundancia de individuos y la superficie ocupada por los mismos

(densidad), el grado de dominancia o área ocupada por los individuos de una especie (cobertura) y finalmente la manera en que estos se agrupan sobre el suelo (sociabilidad). A partir de los resultados obtenidos se construyeron los gráficos de cobertura. Estos esquemas representan el área ocupada por los individuos de una especie.

CARACTERES ANALÍTICOS			
	Escala de Estimación	Valor absoluto	
Número de individuos (abundancia)	1	Muy rara (muy espaciada)	N° de individuos por especie, según unidad muestral (UM).
	2	Rara (espaciada)	
	3	Poco numerosa (no frecuente)	
	4	Numerosa (abundante)	
	5	Muy numerosa (muy abundante)	
Densidad	*****	D=N° de individuos/ (UM)	
Cobertura	1	<15 % (casi ausente)	*****
	2	15 a 25 % (rara)	
	3	25 a 50 % (Dispersa)	
	4	50 a 75 % (Interrumpida)	
	5	> 75 % (Continua)	
Sociabilidad	1	Cada individuo crece aislado	P= N° de UM en que una especie aparece/N° total de UM
	2	Crecimiento en grupos o matas	
	3	Crecimiento en manchas o cojines	
	4	Crecimiento en pequeñas colonias o manchones, tapizando el suelo	
	5	Crecimiento en grandes multitudes.	
CARACTERES SINTÉTICOS			
Presencia	1	0 a 20 % (rara)	
	2	20 a 40 % (pocas veces presente)	
	3	40 a 60 % (a menudo presente)	
	4	60 a 80 % (presente)	
	5	80 a 100 % (constantemente presente)	

Tabla 3.7 Variables analíticas y sintéticas consideradas para la interpretación de los cuadrados de vegetación. Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Braun Blanquet (1950)

3.3.4 Muestreo de sedimentos de fondo en el canal y la llanura de inundación

El sistema de selección de clastos fue propuesto por Wolman (1954) y consistió en realizar transectas transversales al curso principal y relevar todos los sedimentos de tamaño mayor a las arenas que quedaban por debajo de la cinta métrica (Fig. 3.12). Las transectas abarcaron la totalidad del cauce con el objetivo de que los datos fueran homogéneos y comparables. Los sedimentos se clasificaron de acuerdo a la escala Udden-Wentworth. La clasificación del tamaño de los sedimentos es la recomendada por la *American Geophysical Union* (AGU) en la cual las partículas mayores a 2 mm (-1φ) corresponden a las gravas, las arenas tiene su límite de clase entre 2 mm (-1φ) y 0,0625 mm

(4ϕ), los limos entre 0,0625 (4ϕ) y 0,0039 mm (-8ϕ), las arcillas menores a 0,0039 mm (-8ϕ).



Figura 3.12 Muestreo de sedimentos de fondo.
Fuente: fotografía de Volonté (2014; 2015)

Se utilizó el diagrama de Hjulström (1935) para determinar el estadio (transporte-sedimentación-erosión) que caracteriza los distintos tramos del arroyo (Fig. 3.13). Este diagrama relaciona la velocidad crítica con el tamaño de sedimento en el que comienza la erosión de las partículas tanto en el agua como en el aire (Gutiérrez Elorza, 2008). Se calculó el número de Froude (F_r) para relacionar la influencia de la acción gravitatoria del flujo y determinar si la corriente es laminar o turbulenta (4)

$$Fr = \frac{V}{Gd} \quad (4)$$

Donde:

V = velocidad

G = número de la gravedad

d= profundidad del agua

Si $F_r=1$ corresponde al flujo crítico, si $F_r<1$ el flujo es laminar mientras que si $F_r >1$ el flujo es turbulento.

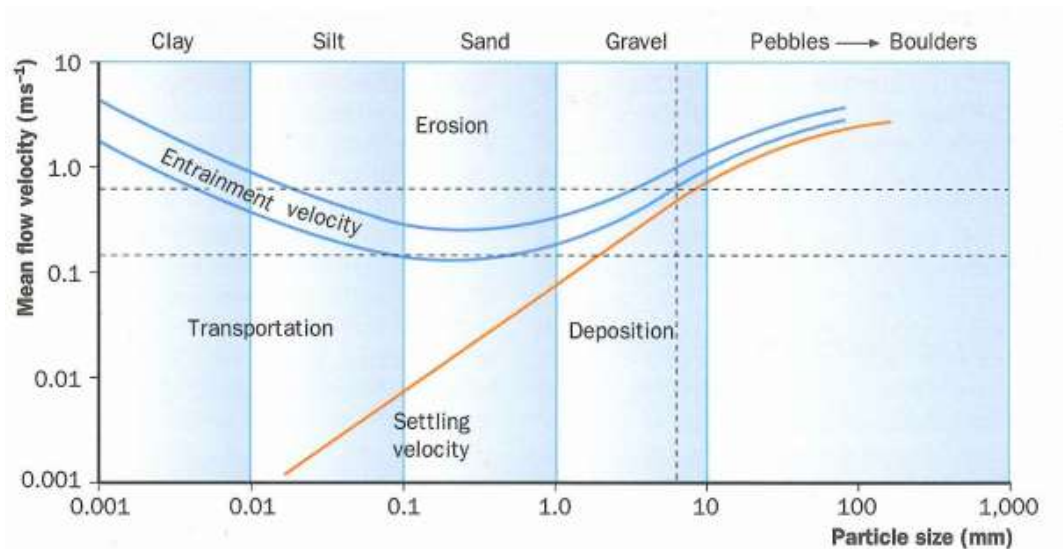


Figura 3.13 Diagrama de Hjulström.

Fuente: Hjulstrom (1935)

3.3.5 Percepción social de la peligrosidad

Como parte del trabajo de campo relacionado con los métodos históricos anteriormente mencionados en el apartado 3.1 se realizó una consulta a través de una serie de preguntas en un formulario de *Google Forms*®. Las preguntas fueron abiertas y cerradas, las primeras son las que se formularon sin establecer categorías de respuesta mientras que las cerradas fueron categorizadas y de valoración³.

Las preguntas que se realizaron estuvieron vinculadas con la peligrosidad de crecidas:

- ¿Tiene conocimiento de crecidas importantes que hayan ocurrido en los últimos 100 años en Sierra de la Ventana? (Si recuerda indique el año y las principales consecuencias)
- ¿Recuerda crecidas que hayan afectado a la localidad en los últimos 10 años? ¿Cuántas?
- ¿Considera que Sierra de la Ventana se encuentra expuesta al peligro de crecidas?
- ¿Considera relevante que los medios de comunicación (radio, señales de cable, diarios) comuniquen información sobre los montos de lluvia en la zona?
- De acuerdo a su experiencia valore del 1 al 5 su preocupación por la ocurrencia de crecidas e inundaciones en su localidad
- ¿Ha sido afectado en alguna oportunidad por las crecidas del arroyo San Bernardo?

³En el siguiente link se puede acceder al formulario utilizado:
https://docs.google.com/forms/d/1SrVN_epNVrq6xiaTEsXEnSsdLkVDNjz0t_6wd3QQNn4/edit?usp=drive_web

- ¿Conoce algún plan de acción implementado por el Municipio ante eventos de crecidas?
- ¿Qué medidas de las que se detallan a continuación considera que serían importantes para disminuir el impacto de las crecidas en la población?

CAPÍTULO 4
LA CUENCA DEL ARROYO SAN BERNARDO: CARACTERÍSTICAS DEL
ENTORNO REGIONAL

En este capítulo se dan a conocer los aspectos más relevantes del contexto físico-ambiental de la cuenca a escala regional. Se pone énfasis en la variabilidad de las precipitaciones, en el contexto geológico general en el cual se desarrolla la cuenca como así también en la importancia del pastizal pampeano y las actividades productivas de la región que inciden en la dinámica de la cuenca como unidad de análisis.

4.1 Variabilidad en las precipitaciones: característica distintiva del clima en la región

El suroeste bonaerense queda comprendido en la faja zonal de climas templados, donde las estaciones térmicas son bien diferenciadas y la variabilidad en las condiciones de tiempo son características esenciales. A lo largo de esta franja climática se presentan variaciones espaciales en las temperaturas y en las precipitaciones en relación con la continentalidad, la exposición a los flujos de aire dominantes, la orientación de la costa y las corrientes oceánicas. Los valores medios anuales están comprendidos entre 14 °C y 20 °C (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

El clima templado de transición está en el desplazamiento de grandes masas de aire que surgen de los centros de acción del hemisferio Sur, estos son denominados anticiclón semipermanente del Atlántico Sur y anticiclón semipermanente del Pacífico Sur. El avance de las masas de aire no reviste límites precisos pero genera en relación con la Cordillera de los Andes y la baja térmica del noroeste, la “diagonal árida argentina”. Este nombre identifica la franja de escasas lluvias que atraviesa en forma sesgada el continente, desde el norte de Perú hasta la costa patagónica sobre el océano Atlántico y de las áreas sometidas al régimen de vientos del Oeste. En el suroeste de la provincia se verifica una disminución de precipitaciones de este a oeste y las lluvias en la región no solo están influidas por el desplazamiento de las masas de aire que surgen de los centros de acción del hemisferio Sur, sino que también se ven alterados por los fenómenos climáticos que actúan a escala planetaria como por ejemplo El Niño/Oscilación Sur (ENOS) (Campo de Ferreras *et al.*, 2004; Casado, 2013; Scian, 2002; 2009).

La característica distintiva de esta región es la variabilidad temporal y espacial de la precipitación. A su vez, la ocurrencia de las precipitaciones no solo se ve influida por la variabilidad característica de la región impuesta por el movimiento propio de las masas de aire, sino que fenómenos meteorológicos a escala global también contribuyen a las fluctuaciones periódicas en el monto de las lluvias (Zapperi *et al.*, 2006; Zapperi *et al.*, 2007; Gil *et al.*, 2009; Casado, 2013). Para el suroeste bonaerense existen importantes diferencias en los montos anuales y mensuales de precipitación de acuerdo a las diferentes estaciones del año (Gil *et al.*, 2009; Campo *et al.*, 2009 y Gentili, 2012).

Con respecto a la variabilidad espacial Campo *et al.* (2009) analizaron las anomalías con respecto a la precipitación media para el año 2007 y 2008 (Fig. 4.1) considerando 25 localidades del suroeste bonaerense. Los resultados obtenidos dan a conocer que el año 2007 predominaron las anomalías positivas sobresaliendo Huanguelén (586,6 mm), Puán (338,1 mm) y Rivera y Espartillar con 383 mm aproximadamente. Es de destacar que en gran parte de los casos la magnitud de las anomalías de este signo sobrepasa los 100 mm. En ese año en el sector norte se produjeron los mayores montos de

lluvia. Solo en cinco localidades la precipitación anual de 2007 fue inferior a la media reflejándose en las anomalías anuales: Hilario Ascasubi (-270 mm), Tres Arroyos (-125,5 mm), Bordenave (-82,7 mm) y Salliqueló (-3,8 mm). En el año 2008, el signo de las anomalías se invierte. Se acrecienta la falta de agua para las localidades que desde el año anterior tienen tendencia negativa (Bordenave y Ascasubi). La mayoría de los valores de las anomalías negativas superan los 100 mm, principalmente en el sector oeste del área que llega a los 283 mm en Bordenave.

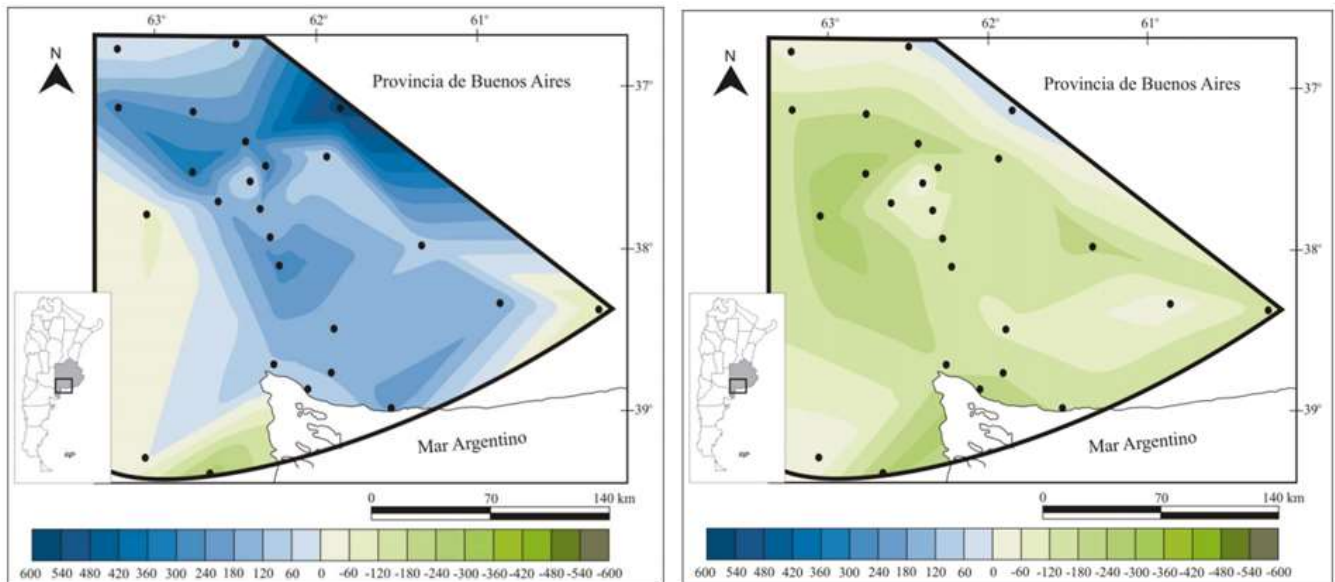


Figura 4.1. Mapa de anomalías en las precipitaciones con respecto a la precipitación media (2007-2008).

Fuente: Campo *et al.*, 2009

La continentalidad afecta a la región observándose una disminución de las precipitaciones de noreste a suroeste. En el sector norte, Coronel Suárez registra valores superiores a los 800 mm anuales y hacia el este, Tres Arroyos 795 mm mientras que hacia el oeste y sur Bahía Blanca cuenta con 685 mm anuales y Hilario Ascasubi con 542 mm (Campo *et al.*, 2009).

Como se mencionó anteriormente el suroeste de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por una estacionalidad de las lluvias en otoño y primavera (Campo *et al.*, 2004). En la figura 4.2 se puede observar la distribución de las precipitaciones mensuales y la media anual para el periodo 1970-2012 en localidades del suroeste bonaerense. En el caso de las localidades analizadas, estas presentan el máximo valor de precipitación mensual en noviembre (Coronel Pringles - Coronel Suárez - Villarino - Pigüé y Tres Arroyos) mientras que Bahía Blanca y Puán tienen su máximo valor en marzo. Con respecto a la precipitación media se observa que el periodo mayo - septiembre se encuentra por debajo de dicho valor en todas las localidades.

Es importante destacar que a partir de la observación de los gráficos se desprende que la estacionalidad de las precipitaciones, especialmente primavera, se ha desplazado hacia el verano. Estas precipitaciones estivales son generadas en su mayoría a partir del

paso de frentes fríos. Existen tormentas que pueden formarse por la sola presencia de aire inestable denominadas por Celemín (1984) como “tormentas de masas de aire”. La importancia de estas tormentas está dada en que son intensas y repentinas y son posibles generadoras, dependiendo el milimetraje y la duración, de crecidas en la zona de estudio.

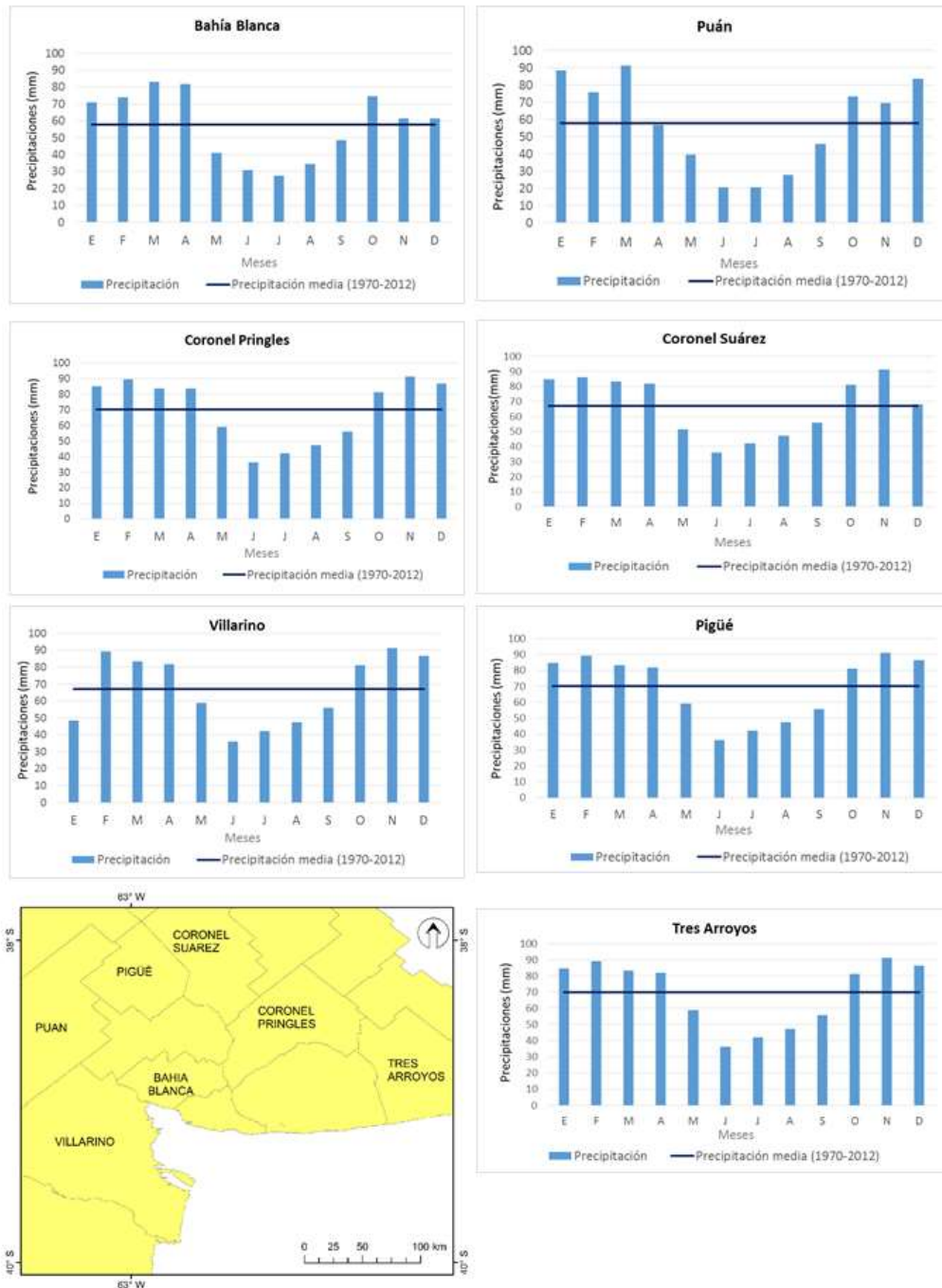


Figura 4.2 Precipitación mensual para el periodo 1970-2012 en localidades del suroeste bonaerense. Fuente: elaborado por Volonté sobre la base del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina.

La variabilidad de las precipitaciones en la región también está asociada con el fenómeno ENSO. Existen numerosos estudios sobre la vinculación entre las anomalías

hídricas y los procesos atmosféricos a distintas escalas, confirmando la existencia de una relación entre las lluvias estivales y los episodios ENSO en el sur de Sudamérica (Pittock, 1980; Aceituno, 1998; Scian, 2002; 2009). El comportamiento general muestra que las anomalías de precipitación y la circulación en el sur de Sudamérica ocurren durante los mismos períodos de los eventos de El Niño y La Niña. Los ciclos de precipitaciones son de larga duración, con fases húmedas y secas y están separados por fases de transición. Estos ciclos definen a su vez, las principales características agroecológicas particulares del suroeste de la provincia de Buenos Aires (Bohn *et al.*, 2011; Grimm *et al.*, 2000).

Casado (2013) explica la recurrencia de los años secos, húmedos y su relación con el fenómeno ENSO (Fig. 4.3). El periodo 1950-1975 se destacó por ser una etapa de transición, en la que las precipitaciones fueron en aumento. Después de la gran sequía que abarcó los años 1960 y 1962, las precipitaciones comenzaron a intensificarse. Para el periodo 1975-2000 el aumento de las precipitaciones fue muy significativo con lluvias superiores a 1.200 milímetros, considerando que el promedio para los últimos 30 años fue de 830 milímetros. En esta etapa se registraron importantes inundaciones en las zonas más deprimidas de la región. A partir del año 2002 y hasta el año 2010 esta área de la provincia se caracterizó por un periodo de sequías que afectaron las actividades productivas de la región y el abastecimiento de agua potable para las principales localidades.

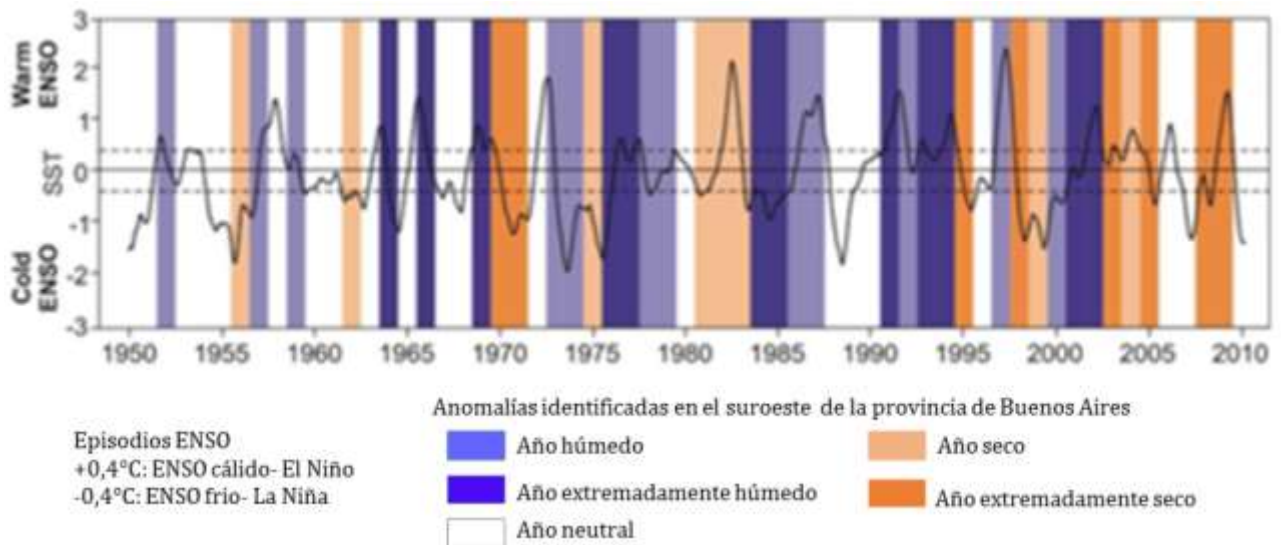


Figura 4.3 Recurrencia de años secos y húmedos en el suroeste bonaerense (1950-2010).
Fuente: Casado (2013)

4.1.1 Características de las precipitaciones en el sistema de Ventania

En el sistema de Ventania las situaciones generadoras de precipitaciones están asociadas al avance de frentes en primera instancia y a las altas temperaturas que provocan tormentas de masas de aire y generan inestabilidad (Zapperi *et al.*, 2007; Gil *et al.*, 2008 y Campo *et al.*, 2009). Los frentes fríos avanzan de oeste a este o de suroeste a noreste haciendo retroceder el aire caliente. Los frentes calientes se desplazan de noreste a suroeste (Celemín, 1984). Las mayores precipitaciones de origen frontal ocurren en

otoño y primavera, las que se producen luego del paso del frente acompañado con vientos del Sur, Suroeste y Sureste. En otoño no presentan una torrencialidad significativa, por el contrario, las mayores temperaturas de la primavera contribuyen a la formación de tormentas que se desarrollan de manera más intensa.

Esta tendencia estacional de las precipitaciones se ha visto modificada. Gaspari *et al.* (2008) analizaron series de precipitación para el periodo 1908-1987 en Coronel Suárez, Coronel Pringles y Tornquist, obteniendo como resultado que el mes más lluvioso fue enero. Gentili y Gil (2013) analizaron datos para dos estaciones ubicadas en el sistema serrano en el periodo 1951-2000 y advirtieron que las mayores precipitaciones son en verano. El sistema serrano presenta un comportamiento estacional similar a las localidades analizadas en la página 54 observándose un desplazamiento de las precipitaciones hacia el verano.

Para demostrar la variabilidad de las precipitaciones Gil (2010) analizó los datos de precipitación para el periodo 1915-2005 en la cuenca alta del río Sauce Grande. El Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación en un lugar, para un lapso determinado de tiempo el cual varía, generalmente, entre 1 y 24 meses (Mckee *et al.*, 1993). De acuerdo con su valor, el IPE puede clasificarse en diferentes categorías (Tabla 4.1)

IPE	CATEGORIA
-2,00 o menor	Extremadamente seco (sequía extrema)
-1,50 a -1,99	Muy seco (sequía severa)
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco (sequía moderada)
-0,5 a -0,99	Ligeramente seco
0,49 a -0,49	Normal
0,50 a 0,99	Ligeramente húmedo
1,00 a 1,49	Moderadamente húmedo (exceso moderado)
1,50 a 1,99	Muy húmedo (exceso severo)
2,00 o mayor	Extremadamente húmedo (exceso extremo)

Tabla 4.1 Categorías de las anomalías según los valores del IPE.

Fuente: Mckee *et al.*, 1993.

Gil (2010) aplicó el IPE en una escala de 12 meses y concluyó en la predominancia de eventos extremadamente secos sobre los extremadamente húmedos. Como se puede observar en la figura 4.4, los eventos secos más importantes ocurrieron los años: 1917, 1924, 1928, 1942, 1956, 1961 y 1989 mientras que los eventos extremadamente húmedos se dieron en los años: 1919, 1946, 1964 y 2002.

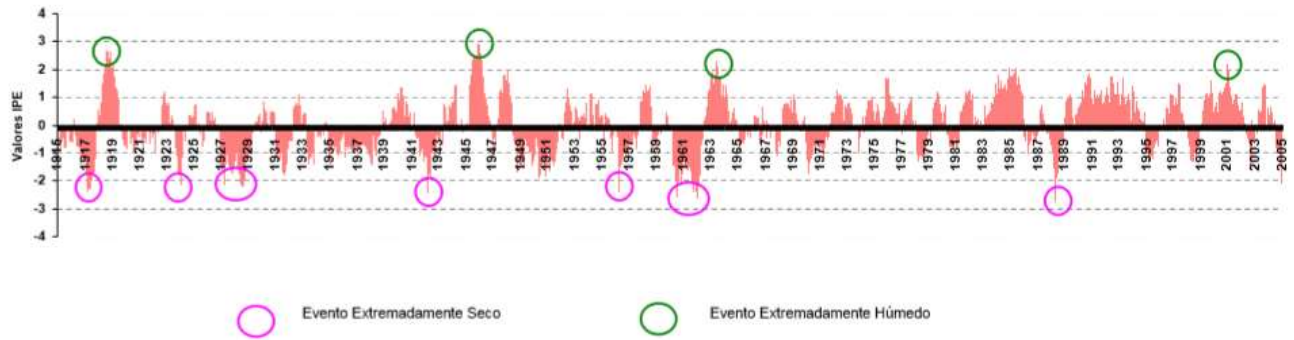


Figura 4.4 Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) para la cuenca alta del río Sauce Grande. Fuente: Gil (2010)

Las precipitaciones varían estacionalmente y espacialmente. Distintos autores analizaron series de precipitaciones en diferentes lugares del sistema serrano y detectaron diferencias en los montos de precipitaciones. Esta diferenciación espacial está en relación con el efecto orográfico del cordón serrano, ya que se incrementan frente a la presencia del cordón. A modo de ejemplo, los valores medios anuales son 796,9 mm para la cuenca del arroyo Sauce Corto, en el noroeste del cordón serrano y 757,2 mm para la cuenca del río Sauce Grande al sureste del sistema (Gaspari *et al.*, 2008; Gil, 2010; Gentili *et al.*, 2011; Gentili y Gil, 2013).

4.2 Caracterización del suelo: el predominio de Molisoles

La Argentina por su extensión latitudinal y sus variaciones en el relieve tiene una gran diversidad de suelos y es uno de los pocos países que tiene los 12 órdenes de suelo de la clasificación *Soil Taxonomy* (Panigatti, 2010). En la llanura pampeana es importante destacar la presencia de suelos eólicos (loess) que fueron depositados entre el Mioceno superior y el Holoceno superior. El loess es el material predominante del suroeste bonaerense y su formación se vio favorecida por los regímenes de humedad y temperatura. Los depósitos más antiguos datan de la fase orogénica de los Andes ocurrida en el Mioceno superior que han sido transportados por el viento seco proveniente del océano Pacífico. El origen de la estructuración del loess está ligado a la formación geológica del sedimento o depósito donde se encuentren y a procesos postdeposicionales a los cuales han sido sometidos en los distintos ambientes. Mientras que el origen del loess primario es netamente eólico el loess secundario se corresponde con una composición mineralógica y granulométrica similar, modificado por procesos diagenéticos posteriores. Estos procesos incluyen saturación o redeposición originados luego de una ocurrencia de erosión y transporte fluvial. De esta forma, un suelo loésico primario o secundario no deja de ser granulométricamente un suelo limoso cuyo tamaño de granos de la fracción más abundante varía entre 0,06 mm hasta 0,002 mm (Frenguelli, 1955; Teruggi, 1957; Zárate, 2003).

Con respecto a los suelos de la región, los que se hallan en el área se corresponde con cuatro órdenes del sistema de clasificación *Soil Taxonomy*: Molisoles, Alfisoles, Entisoles y Aridisoles (Fig. 4.5). De ellos, los Molisoles son los más representativos y abarcan la totalidad del área de estudio descrita en el capítulo 1. Estos suelos se han desarrollado generalmente bajo vegetación de pradera y en climas que presentan una

moderada a pronunciada deficiencia de humedad estacional. Los Subórdenes que están presentes en el suroeste de la provincia son los Udoles, Ustoles y Acuoles. Los dos primeros son suelos zonales localizados en las partes altas donde el relieve es ondulado o suavemente ondulado y de buen drenaje. En tanto, los Acuoles, aparecen con mayor frecuencia en terrenos planos y bajos, con escurrimiento dificultoso (Zárate, 2003; Panigatti, 2010).

El Orden de los Alfisoles está vinculado a regiones o zonas con poca extensión areal que presentan dificultades en el escurrimiento superficial y están sometidas a inundaciones periódicas. Son los menos representativos en la región. Los Entisoles comprenden los suelos escasamente desarrollados. La textura del material originario es en la mayoría de los casos areno-franca. Son suelos cuya característica predominante es la ausencia de horizontes pedogenéticos. Por último, los Aridisoles que se encuentran en la porción más austral del suroeste bonaerense coinciden con el régimen árido. Estos suelos presentan períodos largos en los cuales no hay agua disponible, el horizonte superficial no es rico en materia orgánica y el agua en el perfil tiene escaso movimiento (Panigatti, 2010).

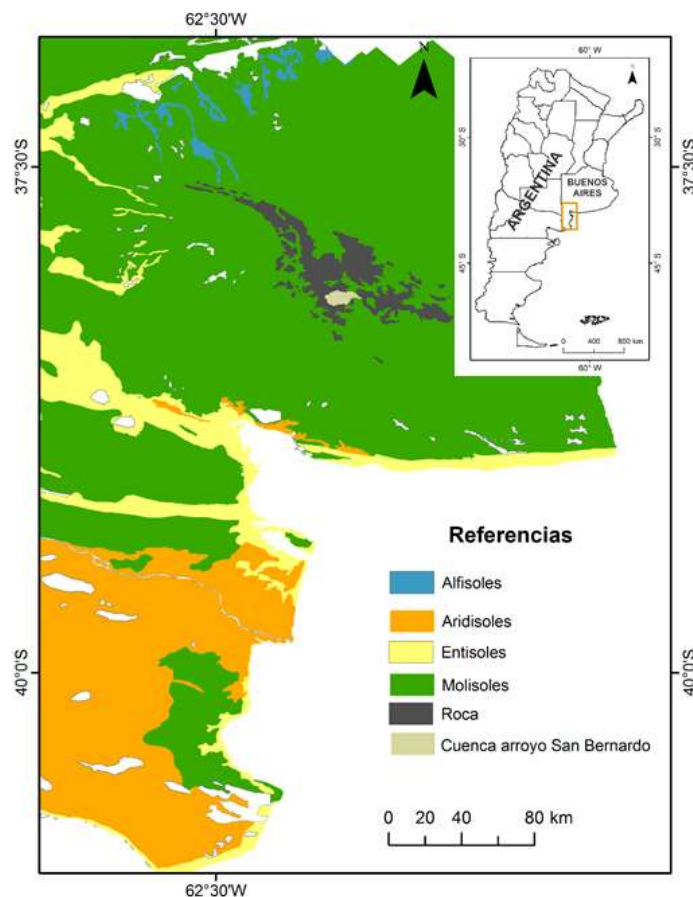


Figura 4.5 Órdenes de suelos predominantes para el suroeste de la provincia de Buenos Aires.
Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de GeoInta (2015)

Es importante destacar que en la zona serrana, especialmente en las zonas más altas, se halla la presencia de suelos entisoles. El material que compone este tipo de suelos

son rocas y materiales no consolidados con menos del 10 % de sedimentos finos (Zárate, 2003). Aparecen fundamentalmente en zonas altas o medias con una topografía escarpada y elevadas pendientes. Estos suelos condicionan las actividades agropecuarias y ganaderas ya que la capa superficial es muy fina y la vegetación es casi inexistente.

4.3 La vegetación autóctona de la región: la importancia del pastizal pampeano

Los biomas de la llanura pampeana son los que más transformaciones han sufrido a causa de la intervención humana. Los sistemas agrícolas y ganaderos de la región han co-evolucionado en el tiempo. De acuerdo a Cabrera (1971) el suroeste de la provincia de Buenos Aires se encuentra en una transición entre la provincia del Espinal, el Monte y la provincia Pampeana (Fig. 4.6).

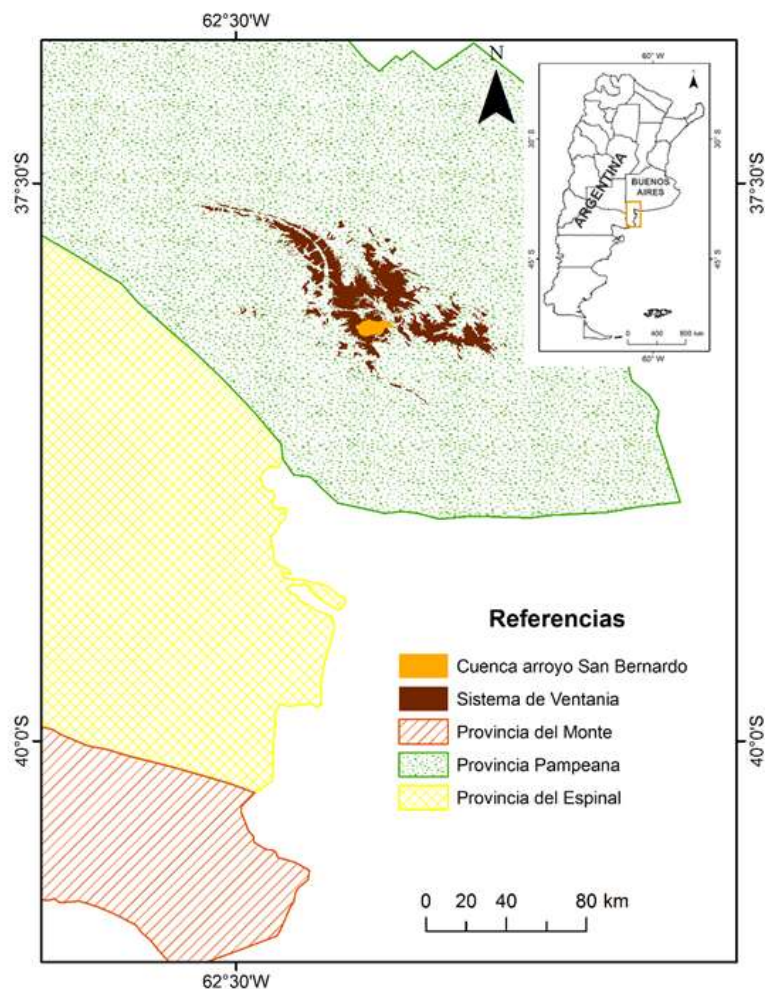


Figura 4.6 Regiones fitogeográficas del suroeste bonaerense.
Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Cabrera (1971)

La provincia del Espinal se extiende en forma de arco irregular alrededor de la provincia Pampeana. El tipo de vegetación dominante es el bosque xerófilo similar al de la provincia chaqueña pero más bajo. Caracteriza a esta provincia la dominancia de especies arbóreas del género *Prosopis* acompañadas por otros árboles de la provincia Chaqueña. En

el Monte la vegetación predominante es el matorral o la estepa arbustiva xerófila, sammófila o halófila. Desde el punto de vista florístico la provincia se caracteriza por la presencia, casi constante, de especies del género *Larrea* y *Prosopis* arbustivos (Cabrera, 1971).

El área de estudio se encuentra en la provincia Pampeana. La vegetación dominante es la estepa de gramíneas existiendo también praderas, estepas samófilas, estepas halófilas, bosques marginales y diversos tipos de vegetación hidrófila. De acuerdo a la vegetación clímax la provincia pampeana puede dividirse en cuatro distritos: a) distrito uruguayense; b) Distrito Pampeano Oriental; c) Distrito pampeano Occidental y d) Distrito pampeano austral (Cabrera, 1971).

El distrito pampeano austral es que se encuentra en el suroeste bonaerense. Abarca el sur de Buenos Aires, desde la cadena de sierras de Olavarría, Azul, Tandil, Balcarce y Mar del Plata hasta Bahía Blanca. Este distrito se extiende sobre suelos poco profundos, con rocas o con una capa de tosca dura a poca profundidad. La vegetación predominante es la estepa de gramíneas, formada por grandes matas del género *Stipa*, entre las cuales el suelo queda desnudo durante gran parte del año. Hay varias comunidades que pueden considerarse climácicas:

- Estepa de flechillas: es la comunidad más común en la región, existen variedad de gramíneas de los géneros *Stipa* y *Piptochaetium* que se combinan en múltiples formas. Las especies dominantes son: *Stipa neesiana*, *Stipa clarazii*, *Stipa trichotoma*, *Stipa tennis*, *Piptochaetrum napostaense*, entre otras. Además son muy abundantes *Stipa ambigua*, *Stipa caudata*, *Stipa tenuissima*, *Stipa filiculmis*, *Piptochaetium cabreriae*, etc.
- Entre los arbustos y subarbustos se destacan la brusquilla (*Discaria longispina*), el ojo de perdiz (*Margyricarpus pinnatus*), la yerba de la oveja (*Baccharis ulicina*).
- Estepas de paja vizcachera: predomina en ellas *Stipa caudata*, junto con *Paspalum quadrifarium*, *Bromus unioloides*, *Poa bonariensis*, etc. Estas estepas ocupan suelos algo más húmedos que los de la comunidad anterior, siendo frecuentes en los campos ondulados próximos a Mar del Plata, a Tornquist y en otros puntos del distrito.
- Estepas de *Stipa ambigua*: características de las laderas bajas y valles de la Sierra de la Ventana y de otros puntos del sur del Distrito.

4.4 La vegetación en el sistema de Ventania

El sistema de Ventania es uno de los pocos lugares donde aún se conservan especies del pastizal pampeano. Estos proporcionan bienes y servicios ambientales, además de la provisión habitual de carne, leche, lana y cuero que producen los sistemas de pastoreo. Contribuyen al mantenimiento de la composición de gases en la atmósfera mediante el secuestro de CO₂, al control de la erosión de los suelos y son fuente de material genético para una gran cantidad de especies vegetales y animales. Además, tienen un rol fundamental como proveedor de insectos polinizadores y de enemigos naturales de numerosas plagas que atacan cultivos (Insausti *et al.*, 2005).

En las planicies basales los pastizales están representados por *Stipa caudata* y *Stipa ambigua*, que es perenne, cespitosa, con cañas macizas ramificadas desde la base, de 50 a 70 cm de altura nativa en la estepa pampeana y por ser un pasto muy duro no es apetecido por el ganado, con lo cual tiene un escaso valor forrajero. En cambio, en las pendientes más abruptas, entre los 500 y 1.100 metros de altura la *Festuca pampeana* crece en los suelos húmedos con humus, poco insolados y la *Festuca ventanicola* también crece localizada en los suelos húmedos, no pedregosos en roquedales planos. Las laderas con pendientes más suaves y moderadas tiene también pastizales pero con *Sorghastrum pellitum*, herbácea perenne y nativa, es una de las más importantes en el ambiente serrano, se encuentra acompañada por *Stipa filiculmis*, ambas restringidas a altitudes medias (Fig. 4.7) (Kristensen y Frangi, 1995; Lizzi *et al.*, 2007).

Los pastizales naturales son sistemas que poseen gran tolerancia a las inundaciones. Muchas especies crecen durante estos eventos y presentan mayor ritmo de fotosíntesis. Para estas especies nativas el anegamiento prolongado no resulta una perturbación negativa dado que tienen características (adaptaciones) fisiológicas, anatómicas o de comportamiento que les permiten ajustarse en forma flexible a las condiciones impuestas por las inundaciones (Insausti *et al.*, 2005; Chaneton, 2006).

La cobertura vegetal es un elemento biogeográfico de gran importancia dado que actúa como agente de protección del suelo favoreciendo la infiltración, amortiguando la energía de las gotas de lluvia e interceptando parte del agua que llegaría al suelo si ella no estuviera. Las características del relieve ha dado lugar a que se constituyan ambientes terrestres muy diversos tanto en los pastizales como en los roquedales pues las condiciones para la vida difieren considerablemente según varíen el sustrato, la exposición al sol, la pendiente y la altura (Lizzi *et al.*, 2007).

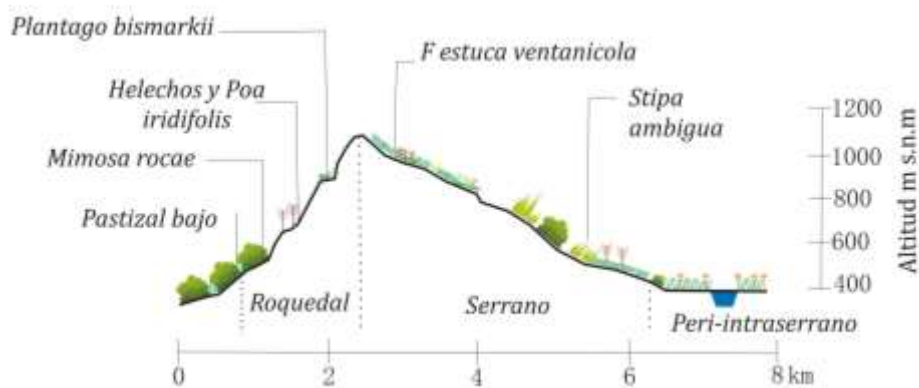


Figura 4.7 Esquema representativo de la ubicación de algunas comunidades vegetales de Sierra de la Ventana. Fuente: modificado de Lizzi *et al.*, 2007

En el sistema de Ventania existen especies que son endémicas y las más importantes se encuentran descriptas en la tabla 4.2.

Nombre científico	Características y ubicación	Fotografía
<i>Grindelia ventanensis</i>	<p>Crece en suelos pedregosos y húmedos; en los lugares donde el aire es seco. Es común en las cumbres. Es un subarbusto bajo con tallos ascendentes, hojas numerosas, duras y aserradas en los márgenes. Florece en verano y en primavera se observan los “pimpollos” con gran cantidad de látex en la parte superior que los protege de insectos y de la depredación de grandes herbívoros.</p>	
<i>Senecio ventanensis</i>	<p>Es un arbusto alto con tallos erectos y cubierta de pelos glandulosos. Las hojas están finamente divididas a lo largo de todo el tallo. Florece en primavera y verano. Si bien es abundante en el sector serrano se la considera con problemas de conservación. Es resistente al frío y a la sequía.</p>	
<i>Plantago bismarckii</i>	<p>Crece principalmente en los roquedales de pendiente suave. Es un arbusto leñoso, de forma redonda. Los tallos con ramas están densamente cubiertos de hojas, las cuales son muy angostas, de color gris-plateado. Las flores están dispuestas en espigas densas. Es una especie emblema del sistema y presenta problemas de conservación.</p>	
<i>Olsynium junceum</i> subsp. <i>lainezii</i>	<p>Es una hierba perenne con rizoma breve. Presenta un tallo y hojas basales de sección cilíndrica. Las flores son rosadas o blanquecinas, en escapos con una hoja pequeña en el ápice. Florece en primavera y crece entre los pastizales de las sierras.</p>	
<i>Pavonia cimbalaria</i>	<p>Se trata de un subarbusto con hojas subtriangulares de margen aserrado. Las flores son grandes y solitarias, pétalos rosados y rojos hacia la base. Florece en verano y crece solo en ambientes rocosos.</p>	

Festuca ventanicola Crece en suelos húmedos y bien drenados de poca pendiente en las partes altas de las sierras. Se trata de una hierba perenne, de bajo porte. Forma matas y tiene un ciclo de crecimiento invernal floreciendo en primavera. Tolera heladas, nevadas y sequías. Es una especie con problemas de conservación, principalmente es afectada por el pastoreo



Poa iridifolia Se trata de una especie endémica de los sistemas de Ventania y Tandilia. Habita en los roquedales abruptos y húmedos en las partes altas del sudoeste de las sierras. Es una hierba perenne con hojas planas de color verde glauco.



Tabla 4.2 Descripción de las especies endémicas del sistema de Ventania.
Fuente: laboratorio de plantas vasculares Universidad Nacional del Sur
(<http://www.plantasvasculares.uns.edu.ar/herbario/galeria/b.html>)

4.5 Unidades morfo-estructurales relevantes del área

Se entiende por unidades morfoestructurales a aquella extensión de terreno de escala regional que se distingue de su entorno por presentar un relieve o desarrollo de subsuelo característico, condicionado por la litología y la estructura (Cingolani, 2005). Zárate y Rabassa (2005) desde el punto de vista geomorfológico describen, analizan e interpretan a escala regional el paisaje en función de los elementos morfoestructurales que integran el territorio bonaerense. Definen para la provincia de Buenos Aires 5 elementos: Positivo Bonaerense (conformado por los cordones serranos de Ventania y Tandilia y la llanura interserrana o cuenca de Claromecó), Cuenca Tectónica del Salado, Cuenca Tectónica del Colorado, Cuenca de Laboulaye y Cuenca de Macachín. La Cuenca Tectónica del Colorado, la Cuenca de Claromecó (llanura interserrana) y el sistema de Ventania conforman el contexto regional del área de estudio.

- **La llanura interserrana como parte de la llanura pampeana**

La llanura pampeana es una extensa planicie de aproximadamente 500.000 km² en la cual afloran sedimentos eólicos cuaternarios. La superficie refleja la deflación y la acumulación loésica durante el Cenozoico tardío y el registro del Pleistoceno comprende sedimentos loessoides profundamente modificados por procesos pedogénicos. El registro del Cenozoico tardío continental está representado por una sucesión sedimentaria relativamente homogénea y comprende depósitos volcanoclásticos limo-arenosos y limo-arcillosos de colores castaños que fueron interpretados como loess re-trabajados en parte por acción fluvial (Frenguelli, 1956). Los sedimentos de la llanura pampeana son de naturaleza volcánica-piroclástica procedente del arco magmático de los Andes y el polvo volcánico se depositó distalmente en las planicies continentales, ambientes límnicos y la

plataforma continental (Zárate, 2005; Zárate y Rabassa, 2005). La llanura interserrana forma parte de la llanura pampeana. Las cotas máximas son superiores a los 200 m en la parte central entre ambos cordones y desciende en forma gradual hacia el sur hasta el océano Atlántico (Frenquelli, 1950; Cingolani, 2005; Zárate y Rabassa, 2005).

▪ **El sistema de Ventania**

El sistema de Ventania (Fig. 4.8) comienza al noroeste con las sierras de Puán y de Pigüé, expresándose ya en esta última el valle central que separa las sierras de Curamalal (al oeste) y de Bravard (al este). Acompañando la forma de los cordones, este valle central toma dirección norte-sur a partir del Fortín Chaco y desde allí hasta el arroyo Ventana, en donde se desvía de su orientación al sur-suroeste, para retomar, al sur del abra de la Ventana, una traza rectilínea orientada noroeste-sureste. En este último tramo los cordones occidentales que flanquean el valle se convierten en serranías aisladas y el cordón oriental se convierte en el cordón Sierra de la Ventana. Sus mayores alturas se encuentran en el cerro Tres Picos con 1.239 m s.n.m y en el cerro Ventana con 1.136 m s.n.m en la sierra homónima.

En el sector oriental se destacan las sierras de las Tunas al norte y la de Pillahuincó al sur, separada la primera de la sierra de Bravard por los arroyos Pantanoso y Sauce Corto, que escurren hacia el norte. En la parte central de la cadena, los cordones Lolén, Mambacher y Esmeralda dan continuidad a los afloramientos al conectar los sectores orientales y occidentales de las sierras. El valle del río Sauce Grande separa los cordones occidentales y orientales en el sector sur. Las sierras están cortadas por numerosas abras, valles transversales a una estructura plegada, que resultan del fuerte control estructural sobre la morfología, con dominio del diseño radial en el arco noroeste, en tanto que en la región sur, las abras presentan orientación sublatitudinal y disposición paralela entre ellas (Sellés Martínez, 2001).

Los afloramientos rocosos aparecen como pequeñas unidades discretas o como áreas de considerable extensión. En el sector occidental las formaciones geológicas dan lugar a la presencia de roquedales en bloques (afloramientos graníticos), mientras que en el sector oriental, los afloramientos están constituidos por rocas esquistosas. Las pendientes serranas son variables y alcanzan valores mayores al 70 % en los tramos superiores del flanco occidental de los cerros más altos (Sellés Martínez, 2001).

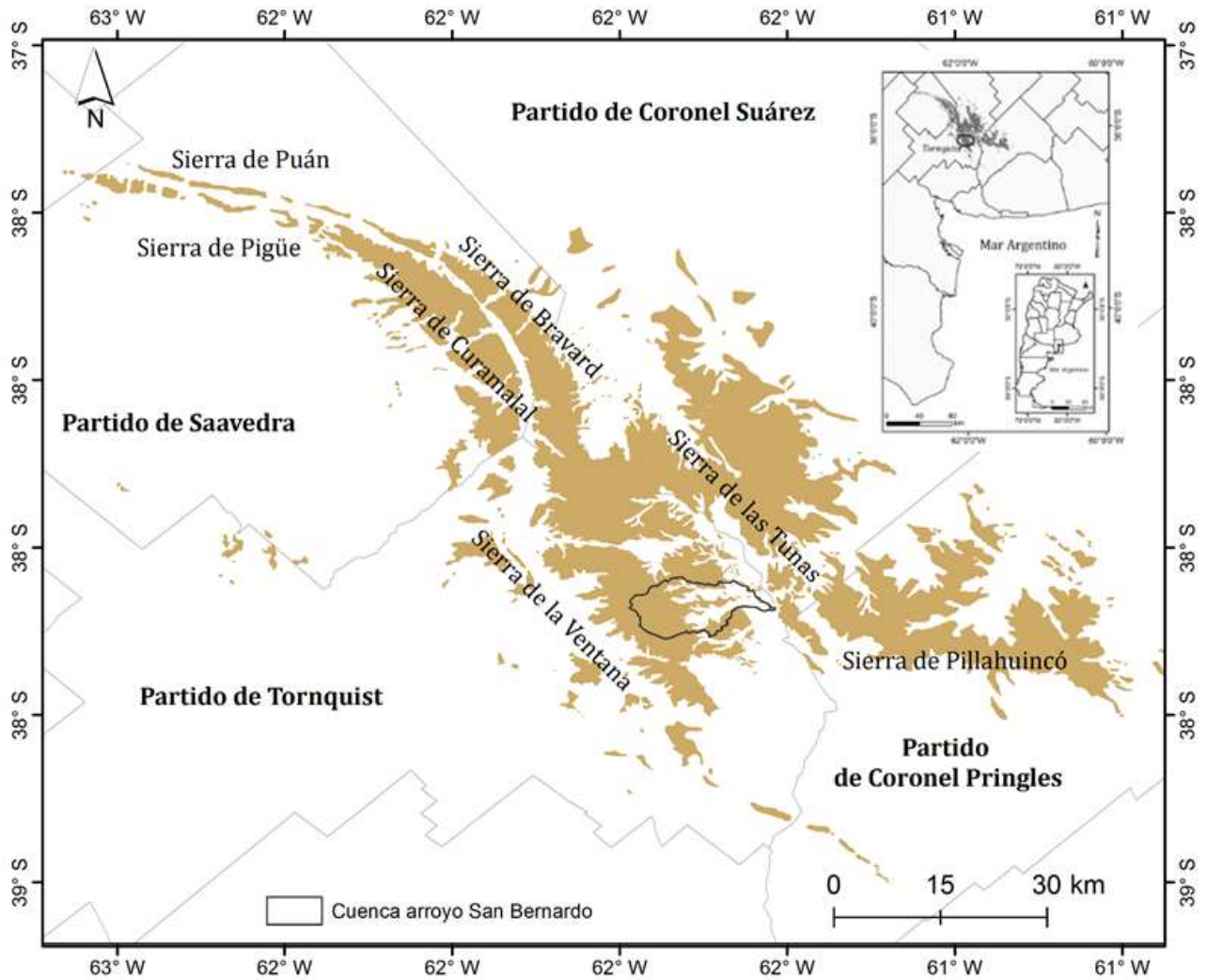


Figura 4.8 Sistema de Ventania.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de la compilación geológica de las Sierras Australes a escala 1:200.000, LEMIT (1960).

En el área de estudio afloran el Grupo Ventana y el Grupo Pillahuincó. El primero está compuesto por una serie de cuarcitas con un espesor aproximado de 1.250 - 1.400 metros. Este Grupo está compuesto por las formaciones Lolén, Providencia, Napostá y Bravard. El segundo Grupo es la sucesión sedimentaria más joven afectada por plegamiento. Comprende una sucesión de diamictitas, conglomerados, pelitas y areniscas las cuales afloran en el sector oriental del cordón serrano. Las formaciones de este Grupo son: Tunas, Bonete, Piedra Azul y Sauce Grande (Tomezzoli y Vilas, 1996) (Fig. 4.9).

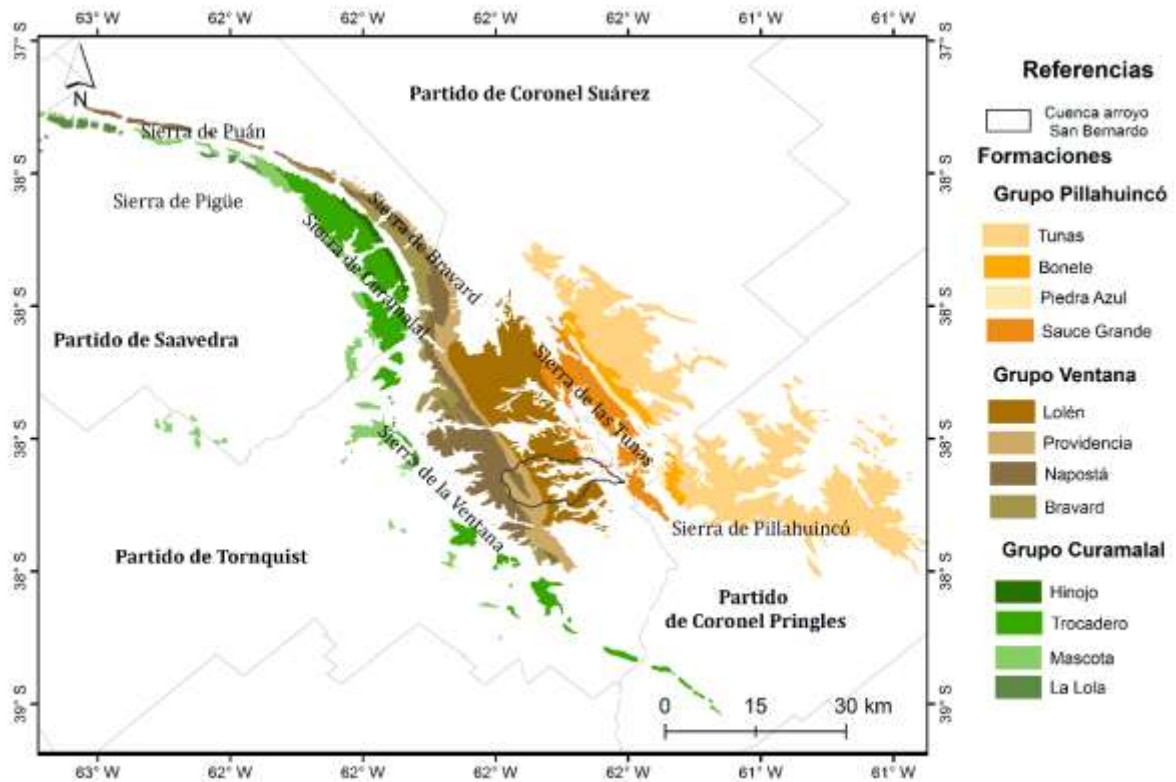


Figura 4.9 Formaciones del sistema de Ventania.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de la compilación geológica de las Sierras Australes a escala 1:200.000, LEMIT (1960)

4.6 Dinámica hidrogeomorfológica de la cuenca alta del río Sauce Grande

La cuenca del río Sauce Grande es la más importante de todas las que se generan en el sistema de Ventania (Fig. 4.10). El curso principal tiene su nacimiento a 1.100 m s.n.m y drena las laderas orientales del cordón de la Ventana junto con otros cursos. En la cuenca alta, se encuentran las mayores alturas y la mayor densidad de drenaje; tiene aproximadamente 1.021 km² y finaliza en el embalse Paso de las Piedras. La cuenca media incluye el dique hasta el paraje Las Oscuras y posee una superficie de 961,5 km². La cuenca baja tiene una superficie de 2.627,3 km², su característica principal es la presencia de lagunas hasta la desembocadura en la zona costera donde recibe afluentes de dos subcuencas (Zavala y Quattrocchio, 2001).

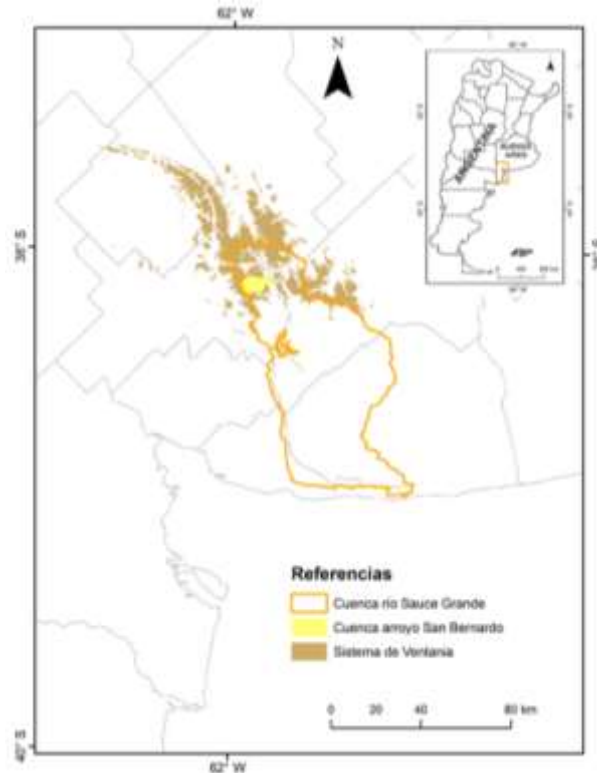


Figura 4.10 La cuenca del río Sauce Grande en el entorno regional.

Fuente: elaborado por Volonté

Morfología de la cuenca

A lo largo de su curso, el río se encuentra confinado dentro de un amplio valle donde se reconocen sistemas de terrazas fluviales, que exhiben una morfología escalonada dentro de los valles y suavizada por la cubierta sedimentaria del Pleistoceno tardío – Holoceno. En el valle medio afloran de manera discontinua una terraza fluvial compuesta principalmente por conglomerados y areniscas gruesas. Zabala y Quattrocchio (2001) señalan tres episodios de incisión y relleno del valle fluvial de naturaleza diacrónica. Los mismos se reconocieron a partir de los depósitos acumulados durante el intervalo Pleistoceno temprano – Holoceno y que forman las terrazas fluviales del río.

Con respecto a la geomorfología de la cuenca, las sierras están presentes en la mayor parte de la cuenca alta, las occidentales forman crestas, hogbacks y paredones rocosos abruptos mientras que las orientales son más bajas y redondeadas debido principalmente a la litología diferente. Los sectores de piedemonte están caracterizados por una escarpa de erosión de unos 10 a 15 m de desnivel. Dentro del pedimento se encuentran las llanuras de acumulación eólica y se ubican en la parte media y baja de la cuenca (Gil, 2010).

Con respecto a la red de drenaje, los límites de la cuenca son claros en el sector más alto del cordón, entre los valores de 1.000 a 900 m, mientras que en los sectores más bajos sobre la zona de acumulaciones aluviales en el sur de la cuenca, las divisorias de

agua se hacen más difusas. En líneas generales la red de drenaje está bien integrada, la mayoría de los cursos son efímeros y solo los principales mantienen caudales. Los rápidos y saltos de agua son frecuentes en aquellos sitios donde aflora la roca base. Se trata de una red de drenaje que tienen un trazado subdendrítico, que si bien se presenta dentro de un medio climático de transición y posee una red bien integrada, en los sectores donde los cauces discurren sobre rocas paleozoicas se observa una dependencia estructural que condiciona el trazado ya sea de forma paralela o rectangular (Gil, 2010).

4.7 La estructura socio-económica del suroeste bonaerense

La ocupación del espacio forma parte de un proceso que es resultado de las interrelaciones entre la sociedad y el territorio a través del tiempo. Las características propias del suroeste bonaerense se generaron a partir de la forma en que se estructuró la región pampeana dentro del contexto nacional (Sili, 2000; Formiga, 2003). Con respecto a la caracterización productiva del suroeste bonaerense, la actividad agrícola es la predominante. Los cultivos se pueden diferenciar en los de cosecha fina y cosecha gruesa. Entre los primeros, los más sembrados son mayormente trigo y avena, entre los segundos, se siembra girasol, sorgo granífero y maíz. En relación con la ganadería, la cría-recría-engorde es el subsistema ganadero de mayor trascendencia. En segundo lugar aparece la cría, mientras el engorde resulta ser irrelevante.

Aduriz *et al.* (2003) realizaron una caracterización de los agrosistemas predominantes en la cuenca alta del río Sauce Grande. Los resultados indican que en la cuenca alta predominan los productores que trabajan sus propios predios y no existen, prácticamente, los arrendatarios. Con respecto al uso del suelo en promedio el 28 % de la superficie se encuentra destinada a la agricultura mientras que el 72 % restante está destinada a la actividad ganadera, esto es debido a las limitantes del terreno (Fig. 4.11).



Figura 4.11 Actividad ganadera en la cuenca alta del río Sauce Grande.
Fuente: fotografía de Volonté (2014)

El suroeste de la provincia de Buenos Aires posee, según el Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda (2010) 586.635 habitantes (Tabla 4.3). Esto representa el 3,75 % de la población total de la provincia. Los partidos con mayor cantidad de población son: Bahía Blanca (301.572 hab); Coronel Rosales (62.152 hab) y Coronel Suárez (38.320 hab). En comparación con el CENSO 2001 todos los partidos del suroeste crecieron demográficamente a excepción de Coronel Pringles.

PARTIDOS	CENSO 2001	CENSO 2010
Bahía Blanca	284.776	301.572
Coronel Rosales	60.892	62.152
Coronel Suárez	36.828	38.320
Patagones	27.938	30.207
Villarino	26.517	31.014
Coronel Pringles	23.794	22.933
Saavedra	19.715	20.749
Coronel Dorrego	16.522	15.825
Puán	16.381	15.743
Adolfo Alsina	16.245	17.072
Tornquist	11.759	12.723
Guaminí	11.257	11.826
Monte Hermoso	5.602	6.499
TOTAL	558.226	586.635

Tabla 4.3 Comparación de la cantidad de habitantes para las localidades del suroeste bonaerense. Censos 2001 y 2010. Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de los censos nacionales 2001 y 2010

4.7.1 El turismo, una actividad en crecimiento en la Comarca Serrana

El suroeste bonaerense experimenta desde hace algunos años una diversificación en sus actividades económicas, cuyo protagonismo lo tiene la actividad turística. Esta se ve favorecida por el medio natural dominante, el cual presenta una importante calidad ambiental y paisajística. Las localidades más importantes turísticamente son: Saldungaray, Sierra de la Ventana, Villa Ventana y Tornquist. Estas localidades están incluidas en lo que se denomina la *Comarca Turística de Sierra de la Ventana*, principal atractivo turístico de la región serrana.

La diversidad de paisajes naturales y su rico patrimonio cultural, el alto grado de conservación de sus recursos turísticos naturales y culturales constituyen atractivos suficientes para que este territorio se posicione dentro de la provincia como una alternativa de destino turístico, enmarcado en las nuevas modalidades como el turismo aventura, ecoturismo, turismo rural y turismo científico, entre otros (Rodríguez, 2009). En la figura 4.13 se puede observar la cantidad de turistas que reciben las localidades de la comarca desde el año 2008 a 2014 con una clara predominancia de Sierra de la Ventana por sobre las demás localidades. Además, esta localidad mantiene un nivel de turistas equilibrado durante el periodo analizado.

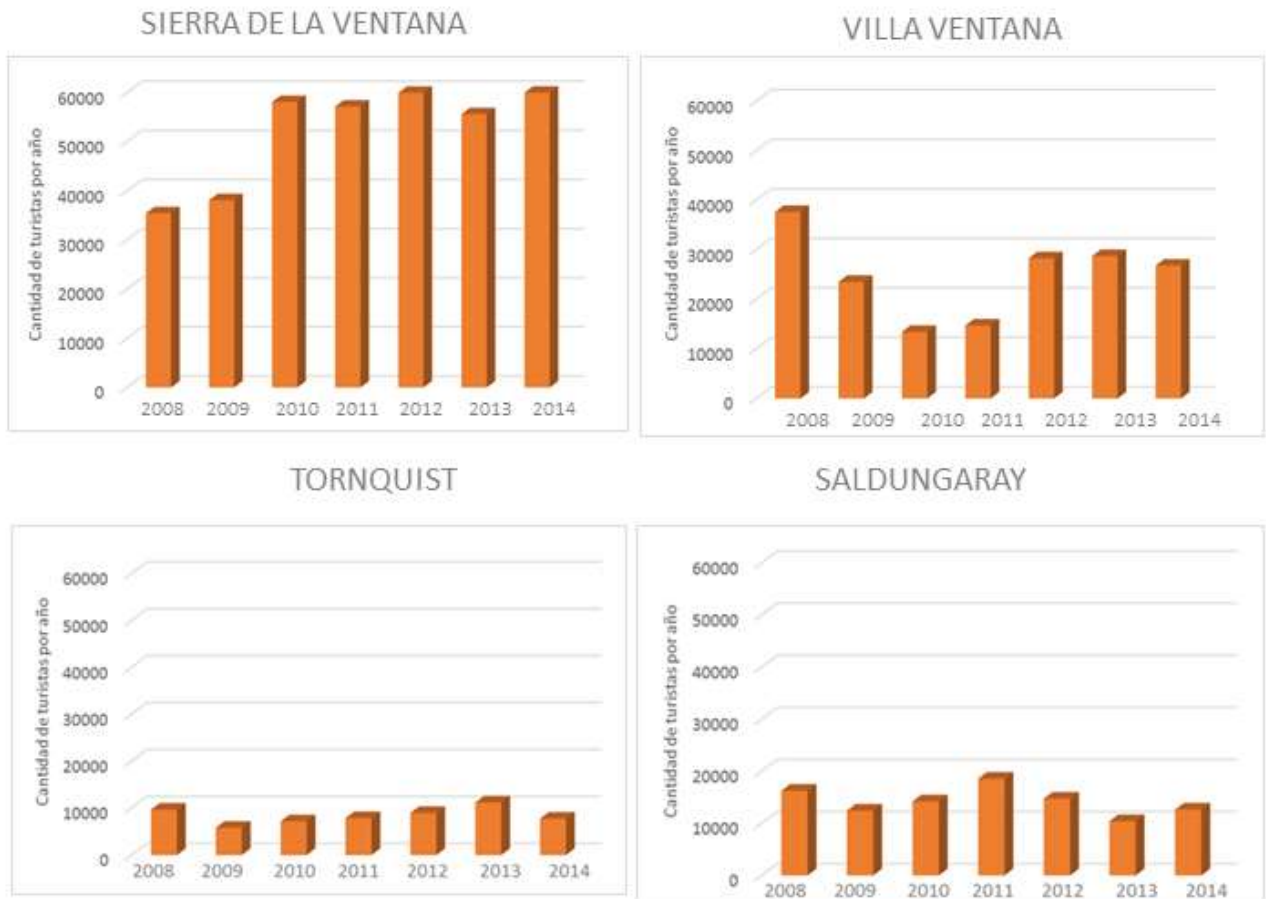


Figura 4.12 Cantidad de turistas por año en la Comarca Serrana.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de la Dirección de Turismo, Municipalidad de Tornquist (2008-2014)

Rodríguez (2009) remarca que dada su localización geográfica, la comarca serrana tiene una posición estratégica, siendo paso casi obligado de los flujos turísticos regionales. Asimismo las redes de comunicación terrestre posibilitan que esta sea el complemento ideal del turismo litoral y del interior, potenciando una oferta diversificada, complementaria y de calidad. El crecimiento turístico de las distintas localidades que conforman esta comarca ha sido espontáneo. Es por eso que resulta necesario promover acuerdos inter-jurisdiccionales para potenciar el desarrollo integral y promover el desarrollo turístico sustentable como base para consolidar el destino en el contexto regional. Se destaca también la necesidad de elaborar normativas de ordenamiento del territorio y de la oferta turística, en donde se defina un modelo que se caracterice por no ser expansivo ni masificado.

Por otra parte, en el área de estudio la expansión inmobiliaria reciente carece de criterios de organización urbanística, generándose un desarrollo espontáneo que al no estar controlado hace peligrar la calidad de la oferta turística en general (Grippio y Visciarelli, 2007; Rossel y Visciarelli, 2012). Esto pone en peligro al turista ante el desconocimiento sobre la dinámica de los arroyos. La comarca cuenta con un Plan de Ordenamiento Territorial cuyos objetivos están relacionados con promover la actividad

turística en la comarca, para potenciar el desarrollo de la región y poner en valor el recurso paisajístico. En ningún momento se nombran medidas vinculadas al peligro de crecidas, principalmente en aquellos arroyos que son vulnerables a crecidas repentinas que pueden afectar a la población. No existe una zonificación de la ocupación de los márgenes de los arroyos ni planes de emergencia/evacuación ante estas posibles crecidas.

A lo largo de este capítulo se describió el entorno natural y social en el cual se encuentra la cuenca objeto de estudio. Es importante destacar a modo de síntesis que climáticamente se halla en una zona de transición, con precipitaciones variables en función no solo de las características regionales sino también influidas por eventos de escala global. Con respecto a las condiciones naturales se halla en una zona relicto del pastizal pampeano, con especies adaptadas a los eventos de crecidas e importantes por su riqueza ecológica. En el área predominan las actividades agrícolas – ganaderas, las cuales han estructurado el espacio del suroeste bonaerense. La cuenca baja del arroyo San Bernardo comprende parte de la localidad de Sierra de la Ventana, uno de los principales núcleos urbanos de la comarca serrana, tanto por el número de turistas que recibe, como por la infraestructura y el equipamiento con que cuenta.

PARTE 2

CAPÍTULO 5

LA DINÁMICA HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA DEL ARROYO SAN BERNARDO

En este capítulo se realiza la jerarquización de la cuenca y se identifica el patrón de drenaje. Se calculan índices y parámetros morfométricos, como por ejemplo: la Relación de Bifurcación, la Relación de Longitud, la Razón de elongación, la Densidad de drenaje, la Frecuencia de drenaje y el Coeficiente de torrencialidad. Se analizan los caudales y se elabora un Hidrograma Unitario aplicado a un evento de crecida.

El análisis de la morfología, los aspectos geométricos del relieve y la morfometría de la red de drenaje que presenta una cuenca, permite conocer cuáles son los procesos fluviales dominantes. Su análisis relaciona los procesos fluviales que en la misma se producen y proporciona información relevante que puede ser aplicada posteriormente al estudio de la dinámica fluvial. Este tipo de análisis es importante en cuencas con escasa información hidrométrica y de precipitaciones como la que se estudia en esta tesis.

5.1 Red de drenaje de la cuenca del arroyo San Bernardo

Se distinguen 2 subcuencas principales, la del arroyo San Diego que tiene sus nacientes en Cerro Napostá y la del arroyo San Bernardo con sus nacientes en el cerro Tres Picos. La cuenca del arroyo San Bernardo (82 km²) presenta tres sectores definidos en función de los cambios de pendiente (Fig. 5.1):

- Cuenca Alta (33 km²): comprende las nacientes del sistema hasta el inicio del piedemonte donde se produce el primer cambio de pendiente.
- Cuenca Media (45 km²): Comprende desde el inicio del piedemonte hasta la confluencia de los arroyos San Diego y San Bernardo.
- Cuenca Baja (4 km²): abarca desde la confluencia del arroyo San Diego hasta la desembocadura en el río Sauce Grande.

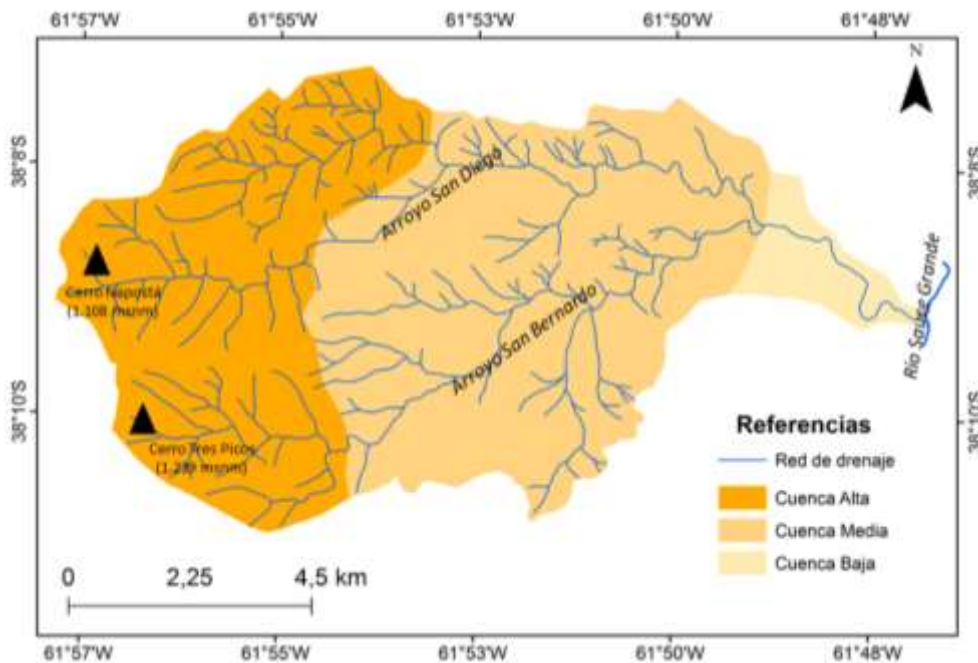


Figura 5.1 Red de drenaje. Cuenca del arroyo San Bernardo.

Fuente: elaborado por Volonté

Se siguió la metodología propuesta por Strahler (1964) para el trazado y jerarquización de la red de drenaje (Capítulo 3). Se entiende por cauce a “cualquier incisión en el relieve que de origen a una arroyada concentrada y que implique profundidades y amplitudes mayores a 30 cm continuadas a lo largo de más de 20 m hasta la unión con cauces de dimensiones similares o superiores” Senciales González (1999). El origen de una red de drenaje tiene lugar desde el momento en que se produce en el relieve cualquier inflexión capaz de concentrar el agua de escorrentía superando dimensiones mínimas que no puedan ser destruida por labranza o modificadas ante precipitaciones de corto periodo de retorno y que además continúe hasta unirse con otros cauces, ya sea de dimensiones semejantes o superiores dando lugar a la red de drenaje jerarquizada (Senciales González, 1999).

En la figura 5.2 se puede observar la red hidrográfica jerarquizada para la cuenca del arroyo San Bernardo. Se obtuvo un orden 5 de jerarquía máxima. Se identificaron y contabilizaron 383 cauces de los cuales el 78 % corresponden al primer orden (Tabla 5.1).

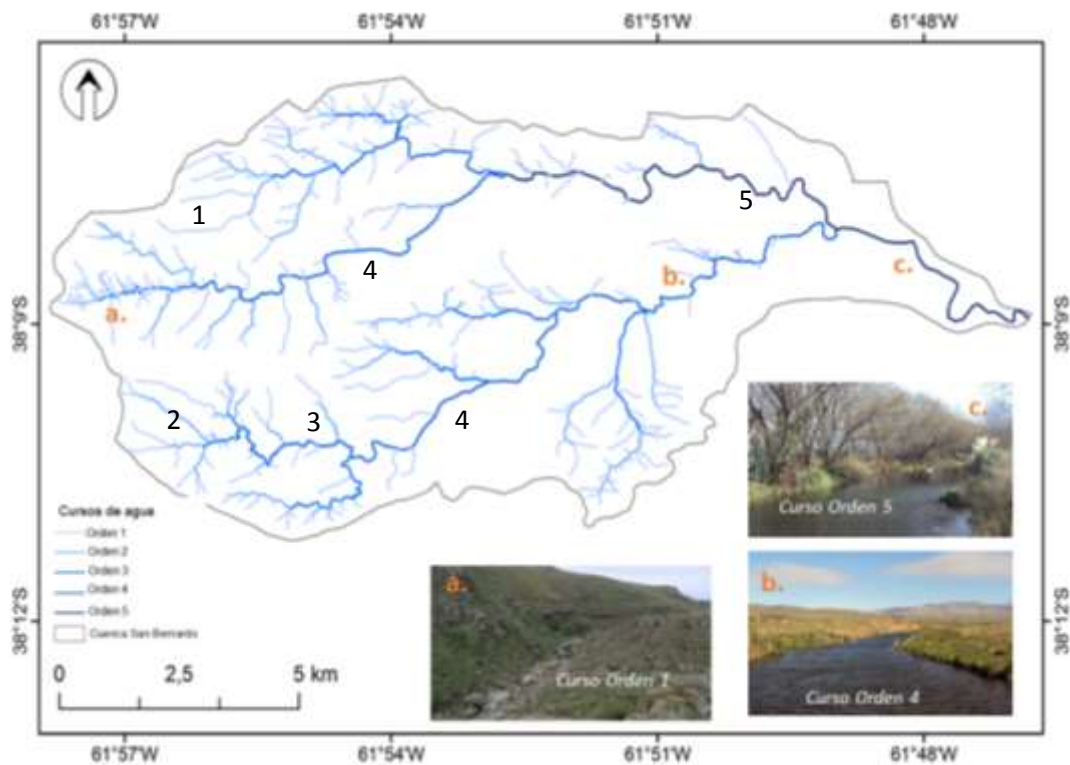


Figura 5.2. Jerarquización de la red de drenaje.

Fuente: elaborado por Volonté

Orden	1	2	3	4	5
Cuenca San Bernardo	299	66	13	4	1

Tabla 5.1. Número de segmentos de cauces de los diferentes órdenes jerárquicos.

Fuente: elaborado por Volonté

Uno de los caracteres cualitativos más importantes son los patrones de drenaje que se configuran asociados a sistemas morfodinámicos y cuya diversidad se fundamenta en causas climáticas, litológicas y/o estructurales (Senciales González 1999). La jerarquización realizada

permite definir la tipología de la red de drenaje, la cual según la clasificación establecida por Howard (1967) se trata de una red subdendrítica porque si bien sigue un patrón dendrítico, en la cuenca alta se puede observar una dependencia estructural principalmente por la presencia de fracturas que condicionan el trazado de los cauces. En la figura 5.3 se observan ejemplos en la cuenca alta donde el trazado de la red de drenaje se ve condicionada por fracturas paralelas, dando lugar a cursos encajonados y con fuertes pendientes y carentes de llanura de inundación.

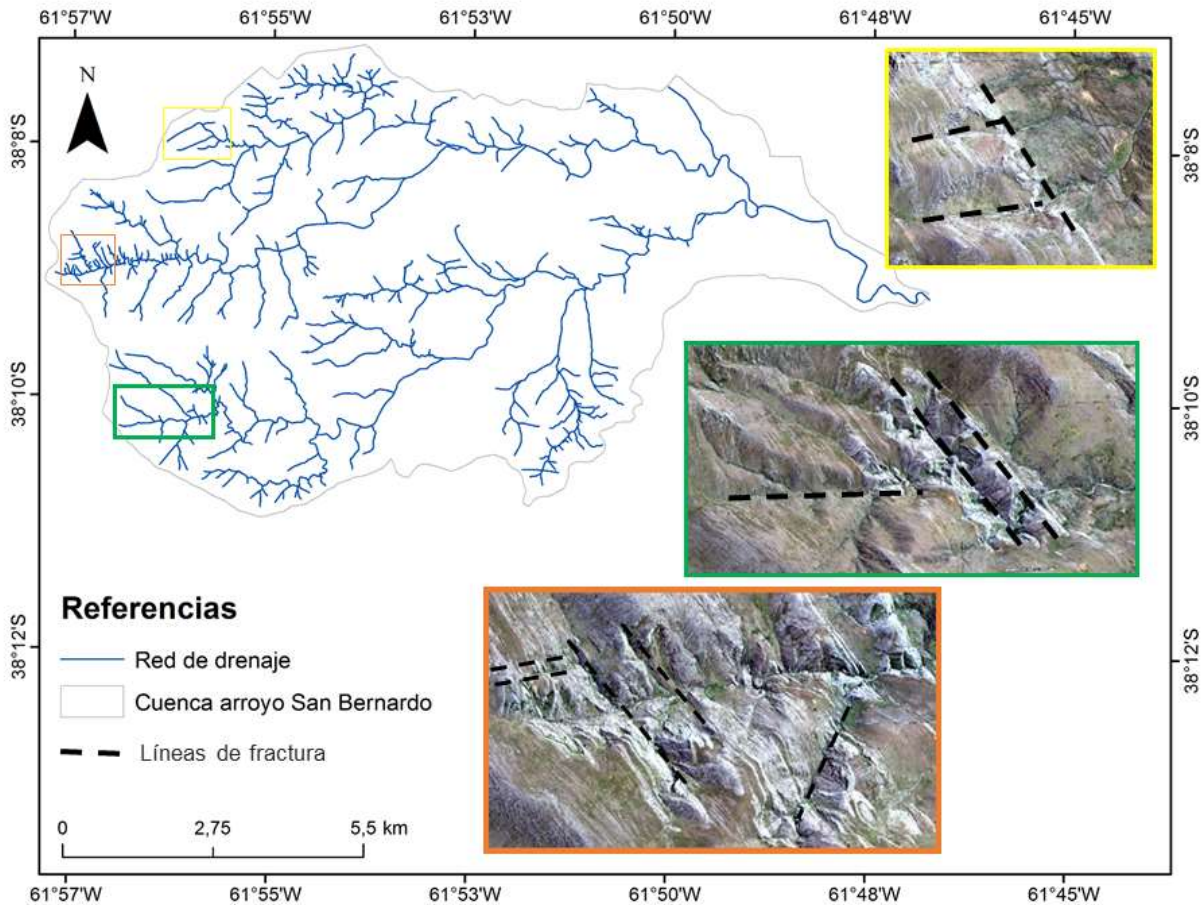


Figura 5.3 Tipología de la red de drenaje de acuerdo a Howard (1967)
Fuente: elaborado por Volonté

El cauce principal se identificó siguiendo el criterio topográfico recomendado por Senciales González (1999), considerando la máxima diferencia de cotas dentro de la cuenca. El cauce principal es el arroyo San Bernardo, el cual nace en el cerro Tres Picos (1.239 m s.n.m) la cota más alta de la cuenca y del sistema serrano.

5.2 La influencia de la vegetación en el comportamiento hidrográfico de la cuenca

En las cuencas serranas la vegetación adquiere un papel relevante ya que influye tanto en el flujo vertical, a través de la evapotranspiración, como en el horizontal al otorgar cierta rugosidad al terreno y retardar el escurrimiento (Argañaraz y Entraigas, 2010). La vegetación influye en el paisaje fluvial dependiendo del tipo de especie, generándose patrones característicos de distribución desde el curso principal del río hasta las partes más altas de la cuenca. A raíz de esto, existen diferentes combinaciones de árboles, arbustos y hierbas que se visualizan en las

imágenes satelitales. Estas unidades de paisaje se las pueden diferenciar, cuantificar y relacionar con el diseño geomorfológico del terreno (Sotelo, 2005)

La estructura de la vegetación, especialmente la cobertura, densidad y estratificación de la vegetación de ribera es importante en la magnitud y frecuencia de las inundaciones dado que producen cambios en el diseño del canal del escurrimiento (Petts, 1982; Stella *et al.*, 2013; Rivaes *et al.*, 2013). La existencia de vegetación fija en los bordes del canal marca la magnitud de eventos de inundación que serían necesarios para producir cambios en la forma del canal (Graf, 1979). Además, el establecimiento de vegetación permanente en las orillas del canal depende de factores hidrológicos (especialmente la variabilidad hidrométrica y la disponibilidad de humedad en el suelo) y geomorfológicos (como el grado de consolidación del suelo colonizable por plantas y la importancia de los procesos de erosión/sedimentación en cada punto de la planicie inundable) (Camacho Rico *et al.*, 2006).

Dada la importancia de la vegetación y la potencialidad de la teledetección para identificarla se utilizó una imagen satelital LANDSAT 8 OLI correspondiente al 12 de diciembre de 2014. Se seleccionó esta fecha porque muchas de las especies presentes en la cuenca media y baja tienen su mayor desarrollo entre primavera y verano, por lo cual la reflectancia es mayor y permite obtener mejores resultados en la combinación de bandas.

A partir de la combinación 5-4-3 (color infrarrojo) se identificaron las zonas con presencia de vegetación (en la gama de colores verdes) y las zonas con suelo desnudo (en la gama de los colores rosa). Como se puede observar en la figura 5.4 en la cuenca alta predomina el suelo desnudo y el roquedal, ocupando esta última una superficie de aproximadamente 22,9 km². Los roquedales aparecen como unidades discretas dispersas por los faldeos y las cumbres, con suelos someros y rodeados por extensiones de pastizal. En estas áreas existen condicionantes a escala micro climáticas que contribuyen a que se produzca una disminución del número de especies del pastizal, haciendo que algunas no estén presentes y otras sean escasas.

En la cuenca media y baja el suelo desnudo ocupa una superficie de 26,6 km². En esta área la vegetación forma una matriz representada por el pastizal pampeano cuya superficie es 32,4 km². El género representativo es *Stipa spp.*, *Paspalum* y pequeños grupos de *Briza subaristata*, son especies herbáceas que no superan los 25 cm de altura. El área comprendida por el pastizal no es homogénea e incluye corredores asociados al curso principal, predominantemente en la cuenca baja. Estos corredores se caracterizan por presentar especies arbóreas del género *Populus spp.* y *Salix Humboltiana*. Asociadas a las riberas la especie representativa es *Cortaderia selloana*.

Los excesos hídricos vinculados a lluvias abundantes afectan al ecosistema en forma recurrente. La vegetación que habita en estas áreas suele presentar adaptaciones fisiológicas, anatómicas o de comportamiento que le permiten ajustarse en forma flexible a las condiciones impuestas por las inundaciones como es el caso de la *Cortaderia selloana*. Los parches identificados dentro de la matriz son áreas homogéneas internamente pero diferente al pastizal que lo rodea. Estos no superan los 30 m de eje mayor y están compuestos por pequeños bosques de *Populus spp.*

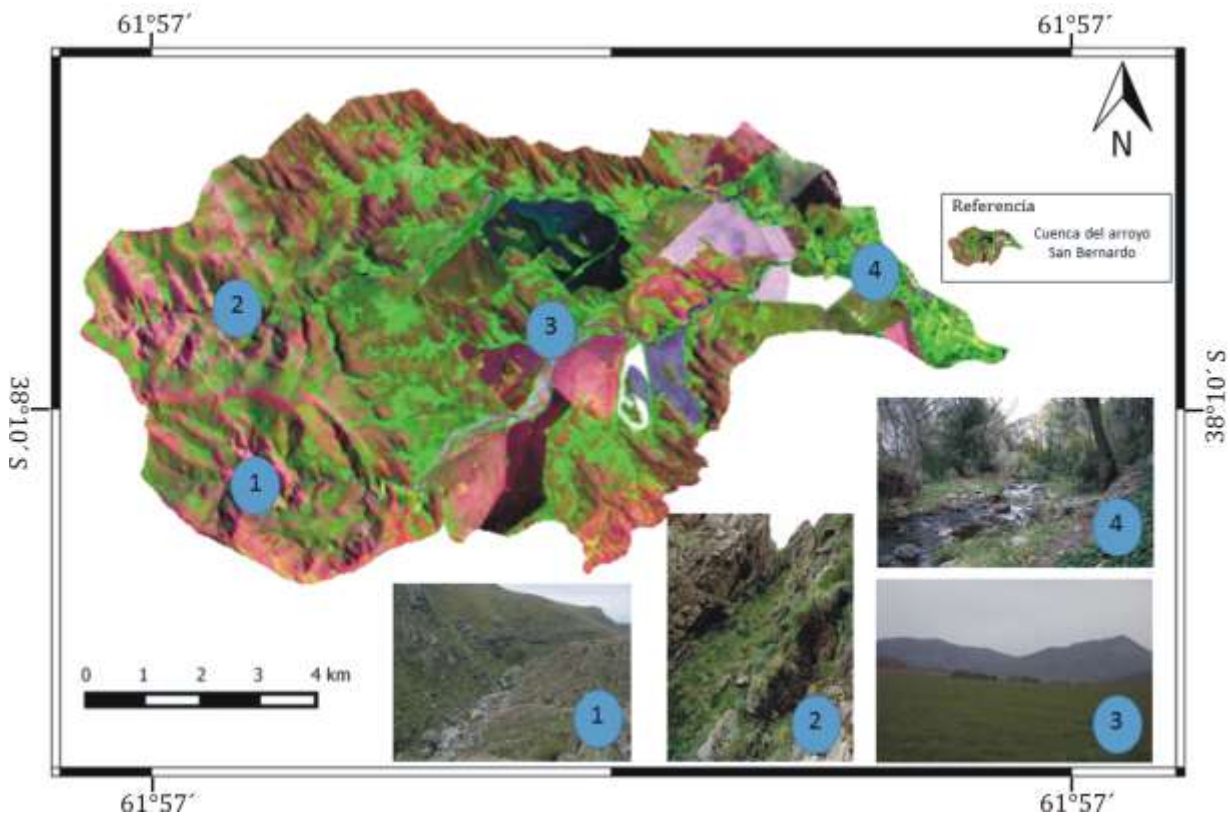


Figura 5.4 Áreas con vegetación en la cuenca del arroyo San Bernardo.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de imagen satelital LANDSAT 8 OLI

5.3 Análisis morfométrico de la red de drenaje

Según Strahler (1974) la morfometría fluvial se ocupa de la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial. Considera a la cuenca como un sistema geométrico plano, estudiado con el fin de cuantificar la evolución, definir el estadio en que se encuentra y evaluar su estado erosivo. En la morfometría fluvial se estudian diversas variables morfométricas que caracterizan la forma de una cuenca de drenaje. Estas características desempeñan un papel esencial en el análisis de variables físicas y de algunos componentes del ciclo hidrológico (erosión, infiltración, escurrimiento, etc.) de una cuenca natural (Jardí, 1985; Senciales González, 1999; Gil *et al.*, 2009). Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan una descripción física espacial que posibilita realizar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas. Al mismo tiempo aportan conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales.

Actualmente la morfometría es muy utilizada en cuencas que no cuentan con información meteorológica e hidrométrica o que estas estén desactualizadas. El análisis exhaustivo de este tipo de índices permite tener un mayor conocimiento sobre el comportamiento y la dinámica hídrica. La necesidad de obtener metodologías de estudios de la dinámica fluvial y el riesgo de crecidas en sectores donde las estaciones de medición con instrumentos son escasas o nulas significa un desafío (Gil, 2010; Busnelli y Horta, 2014).

5.3.1 Parámetros vinculados a las variables del relieve y a la forma y tamaño de la cuenca

Los parámetros vinculados a las variables de relieve son reconocidos por ser de medición directa, es decir, que se obtienen de mediciones efectuadas en los documentos cartográficos base. Algunos brindan información por sí solos y otros constituyen parámetros para el cálculo de nuevos índices (Jardí, 1985; Gentili, 2012). Además de los parámetros obtenidos de la jerarquización de los cauces (número de orden y longitud de los segmentos) se obtuvieron los parámetros que se presentan en la tabla 5.2.

VARIABLES DE FORMA Y TAMAÑO DE LA CUENCA		
Parámetros	Área de la cuenca	82,07 km ²
	Perímetro	45,78 km
	Longitud de la cuenca	20,9 km
VARIABLES DEL RELIEVE		
Parámetros	Altura máxima	1.239 m
	Altura mínima	250 m
	Altura media	474,6 m
	Desnivel absoluto	989 m
	Pendiente media de la cuenca	8,76 °
	Pendiente media del curso principal	47,3 °

Tabla 5.2 Parámetros de las variables de forma, tamaño y relieve de la cuenca.

Fuente: elaborado por Volonté

El área de una cuenca es un parámetro importante debido a que ante la existencia de iguales condiciones de alimentación por precipitaciones su tamaño tendrá incidencia en el volumen de agua recibida y en la potencialidad como agente en los procesos erosivos y de inundación. El área de la cuenca del arroyo San Bernardo es 82 km², lo cual según el criterio de Chow *et al.* (1994) se la clasifica como una cuenca chica. Con respecto al perímetro, su expresión morfológica evidencia la forma alargada de la red fluvial con una orientación oeste-este.

Las cotas máximas, mínimas, el desnivel, la pendiente y la longitud del curso principal son variables utilizadas en los diferentes índices. La cuenca se desarrolla sobre alturas que varían entre los 250 m s.n.m (altura mínima) a 1.239 m s.n.m (altura máxima- cerro Tres Picos). La diferencia entre estas dos alturas extremas definen un desnivel de 989 m el cual sugiere pendientes favorables a la génesis y activación de procesos erosivos y de transporte de materiales. Estos contrastes altimétricos implican el predominio de procesos erosivos por encima del valor de la altura media (476 m s.n.m) y de procesos de transporte y depositación por debajo de ella (Fig. 5.5).

Las características con respecto al área, el perímetro y el importante desnivel de la cuenca permiten suponer menores tiempos de concentración de la escorrentía superficial y mayor

susceptibilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos pronunciados y corta duración (Jardí, 1958; Senciales González, 1999).

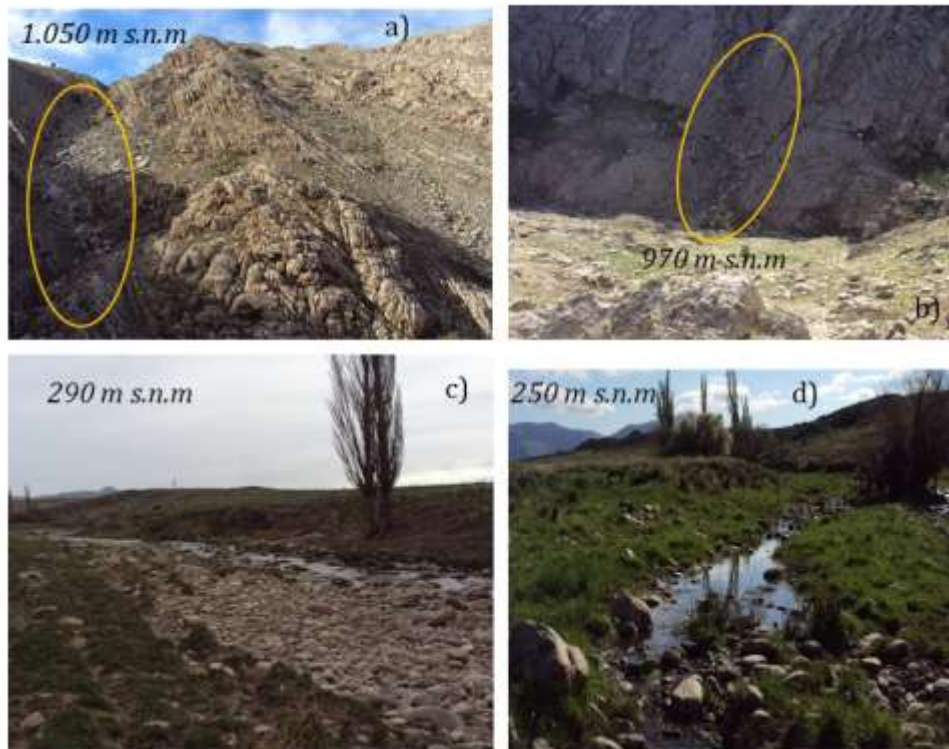


Figura 5.5 Procesos de erosión (Fig. a y b) y de deposición (Fig. c y d).
Fuente: fotografías tomada por Volonté (2015; 2016)

5.3.2 Índices vinculados con las variables topológicas y de longitud

Relación de bifurcación (R_b)

Se entiende por relación de bifurcación a la proporción que existe entre el número de segmentos de un orden dado y los del orden inmediato superior (Strahler, 1974). Es uno de los índices que más se utilizan porque determina la mayor o menor rapidez de las ondas de crecida, lo que define de alguna manera, el grado de peligrosidad de la cuenca. Los índices bajos suelen relacionarse con redes fuertemente ramificadas, lo que repercute directamente ante fuertes precipitaciones en ondas de crecidas rápidas (Senciales González, 1999; Jardí, 1985).

Según Senciales González (1999) los valores próximos a 2 revelan cuencas o áreas de escaso relieve, los valores entre 3 y 5 corresponden a áreas montañosas sin dependencia estructural y aquellos valores que superiores a 5 indican una fuerte dependencia. En el caso de la cuenca analizada la R_b promedio es 4,21 y se encuentra en el rango característico de los sistemas fluviales de zonas montañosas pero sin demasiado control estructural (Tabla 5.3). Este valor es coincidente con los obtenidos por Gentili (2012) para algunas subcuencas del arroyo Sauce Corto, como por ejemplo La Providencia ($r_b=4,25$); El Perdido ($r_b=4,18$) y por Scavonne *et al.* (2015) para la subcuenca del arroyo Ventana ($r_b=4,05$).

Del análisis de la relación de bifurcación entre los distintos órdenes se observa que entre el orden 1-2 y el orden 2-3 las relaciones son homogéneas lo cual no sucede entre el orden 3-4. Estos valores indican que la red de drenaje se encuentra, en general, bien jerarquizada. Sin embargo existen anomalías entre los cursos de orden 3 y los de orden 4, lo cual pueden deberse a cambios en la litología. Es decir que la litología se vuelva más permeable y necesiten menor cantidad de canales de drenaje para eliminar el exceso hídrico.

Índice R_b	Órdenes					Valor medio
Cantidad	1	2	3	4	5	-----
	299	66	13	4	1	-----
	$R_b(1-2)$	$R_b(2-3)$	$R_b(3-4)$	$R_b(4-5)$	----	-----
R_b	4,53	5,08	3,25	4	----	4,21

Tabla 5.3. Relación de bifurcación entre los distintos órdenes de la cuenca.

Fuente: elaborado por Volonté

Relación de longitud (R_l)

La relación de longitud es definida por Senciales González (1999) como la proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado y la de los segmentos del orden inmediato inferior. En general los cauces que presentan mayores longitudes suelen estar situados en áreas de fuertes pendientes. Los valores medios oscilan entre 1,5 en aquellas cuencas en las que se incrementa poco la longitud de los cauces y 3 para las cuencas en las que los órdenes superiores presentan grandes longitudes.

En el caso de la cuenca estudiada el valor obtenido (1,79) está ubicado cerca del valor medio y reafirma el concepto que la longitud aumenta cuando lo hace el orden de los cursos. Nuevamente se puede observar que la relación entre los órdenes 3 y 4 presenta un valor por debajo del valor medio lo cual según Senciales González (1999) implica una concentración de agua más intensa (Tabla 5.4). La R_l obtenida no coincide con la obtenida por Scavonne *et al.* (2014) para la subcuenca del arroyo Ventana ($R_l=0,89$) como así tampoco con los obtenidos por Gil (2009) para las subcuencas Abra Fea ($R_l=6,12$) o de Las Piedras ($R_l=3,10$), ambas subcuencas se encuentran en laderas opuestas cuya litología es diferente a la del arroyo San Bernardo.

Índice R_l	Órdenes					Valor medio
Longitud (km)	1	2	3	4	5	-----
	90,5	46,1	18,5	25,6	12,8	-----
	$R_l(1-2)$	$R_l(2-3)$	$R_l(3-4)$	$R_l(4-5)$	----	-----
R_l	1,96	2,49	0,73	2	-----	1,79

Tabla 5.4 Valores de la Relación de longitud.

Fuente: elaborado por Volonté

Índices vinculados a las variables tamaño y forma

Razón de elongación (R_e)

Este índice está en relación con la forma de la cuenca y se lo define como la razón entre el diámetro de un círculo con la misma área que la de la cuenca y la longitud del cauce principal de la misma (Schumm, 1963; Sala y Gay, 1981; Díez Herrero, 2001). Los índices más bajos, es decir cuencas poco circulares, suelen darse en áreas de gran meandrización y baja pendiente. La R_e atiende a la relación del área con el cauce principal que la drena. Cuanto más se acerca el valor a 1 más se aproxima la forma de la cuenca al círculo. Una cuenca circular presenta mayor retardo entre el momento de precipitación y el momento de crecida en la desembocadura.

El valor de elongación obtenido para la cuenca del arroyo San Bernardo es 0,47 e indica que la cuenca presenta una forma más bien alargada. Este valor coincide con los obtenidos por Gentili (2012) para las subcuencas Lolén Chico ($R_e=0,54$), Pantanoso ($R_e=0,45$). De modo general se puede inferir la respuesta hidrológica de la cuenca en función del valor obtenido. Se considera que las cuencas con valores bajos presentan un claro retardo en la concentración de la escorrentía a causa de la longitud del cauce principal y con ello mayor brusquedad de la crecida una vez concentrada el agua. Senciales González (1999) condiciona el retardo en función de factores adicionales como la pendiente, la superficie de drenaje o el control estructural.

Del análisis de manera conjunta de los resultados obtenidos para la R_b , R_l y R_e se concluye que el valor obtenido para R_b indica una rápida concentración que, combinado con una elongación baja, presenta un marcado retardo junto con picos de crecida bruscos. La relación de longitud baja reafirma la concentración brusca del agua y junto con la razón de elongación permiten inferir que la capacidad erosiva de los cauces es alta. Por la forma de la cuenca las crecidas van a ser más bruscas, sumado a que la longitud de los cauces, principalmente los de primer orden y el fuerte desnivel, los convierte en aún más torrenciales.

5.3.3 Índices vinculados con las variables del relieve

Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de la cuenca es 15,8 % ($8,7^\circ$) con un desvío estándar de 16,2% ($9,4^\circ$) (Fig. 5.6). Este valor es alto si se lo compara con cuencas del área serrana (Gil, 2009) como, por ejemplo: la del arroyo del Oro ($6,3^\circ$), la de El Negro ($3,9^\circ$) o la de El Zorro ($2,1^\circ$).

Pendiente media del curso principal

La pendiente media del curso principal es útil a fines interpretativos y clasificatorios porque incide directamente en la velocidad del caudal en el cauce y de esta forma condiciona su energía cinética y su potencia erosiva. En el caso del arroyo San Bernardo, la pendiente es 4,68 %. Este valor medio es poco representativo debido a que existe un desnivel marcado entre el comienzo del cauce principal y cuando el curso ingresa a la zona del piedemonte mientras que entre este último punto y la desembocadura en el río Sauce Grande (Fig. 5.6). Sin embargo, este valor de pendiente junto con el resto de los parámetros analizados en este capítulo favorece que disminuya el tiempo de concentración en la parte media y baja de la cuenca (5.7).

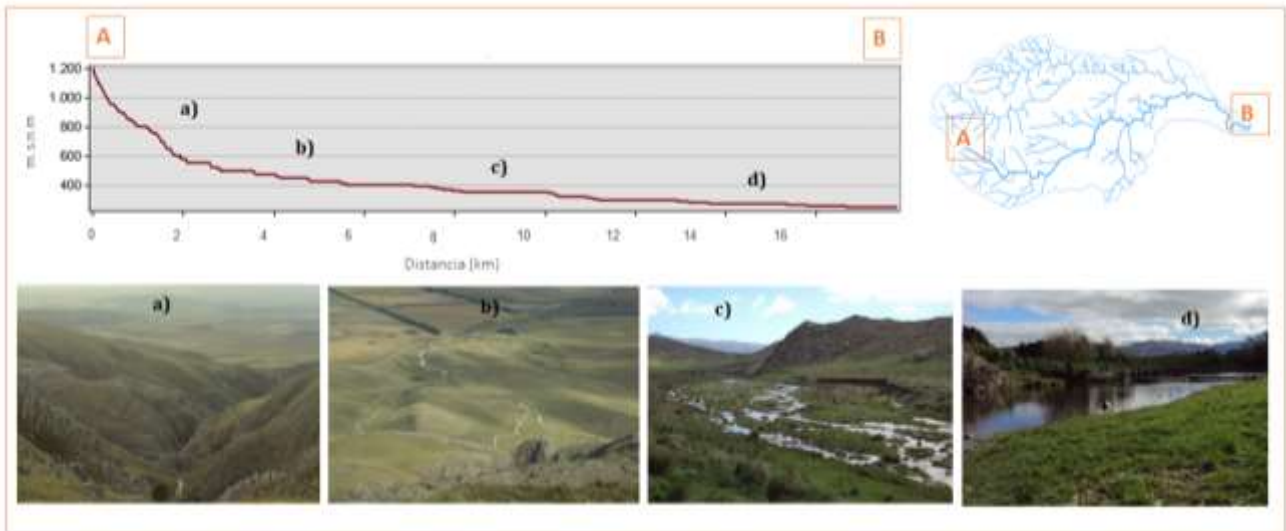


Figura 5.6 Perfil longitudinal del curso principal.
Fuente: elaborado por Volonté

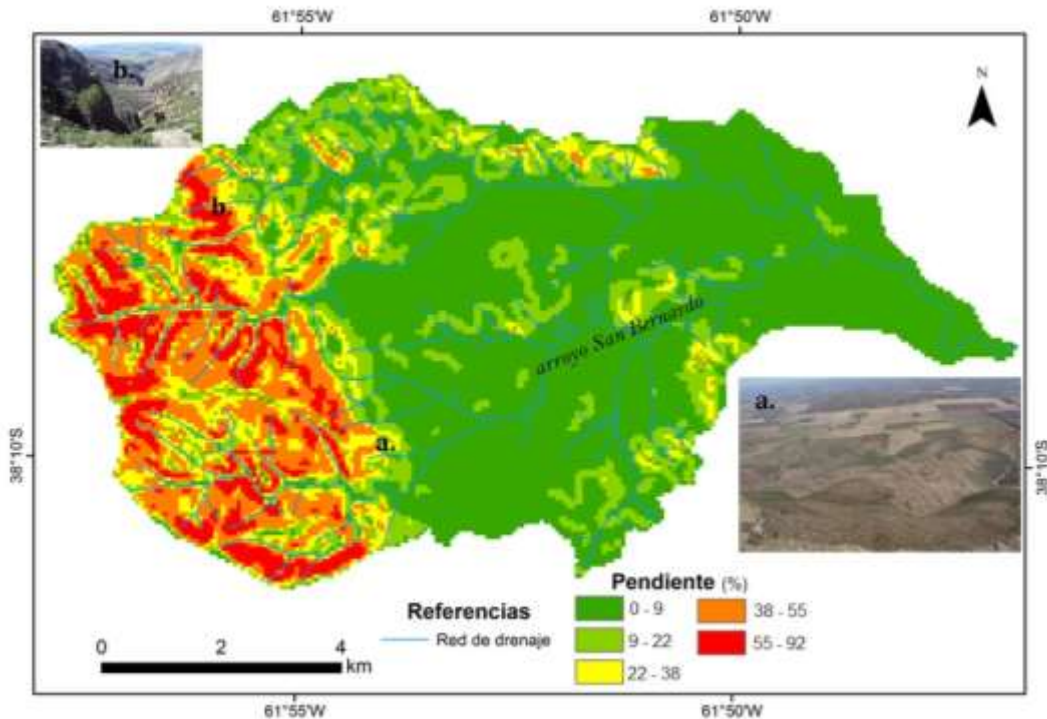


Figura 5.7 Pendientes de la cuenca del arroyo San Bernardo.
Fuente: elaborado por Volonté

Razón de relieve

La razón de relieve (R_r) es definida como la relación entre el desnivel máximo de la cuenca y su longitud máxima. La importancia de este parámetro está relacionada con la pérdida anual de sedimento. Una alta razón de relieve implica la posible mayor velocidad del caudal y mayor capacidad erosiva (Schumm, 1963). El resultado obtenido fue 0,04 el cual es coincidente con los valores calculados para otras subcuencas del área serrana (Gentili, 2012).

Relación de relieve

La Relación de Relieve (R) es la relación entre el desnivel absoluto de la cuenca y el perímetro de la misma (Melton, 1957). El valor obtenido para la cuenca es 0,02. El análisis en conjunto de ambos índices presume que en cuencas con fuertes desniveles absolutos los desniveles relativos son más suaves. Una razón de relieve alta implica mayor desnivel, mayor velocidad del caudal y mayor capacidad denudativa. Esta capacidad es potencial, ya que depende de la presencia del caudal y de su volumen, de la intensidad de las precipitaciones que provocan caudales diferentes y de la resistencia del sustrato a ser erosionado por la acción mecánica.

5.3.4 Índices vinculados con las variables de la intensidad del drenaje concentrado

Densidad de drenaje (Dd)

La Dd es el cociente entre la longitud total de los cursos de agua de una cuenca y el área de la misma (km/km²). Es uno de los índices más importante porque se vincula al estado erosivo de la red de drenaje. Un área con alta densidad de drenaje posee mayor superficie ocupada por canales de drenaje reservando una superficie de dimensiones variables para conducir con mayor velocidad el caudal generado por el agua de escorrentía (Horton, 1945). El valor obtenido para la cuenca analizada es 2,36 km/km². Según la clasificación de Strahler (1974) este valor corresponde a bajas densidades de drenaje o texturas gruesas, caracterizadas por materiales duros y resistentes como las areniscas y cuarcitas.

Frecuencia de drenaje (Fd₁) de los cauces elementales

La Fd₁ es la relación existente entre el número de cauces de primer orden y el área de la cuenca. Se expresa en número de cauces por kilómetro cuadrado. Este índice señala la intensidad de los procesos iniciales de arroyada y permite inducir las posibles causas al relacionarlo con otros factores del medio como la cubierta vegetal o las precipitaciones (Strahler, 1964).

El valor obtenido para la cuenca fue 3,64, valor por encima al obtenido por Gentili (2012) para la subcuenca El Campamento (Fd₁= 0,71) o Lolén Chico (Fd₁=2,39). Es importante remarcar que la base sobre la cual se realizó la jerarquización y posterior análisis morfométrico fue a escala 1:1.400 lo que permitió mayor nivel de detalle al momento de digitalizar los órdenes uno.

Coefficiente de torrencialidad (Ct)

El Ct se obtiene a partir de la relación entre los cursos de orden 1 y la superficie de la cuenca, entendiendo que a mayor número de cursos de orden 1 y menor superficie la torrencialidad de la cuenca es mayor. Es un indicador muy relacionado con los procesos de erosión lineal y con la capacidad de descarga de una cuenca (Senciales González, 1999). Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad (Martí y Soriano Soto, 1994). Los ríos de orden 1 son los cursos fluviales de mayor importancia en la generación de flujos torrenciales y de crecidas repentinas. En la cuenca el Ct es 8,6 cauces/km² lo cual indica una alta torrencialidad y probabilidad de crecidas espontáneas. Este valor es superior a lo calculado por Scavonne *et al.* (2014) quienes obtuvieron Ct= 0,36 para el arroyo Ventana y Ct=1,13 para la cuenca alta de dicho arroyo.

Con respecto a la metodología utilizada para digitalizar la red de drenaje y posteriormente jerarquizarla permitió obtener un mayor nivel de detalle. Si se comparan los resultados obtenidos

por Gil (2009) a escala 1:50.000 se puede observar cómo los resultados obtenidos para iguales índices morfométricos se incrementan al aumentar la escala obteniéndose así mejores resultados del comportamiento de la cuenca (Tabla 5.5). También es importante destacar que si bien el arroyo San Bernardo es considerado el curso principal por presentar la mayor diferencia de altura, el arroyo San Diego es el único de orden 5 de la cuenca, lo cual convierte al arroyo San Bernardo en su afluente.

Parámetro/Índice	Calculados a escala 1:50.000 (Gil, 2009)	Calculados a escala 1:1.400
Número de cursos	207	364
Rb	3,64	4,21
D	1,93	2,36
Fd₁	1,89	3,64
Ct	3,65	8,6

Tabla 5.5 Comparación de índices a diferentes escalas.

Fuente: elaborado por Volonté

La consideración conjunta de los índices y parámetros calculados anteriormente permiten concluir de manera relativa que, ante la ocurrencia de eventos de precipitación extremos, la potencialidad para que ocurran crecidas es alta. Los índices de Rb y Re asociados a la topología y forma respectivamente revelan una cuenca con potencialidad de generar crecidas torrenciales ante la ocurrencia de precipitaciones intensas. Los valores obtenidos para los índices de intensidad de la escorrentía concentrada (Dd y Ct) corroboran lo expresado anteriormente.

5.4 La dinámica hidrológica a partir del análisis del caudal

La descripción del comportamiento hidrológico de un río comienza con el conocimiento de los caudales y de sus variaciones. Elementos básicos para el cálculo del caudal son: la velocidad de la corriente y el perímetro mojado. El perímetro mojado hace referencia a la superficie ocupada por el agua al realizar un corte transversal sobre el canal. La velocidad depende de la pendiente y de la geometría del canal por ello, pueden existir diferencias de velocidad dependiendo de las características de la sección de control. Al momento de analizar los caudales que circulan en la red de drenaje se debe tener en cuenta: las características fisiográficas de la cuenca que los origina, el relieve, donde fueron medidos los aforos (cuenca alta, media o baja), la pendiente del cauce, etc., (Bruniard, 1992). Es importante analizar los caudales medios puntuales y los caudales máximos. Mediante los primeros se caracteriza el comportamiento general de la cuenca, en tanto que los caudales máximos son los responsables de las mayores transformaciones de los cauces.

5.4.1 Los caudales históricos

La cuenca del arroyo San Bernardo contó con una estación de aforo oficial en el periodo 1938-1943. A partir de los datos de las estadísticas hidrológicas para este periodo se hicieron gráficos comparativos de los caudales medios mensuales y medios anuales. En la figura 5.8 se observa la distribución mensual de los valores medios para cada año. El otoño y primavera presentan los valores máximos en la mayor parte del año. En marzo y octubre se registraron los

valores más importantes para el año 1941 y 1940. En 1938 y 1941 el mayor valor fue en el mes de marzo mientras que en 1939 y 1942 los mayores valores se presentaron en junio, seguido de marzo y octubre. El periodo de estiaje se produce en enero para todo el periodo analizado. El año con los mayores valores fue 1940 llegando a presentar en el mes de junio un caudal promedio de 4,26 m³/s.

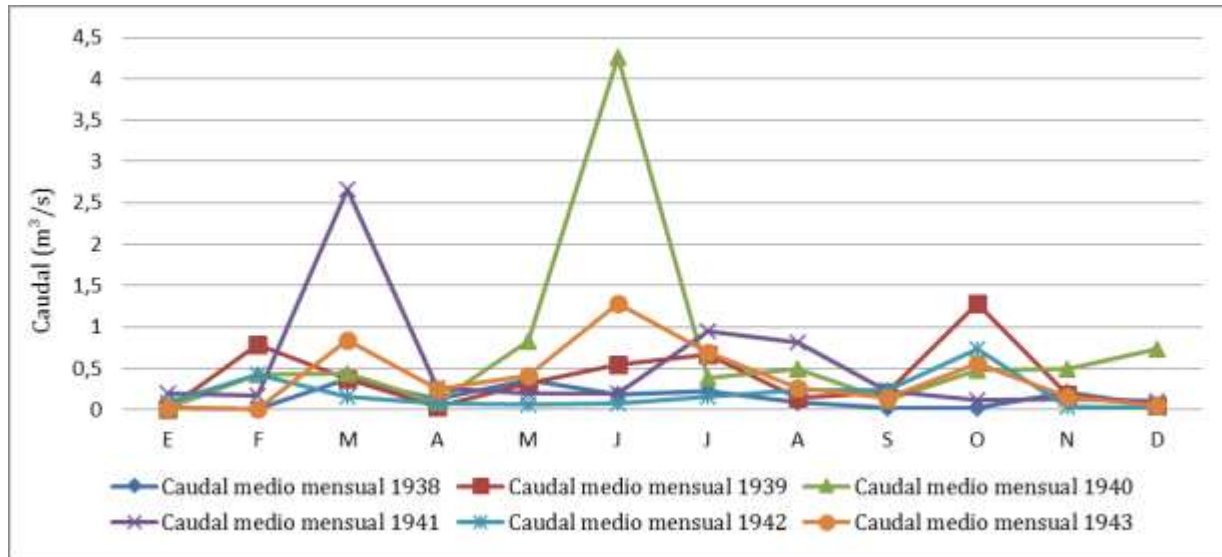


Figura 5.8. Caudales medios mensuales (1938-1943).

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base del anuario Hidrológico de la Dirección General de Agua y Energía Eléctrica

Con respecto a los valores anuales (Fig. 5.9) el año con mayor caudal medio fue 1940 (0,732 m³/s), seguido de 1941 y 1943 (0,504 m³/s y 0,391 m³/s respectivamente). Gil (2010) comparó los caudales medios mensuales y las precipitaciones medias mensuales para el año 1940 (Fig 5.10). Utilizó los datos correspondientes a la cuenca del río Sauce Grande (La Toma), la sub cuenca del arroyo San Bernardo y la sub cuenca del arroyo El Negro. Para las precipitaciones seleccionó los datos de las estaciones Peralta, Sierra de la Ventana y Saldungaray.

En la figura 5.10 se observa que el mes de junio es el que presenta el mayor pico de caudal en las tres cuencas aforadas, si bien La Toma presenta valores muy por encima de las otras dos subcuencas. Según Gil (2010) este mes es coincidente con las mayores precipitaciones medias superando los 100 mm. Este comportamiento no es uniforme a lo largo del año ya que se observa que ante precipitaciones de valores similares en los meses de marzo-abril la respuesta reflejada en el caudal no fue la misma. Esto puede deberse a que en estos meses se produjo la recarga del sistema, al continuar las precipitaciones se generó un excedente que se ve reflejado en los valores de junio.

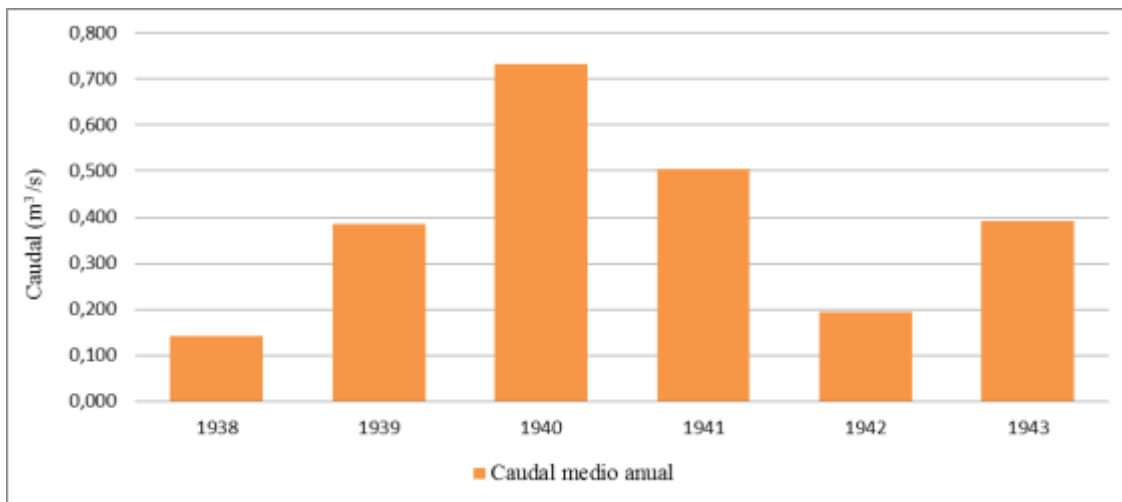


Figura 5.9 Caudales medios anuales (1938-1943).

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base del anuario Hidrológico de la Dirección General de Agua y energía Eléctrica

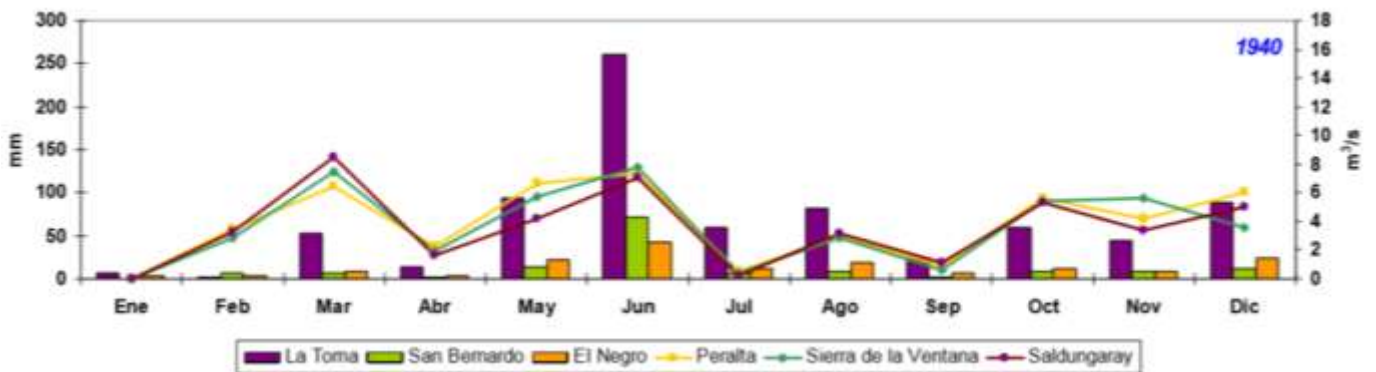


Figura 5.10 Comparación entre los caudales medios mensuales y las precipitaciones medias mensuales para el año 1940. Las barras indican los caudales y las líneas la precipitación.

Fuente: Gil (2010)

5.4.2 Cálculo y análisis de caudales a partir de aforos con correntómetro

Se realizaron mediciones en la cuenca media y baja (Fig. 5.11). La forma de aforamiento y la obtención del resultado final se indicaron en el capítulo 3. Se midieron caudales en el arroyo San Diego y en el arroyo San Bernardo antes y después de su confluencia. La mayor frecuencia en las mediciones se realizó en la zona más cercana a la localidad de Sierra de la Ventana ya que fueron complemento de otras variables medidas en campo que serán trabajadas en los capítulos siguientes. Los resultados obtenidos se encuentran indicados en la figura 5.11. Dichos valores son el promedio de al menos 3 mediciones en el mismo lugar en diferentes momentos del año.

Los valores obtenidos permiten observar que el caudal que aporta el arroyo San Diego al curso principal es 0,658 m³/s, siendo el valor más alto de los obtenidos. Siguiendo este razonamiento, durante un evento de precipitación intensa, el caudal que aporta el arroyo San Diego podría magnificar la crecida en la cuenca baja.

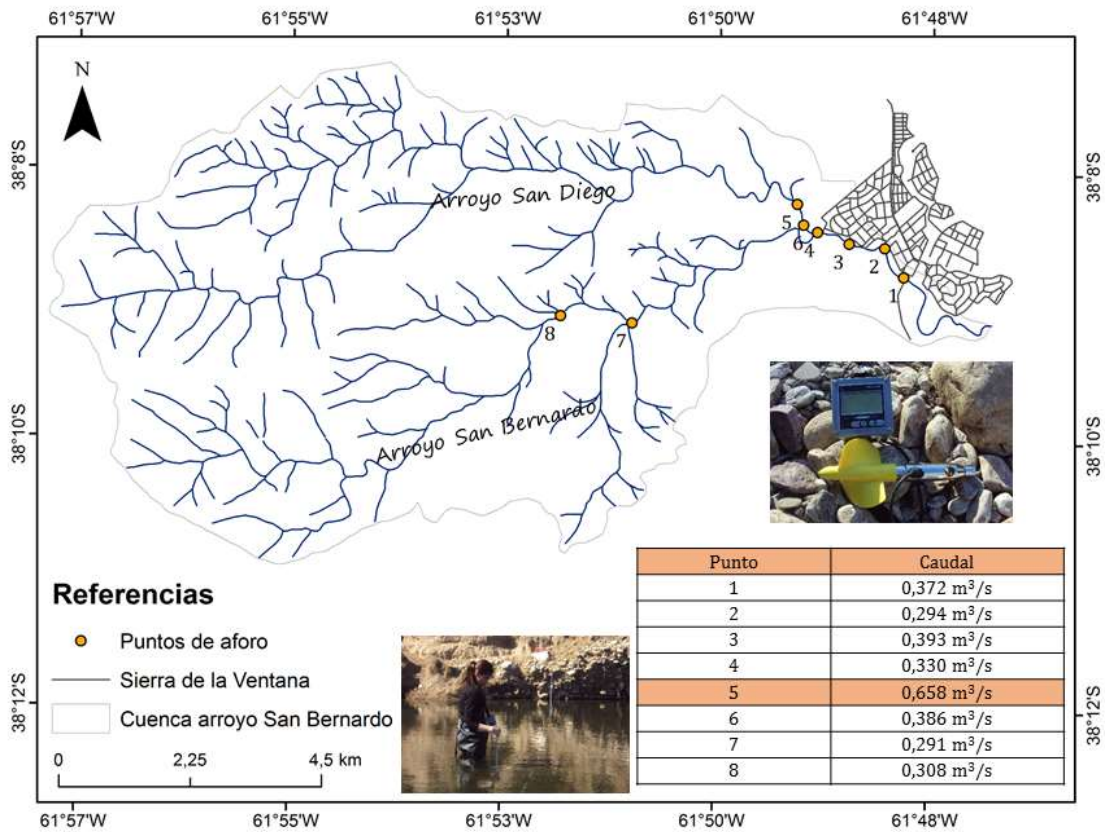


Figura 5.11 Localización de los sitios de aforo.

Fuente: elaborado por Volonté

5.5 Eventos extremos de precipitación generadores de crecidas en la cuenca

Previo a la explicación de los eventos extremos en la cuenca del arroyo San Bernardo se caracterizaron las precipitaciones y las situaciones sinópticas que las generan. Para ello se utilizaron los datos anuales correspondientes al periodo 1915-2008. Esta información corresponde a una estación meteorológica localizada en la cuenca media del río Sauce Grande y se la considera representativa del área.

Como se puede observar en la figura 5.12 las precipitaciones son variables, encontrándose años por encima de la precipitación media anual (738 mm) como por ejemplo 1919 (1.154 mm), 1946 (1.364 mm), 1948 (1.133 mm), 1963 (1.088 mm), 1985 (1.146 mm) y 2001 (1.173). Por debajo de la media se encuentran años como 1962 en el cual las precipitaciones anuales apenas superaron los 300 mm. Los años que presentan los mayores valores no siempre coinciden con años con crecidas importantes, esto se debe a que para que se produzca una crecida las precipitaciones deben ser concentradas en tiempo y lugar.

En el capítulo 4 se mencionó que las situaciones generadoras de precipitaciones en el área de la cuenca son principalmente lo que se conoce como "Onda Frontal". Estas son resultado de la combinación de un frente cálido y un frente frío asociados a un centro de baja presión. Es generadora de lluvias, nieblas, tormentas eléctricas y fuertes vientos, durante 24 horas o más. Esta situación ocasionalmente termina en un viento "Pampero" (con dirección suroeste-noreste) y un descenso de la temperatura (Celemín, 1984).

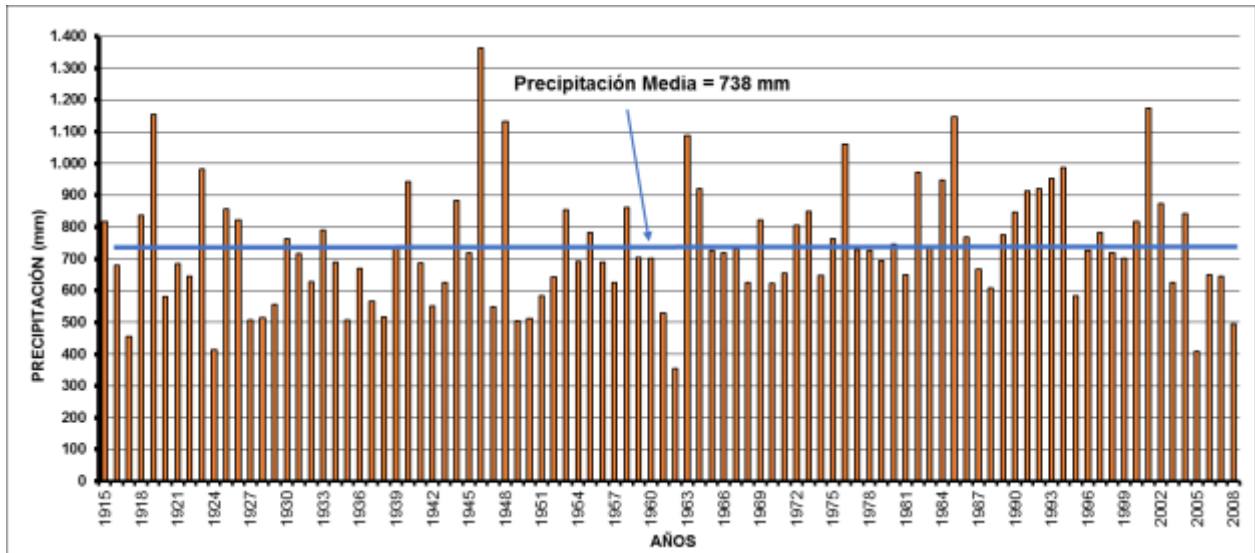


Figura 5.12 Precipitaciones anuales para el período 1915-2008.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de datos provistos por Gil (2010)

A modo de ejemplo se analiza la situación sinóptica causante de las precipitaciones que provocaron la crecida del arroyo San Bernardo el 17 de marzo de 2015 para la cual se realizó el Hidrograma Unitario. Se seleccionó este evento porque a la fecha de esta tesis es el último ocurrido en la cuenca cuyas consecuencias afectaron a la población. Las precipitaciones comenzaron el día 12 de marzo a partir de la presencia de un frente frío combinado con un frente cálido. Durante las primeras horas se observa el avance del frente junto con vórtices (flujos turbulentos) y la presencia de nubes del tipo Cumulus, las cuales presentan gran desarrollo vertical y están asociadas al avance de tormentas y precipitaciones intensas (Fig. 5.13). Estas condiciones meteorológicas se mantuvieron durante toda la jornada comenzando a precipitar sobre las 18:00 horas.

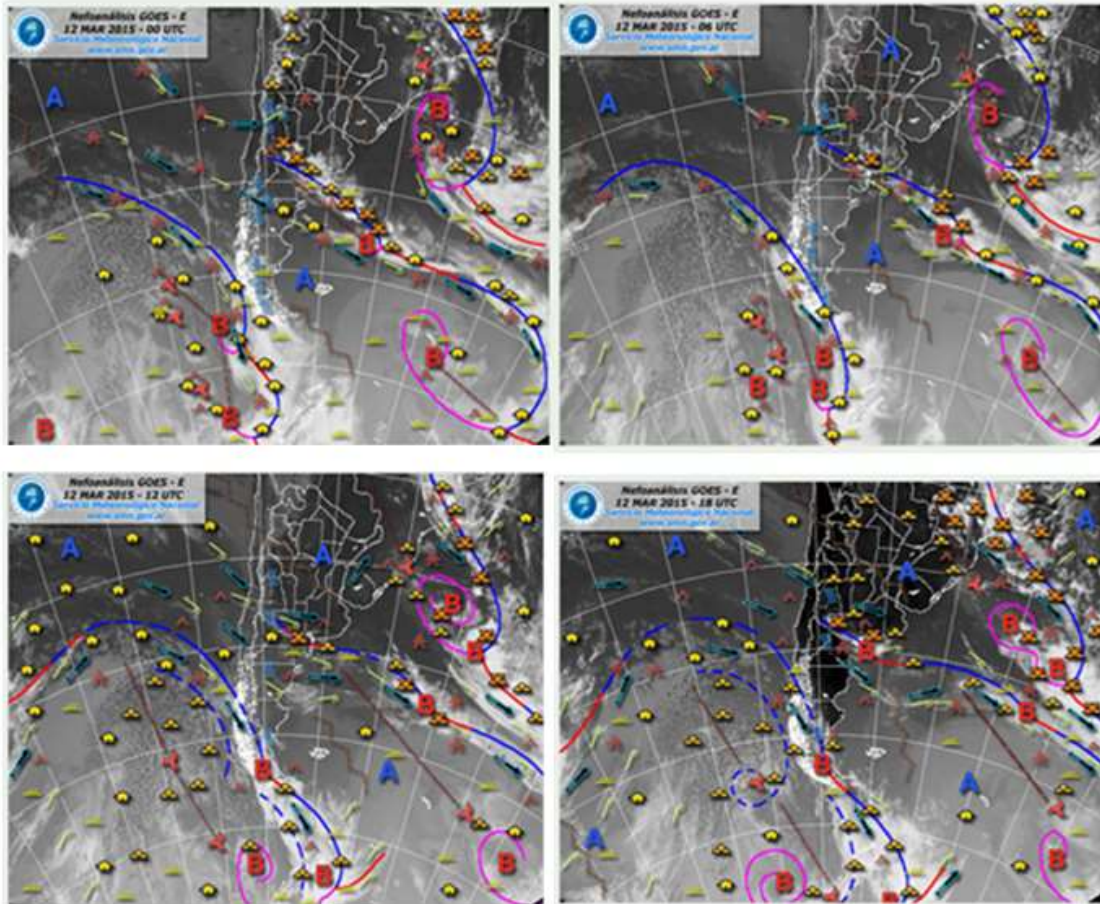


Figura 5.13 Situación sinóptica para el día 12 de marzo de 2015.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

La situación de inestabilidad continuó hasta el 18 de marzo. La precipitación acumulada fue de 210 mm siendo la más importante por la intensidad y el milimetraje la ocurrida el 17 de marzo. Ese día precipitaron 82 mm en una hora y fue el evento generador de la crecida del arroyo. En la figura 5.14 se observa la situación sinóptica para el 17 de marzo, se observa la presencia de ondas de montaña, fenómeno atmosférico que acontece como consecuencia de la incidencia de un flujo de aire sobre el sistema montañoso que actuó como una barrera orográfica y es un indicador de situaciones de inestabilidad. Asociado a este efecto se encuentra el avance del frente y la presencia de Cumulonimbus. Esta situación se mantuvo durante todo el día.

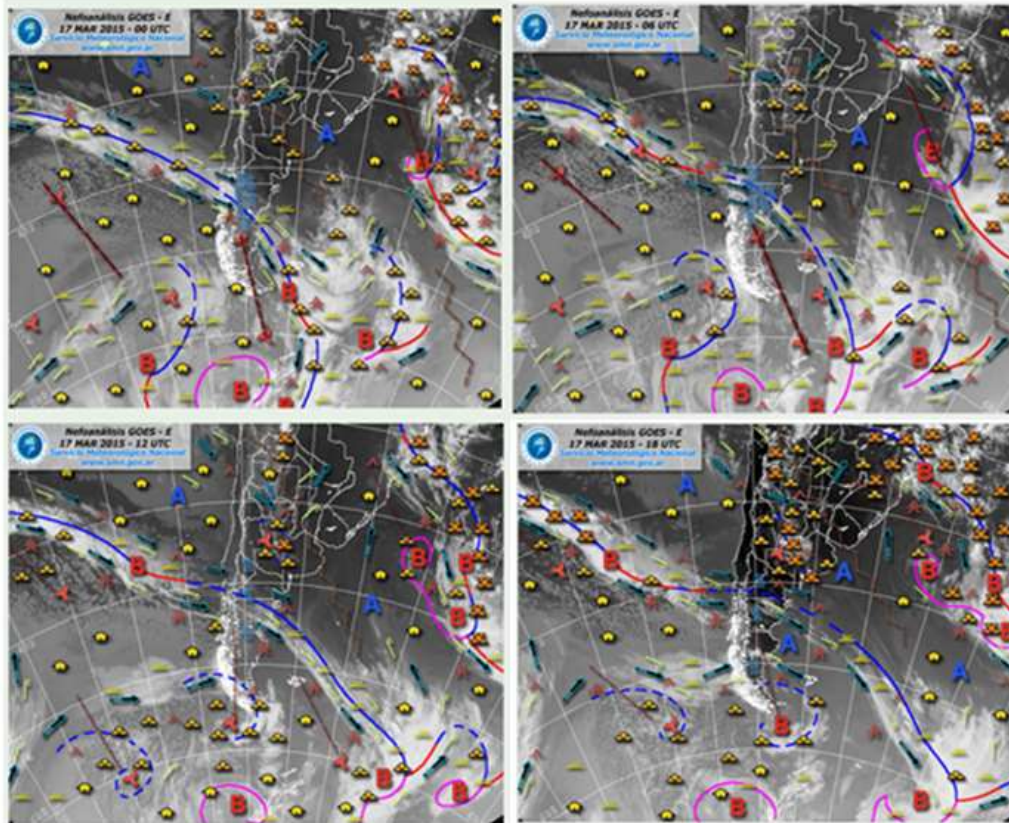


Figura 5.14 Situación sinóptica para el día 17 de marzo de 2015.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Tanto en la cuenca del río Sauce Grande como en la del arroyo San Bernardo ocurren crecidas repentinas que ocasionaron el aislamiento temporal, la inundación de sectores urbanos aledaños al curso principal, la evacuación de personas y pérdidas tanto humanas como económicas. A continuación se enumeran los casos de precipitaciones extremas más importantes asociados a desbordes y crecidas de los arroyos de la cuenca del río Sauce Grande ocasionando consecuencias no deseadas sobre la población.

Crecidas del río Sauce Grande

- **Evento 1**

Ocurrió el día 7 de abril de 1944. Las precipitaciones fueron torrenciales, 124 mm entre las 19:30 h del 6/10 y las 8:00 h del 7/10 mientras que la noche del 7/10 precipitaron 160 mm más. El total de lluvia en algunos sectores de la cuenca superó los 300 mm. La localidad de Villa La Arcadia fue la más afectada aunque también se produjo el desborde e inundación de sectores en la localidad de Sierra de la Ventana, especialmente en los lugares donde el arroyo San Bernardo confluye con el río Sauce Grande. Fallecieron 27 personas y numerosos campos quedaron inundados.

En una entrevista realizada por la radio de Sierra de la Ventana FM Reflejos (103.7) en abril de 2014, año en el que se cumplían 70 años de la crecida, Velia Rubín sobreviviente de ese episodio, dio su testimonio:

"Mi abuelo falleció porque lo llevó con casa y todo (...) Esa mañana me levanto para ir a trabajar, cuando miro para el lado del cementerio veo que la casa de mi abuelo no está...Era Jueves Santo, durante parte de la noche del 7 y la madrugada del 8 de abril se produjo la lluvia torrencial, troncos y plantas enteras con la se fueron desprendiendo y el agua las arrastró hasta el cauce del Sauce Grande, produciendo un gran dique lo que hizo de contención a una enorme masa de agua. Cuando ese dique cedió, la gran cantidad de agua y resaca fueron inundando y arrastrando todo a su paso..."

Los efectos de este evento se vieron reflejados en el diario La Nueva Provincia, en donde se destacaban las consecuencias de las precipitaciones a lo largo de la cuenca (Fig. 5.15).



Figura 5.15 Imágenes y titulares asociados a la crecida de 1944 en el diario La Nueva Provincia.
Fuente: Gil (2010) y archivo del diario La Nueva Provincia

- **Evento 2**

El 7 de octubre de 2003, como producto de las precipitaciones intensas ocurridas entre el 6/10 y el 7/10, el milimetraje alcanzó los 290 mm. Los desbordes e inundaciones se produjeron en varios sectores de la localidad de Sierra de la Ventana, afectando principalmente al barrio Valle Hermoso. El caudal estimado para este evento fue 900 m³/s durante el pico de la crecida. No se registraron víctimas mortales y las personas evacuadas ascendieron a 180.

Crecidas del arroyo San Bernardo

- **Evento 3**

El 26 de enero de 2011 entre las 15:00 y 17:00 horas precipitaron en el cerro Tres Picos 220 mm. Se debió evacuar a turistas que se encontraban veraneando en el balneario San Bernardo tras la repentina crecida. No se registraron víctimas fatales pero sí estuvo cortado el tránsito en la

ruta 72 sobre el puente que une la localidad de Saldungaray con Sierra de la Ventana. El arroyo San Bernardo desbordó unos 100 metros hacia cada lado del cauce y casi un metro por encima de las barandas del puente, arrastrando a su paso árboles enteros. El gran caudal también provocó que el agua pasara el puente del ferrocarril ubicado en las inmediaciones. En la figura 5.16 se pueden observar el desborde del arroyo y la altura que alcanzó al sobrepasar el puente.



Figura 5.16 Desborde y crecida del arroyo San Bernardo (25/01/2011).

Fuente: fotografías de Volonté (2011) y Sierra de la Ventana (online)

<https://www.facebook.com/SierraDeLaVentanaBuenosAiresArgentina/?fref=ts>

- **Evento 4**

El 7 de abril de 2014 las fuertes lluvias ocasionaron el corte de la ruta provincial 72 hacia Saldungaray, imposibilitando el paso vehicular por el puente ya que el agua cubría unos 200 metros hacia ambos márgenes de su curso natural. Por ello, durante toda la noche personal policial de Saldungaray de un lado y de Sierra de la Ventana del otro, permaneció apostado en el lugar para evitar que desprevenidos intentaran cruzarlo con sus vehículos (Fig. 5.17).



Figura 5.17 Desborde del arroyo San Bernardo y corte del puente sobre la RP 72.

Fuente: Sierra de la Ventana (online)

<https://www.facebook.com/SierraDeLaVentanaBuenosAiresArgentina/?fref=ts>

- **Evento 5**

Se desarrolló el día 23 de agosto de 2014 luego de una precipitación de 100 mm en 6 horas. Las consecuencias se limitaron al corte temporal de la ruta provincial 72 por el desborde del arroyo. En la figura 5.18 se puede observar el aumento en el nivel del curso tomando como referencia el puente del ferrocarril antes y después de las precipitaciones.

- **Evento 6**

El 17 de marzo de 2015 la localidad de Sierra de la Ventana fue afectada por un evento de máxima crecida ordinaria generada a partir de eventos de precipitación que comenzaron el 11 de marzo y de los cuales el más importante ocurrió el día 17 de marzo (82 mm en 2 horas). Esto provocó el desborde del arroyo San Bernardo e impidió la comunicación por ruta entre las localidades de Sierra de la Ventana y Saldungaray. Los cambios morfológicos que quedaron en evidencia cuando el caudal volvió al estado normal se registraron principalmente en la cuenca baja del curso de agua (Fig. 5.19).

Durante la crecida



Después de la crecida



Figura 5.18 Crecida del arroyo San Bernardo en las inmediaciones del puente del ferrocarril.

Fuente: fotografía Gil (2014)



Figura 5.19 Daños ocasionados por la crecida del 17/03/2015.

Fuente: fotografía de Volonté (2015)

5.6 Análisis de un Hidrograma Unitario Sintético (HUS) para la crecida del 17 de marzo de 2015

Los métodos para derivar hidrogramas unitarios para cuencas sin estaciones de medición están basados en formulas teóricas o empíricas que relacionan el caudal máximo y las características de tiempo de duración de la cuenca. El resultado de estos métodos se denomina Hidrograma Unitario Sintético. Esta teoría fue propuesta por Snyder (1938) y adaptada a cuencas pequeñas por Gray (1961). Cuando no existen registros de caudales, como ocurre en el caso de la cuenca del arroyo San Bernardo, este hidrograma permite simular la respuesta de la cuenca ante un evento específico. El hidrograma unitario se define como el hidrograma de escurrimiento debido a una precipitación con altura en exceso, unitaria, repartida uniformemente sobre la cuenca, con una intensidad constante durante un período específico de tiempo. Como las características fisiográficas de la cuenca (área, forma, pendiente, etc.) son relativamente constantes, cabe esperar una considerable similitud en la forma de los hidrogramas, correspondientes a precipitaciones de características similares (duración, intensidad, distribución, cantidad de escurrimiento, etc.) (Chow *et al.*, 1994).

El hidrograma típico (Fig. 5.20) consta de una curva ascendente, un segmento de cresta (punto donde se alcanza el máximo caudal) y la curva de recesión. La forma de la curva ascendente está influenciada por las características de la lluvia que causa el ascenso. La forma de la recesión en cambio es independiente de ello y más bien depende de las características de la cuenca. Se asume por lo general que el punto de inflexión de la curva de recesión coincide con el tiempo al cabo del cual cesa la escorrentía superficial hacia los cursos; de ahí en adelante la curva representa el aporte de agua almacenada dentro de la cuenca (Chow *et al.*, 1994; Remenieras, 1974).

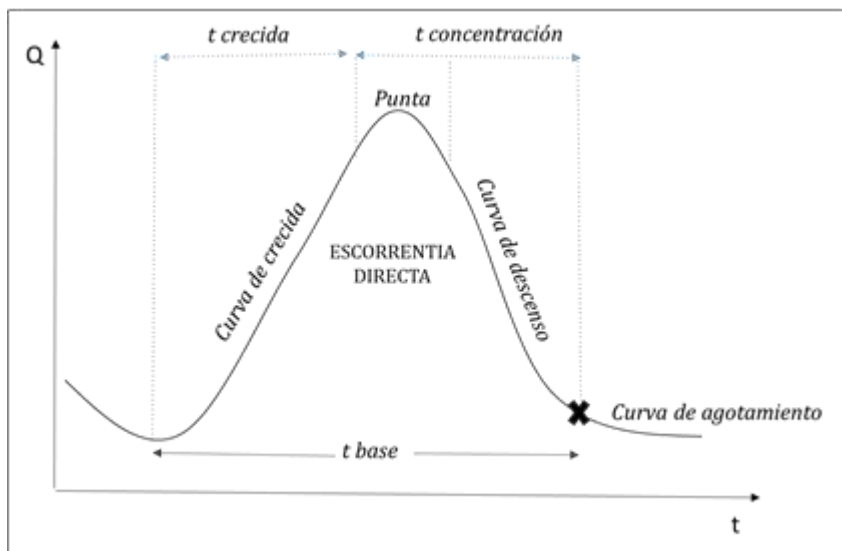


Figura 5.20 Hidrograma típico.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Chow *et al.*, 1994.

Hidrograma unitario para la crecida del 17 de marzo de 2015

Como fue explicado en el punto 5.5 (pp. 93) el 17 de marzo de 2015 la localidad de Sierra de la Ventana fue afectada por una máxima crecida ordinaria generada a partir de eventos de

precipitación que comenzaron el 11 de marzo y de los cuales el más importante ocurrió el día 17 de marzo (82 mm en 2 horas). El arroyo San Bernardo desbordó e impidió la comunicación por ruta entre las localidades de Sierra de la Ventana y Saldungaray. Se realizó el HUS para este evento por las consecuencias morfológicas que se generaron en el canal principal (surgimiento de islas, activación de nuevos canales, gran movilización de sedimentos, etc.).

Para la construcción del hidrograma se tuvieron en cuenta los siguientes datos de entrada: la pendiente, el tiempo de concentración, el tiempo de punta, el tiempo base y la precipitación efectiva (Fig. 5.21). El tiempo de concentración se define como aquel transcurrido desde que una gota de lluvia que cae en el punto más alejado (demorado) de la cuenca llega a la sección o punto donde interesa cuantificar el escurrimiento. El tiempo de punta es aquel transcurrido hasta llegar al caudal máximo y el tiempo base es la cantidad de horas desde el inicio de la crecida hasta el final de la escorrentía directa.

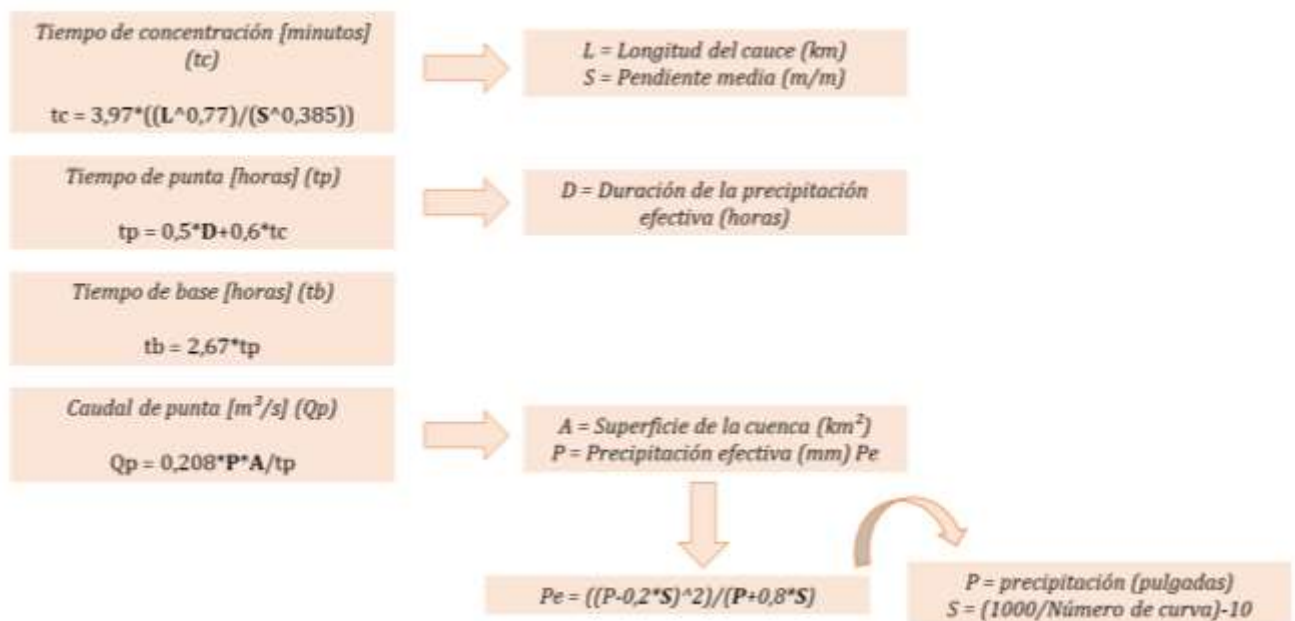


Figura 5.21 Componentes para el cálculo del Hidrograma Unitario Sintético. Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de Sánchez (2011)

Se entiende por precipitación efectiva a la parte de la precipitación que se transforma en escurrimiento. Esta comienza después que la tasa de infiltración sea menor que la intensidad de lluvia y termina cuando la intensidad de la lluvia se hace menor que la tasa de infiltración. Para calcularla se debe definir previamente el número de curva (CN). El CN se calculó con el método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) actualmente Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS) de los EEUU (Capítulo 3). Considerando que la cobertura predominante en la cuenca es el pastizal pampeano, que la pendiente es mayor a 1 % y que el grupo hidrológico es el C se determinó que el número de curva es 86.

USO DE SUELO Y COBERTURA	TRATAMIENTO DEL SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO (%)	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
			A	B	C	D
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

Tabla 5.6 Número de curva asignado a la cuenca para el cálculo del HUS. Fuente: modificado por Volonté sobre la base de USSCS, 1975 y Chow *et al.*, 1994.

El hidrograma obtenido para la cuenca presenta un tiempo de crecida de dos horas, con un caudal pico de 461 m³/s (Fig. 5.22). El tiempo de concentración es de 3 horas tardando un total de aproximadamente 8 horas en volver al caudal normal. Es importante destacar las características que presenta la pendiente de la cuenca. Las mayores pendientes (superiores a 27°) se encuentran en la cuenca alta asociándose a ella procesos como deslizamientos y arroyada concentrada. En el piedemonte predominan pendientes en el orden de los 5°, en esta zona es en la cual se desarrolla la actividad agropecuaria y en donde se encuadra la zona urbanizada.

El rol de la pendiente en el tiempo de concentración es importante porque, como se mencionó anteriormente, las mayores pendientes se encuentran en la zona de las nacientes, provocando una arroyada concentrada, con gran poder erosivo. El quiebre de pendiente más importante es en la zona del piedemonte (Fig. 5.6) donde la pendiente tiene una diferencia de casi 10° y genera una arroyada en manto disminuyendo el tiempo de concentración y el nivel de erosión.

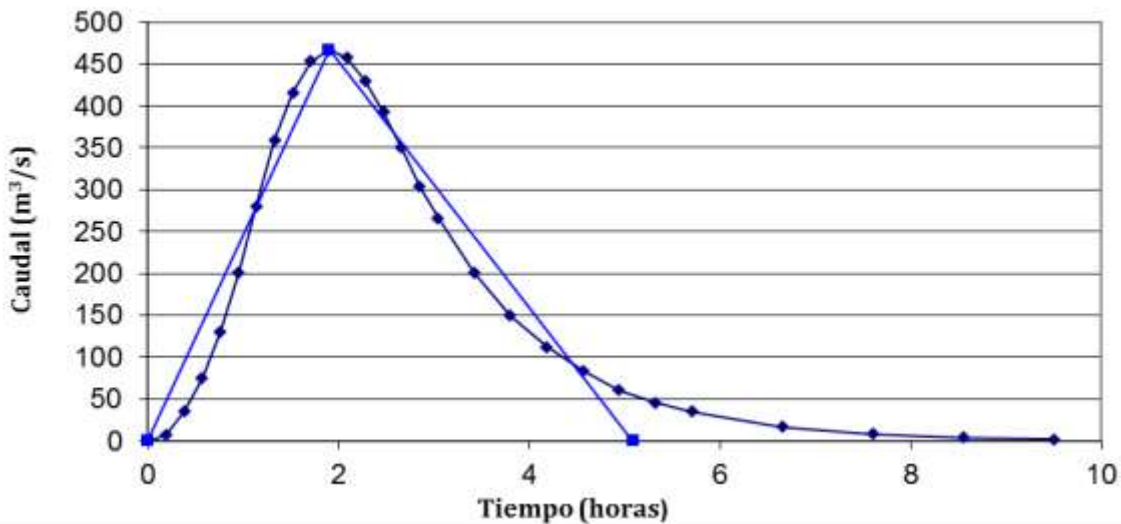


Figura 5.22 HUS para el evento del 17/03/2015. Fuente: elaborado por Volonté

A modo de síntesis del análisis morfológico y morfométrico se desprende que la cuenca presenta un patrón de drenaje dendrítico a excepción de la cuenca alta donde, debido a la presencia de fracturas, los cursos presentan un patrón subdendrítico. La vegetación también tiene un patrón diferente en la cuenca alta en donde predomina el suelo desnudo y el roquedal, mientras que en la cuenca media y baja se encuentran las especies herbáceas, destacándose el género *Stipa spp.*

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes índices se concluye que la cuenca presenta una alta peligrosidad de que ocurran crecidas debido a que existen cambios bruscos de pendiente, lo cual se comprobó con el perfil longitudinal. La razón de elongación indica que la cuenca presenta una forma alargada, esto quiere decir que durante las crecidas el canal principal tiene un retardo que provoca mayor brusquedad de la crecida una vez concentrada el agua. El resultado obtenido para la razón de bifurcación indica que existe una rápida concentración, lo cual genera picos de crecidas que combinado con lo obtenido para la relación de longitud confirma la torrencialidad de la cuenca.

Las crecidas en el arroyo San Bernardo ocurren cuando las precipitaciones son intensas y concentradas en un lapso de tiempo corto. Como se pudo observar en el desarrollo de este capítulo las principales consecuencias son materiales y están vinculadas a daños en infraestructuras públicas y en viviendas particulares. La consecuencia que se repite en cada crecida es el corte temporario de la ruta de acceso a la localidad.

La aplicación del HUS en zonas donde se carece de información fluviométrica es esencial, ya que se realiza una estimación de los flujos de la cuenca y se utilizan variables de fácil medición, transformándose en una herramienta simple y potente. En el caso del HUS analizado es importante destacar que dadas las condiciones físicas de la cuenca, reflejadas en los distintos índices y corroboradas con el hidrograma, el pico de la crecida ocurre a las 2 horas de haberse iniciado el evento de precipitación lo cual demuestra la intensidad que tienen las crecidas en el área de estudio y justifica el porqué de esta investigación.

CAPÍTULO 6
DINÁMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA

El eje central de este capítulo es la elaboración y análisis de la carta hidrogeomorfológica, esta resulta una herramienta indispensable para la interpretación del comportamiento hidrológico del espacio estudiado. Se analiza en detalle cada componente de esta representación cartográfica. Entre estas se destacan las características hidrológicas de los terrenos (la capacidad de infiltración, la cubierta sedimentaria y los procesos fluviales más importantes) como así también la topografía, la cobertura vegetal y la tipología de los cauces.

6.1 Aspectos geomorfológicos de la cuenca: base del análisis hidrogeomorfológico

La carta geomorfológica representa gráficamente las características morfográficas, morfométricas, morfoestructurales y morfodinámicas. Gil (2010) realizó esta representación cartográfica para la cuenca alta del río Sauce Grande, en la cual se incluye la cuenca objeto de estudio (Fig. 6.1). Geomorfológicamente, las unidades que se destacan son el “macizo antiguo plegado” (MAP) y las “acumulaciones aluviales” (Aa).

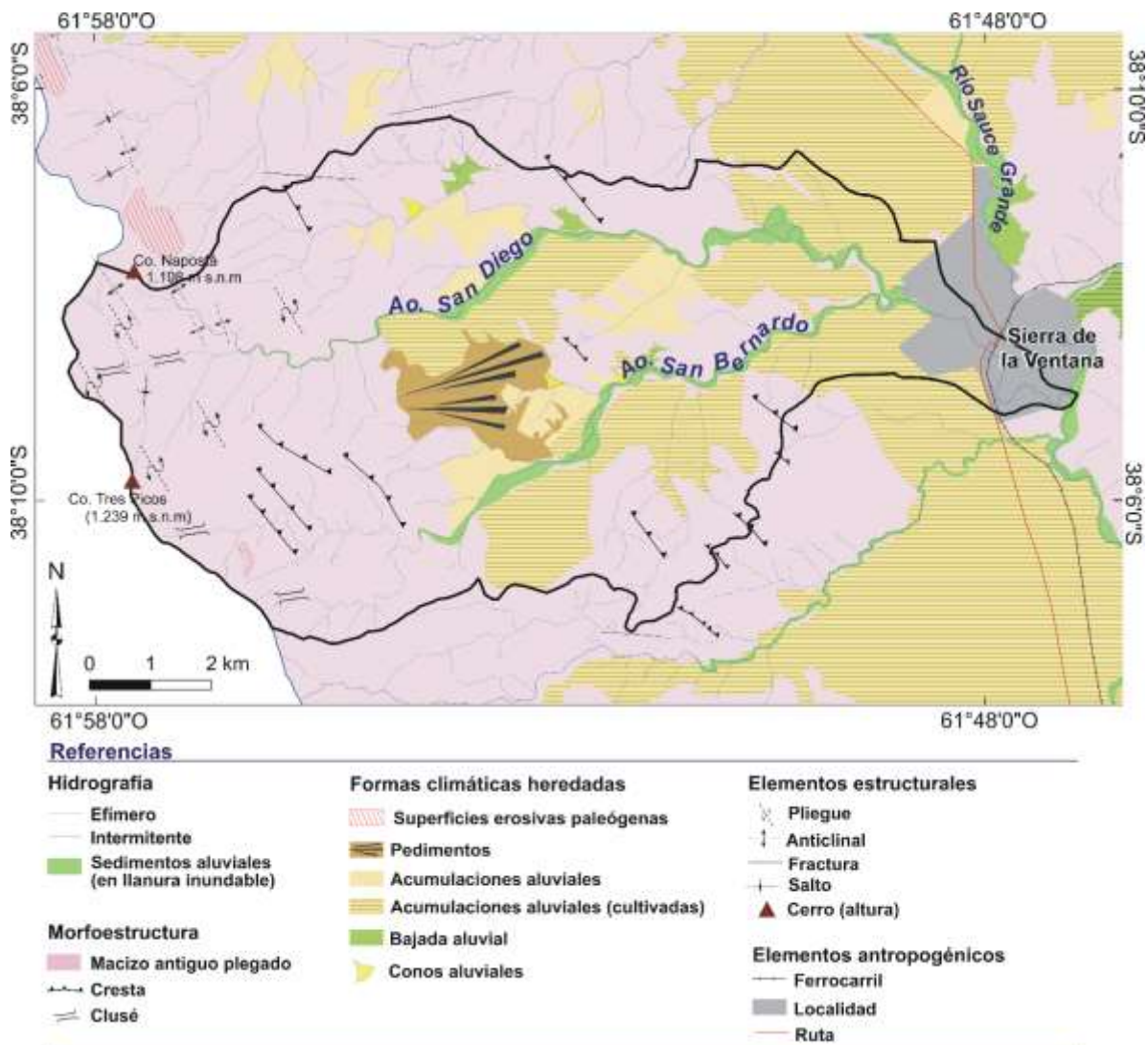


Figura 6.1 Carta geomorfológica de la cuenca del arroyo San Bernardo.
Fuente: modificado de Gil (2010)

Las rocas que componen el afloramiento del MAP pertenecen al Grupo Ventana (Segundo ciclo sedimentario - Andreis *et al.*, 1989) y al grupo Pillahuincó (Tercer ciclo sedimentario - Andreis *et al.*, 1989). Como se mencionó en el capítulo 4, el grupo Ventana se caracteriza por presentar una secuencia predominantemente cuarcítica. Los afloramientos se extienden desde el sector norte de las sierras de Puán y Pigüé, por la sierra de Bravard y de la Ventana, así como por los cordones de Lolén, Esmeralda y Mambacher. Con respecto al grupo Pillahuincó, los afloramientos se encuentran dispersos en la planicie que se extiende entre las sierras de la Ventana y las sierras de Tandil. Esta unidad presenta areniscas pardo-amarillentas del Plioceno, depósitos de rodados, sedimentos arenarcillosos del Pampeano (en parte loessoides, de edad pleistocena, alternantes con capas de conglomerados poco coherentes) y sedimentos arcillo-arenosos del Postpampeano al Holoceno y finalmente, los suelos modernos y el acarreo fluvial actual (Sellés Martínez, 2001).

En el área de estudio las formaciones presentes son Napostá, Providencia y Lolén (Grupo Ventana) en la cuenca alta y en la parte media - baja se observan afloramientos de la formación Sauce Grande (Grupo Pillahuincó) (Fig. 6.2).

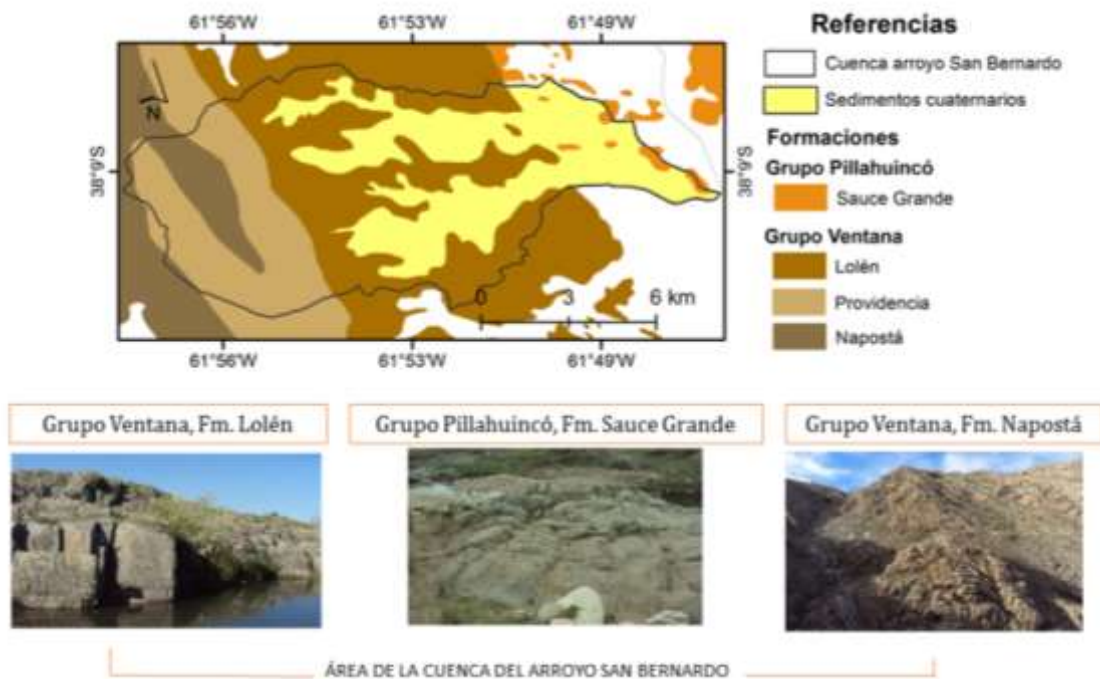


Figura 6.2 Formaciones aflorantes en el área de estudio.

Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de la compilación geológica de las Sierras Australes a escala 1:200.000, LEMIT (1960)

Los modelados estructurales son aquellos que deben su forma a la interacción entre los diversos procesos erosivos y la litología y estructura de las rocas. En el área de estudio predominan geofomas como los hogback y crestas, ambas relacionadas con el ángulo de inclinación de los bancos que forman los flancos de los pliegues y con la erosión diferencial de los mismos. Las estructuras predominantes en la cuenca son los pliegues y las fracturas (principalmente diaclasas) (Fig. 6.3).

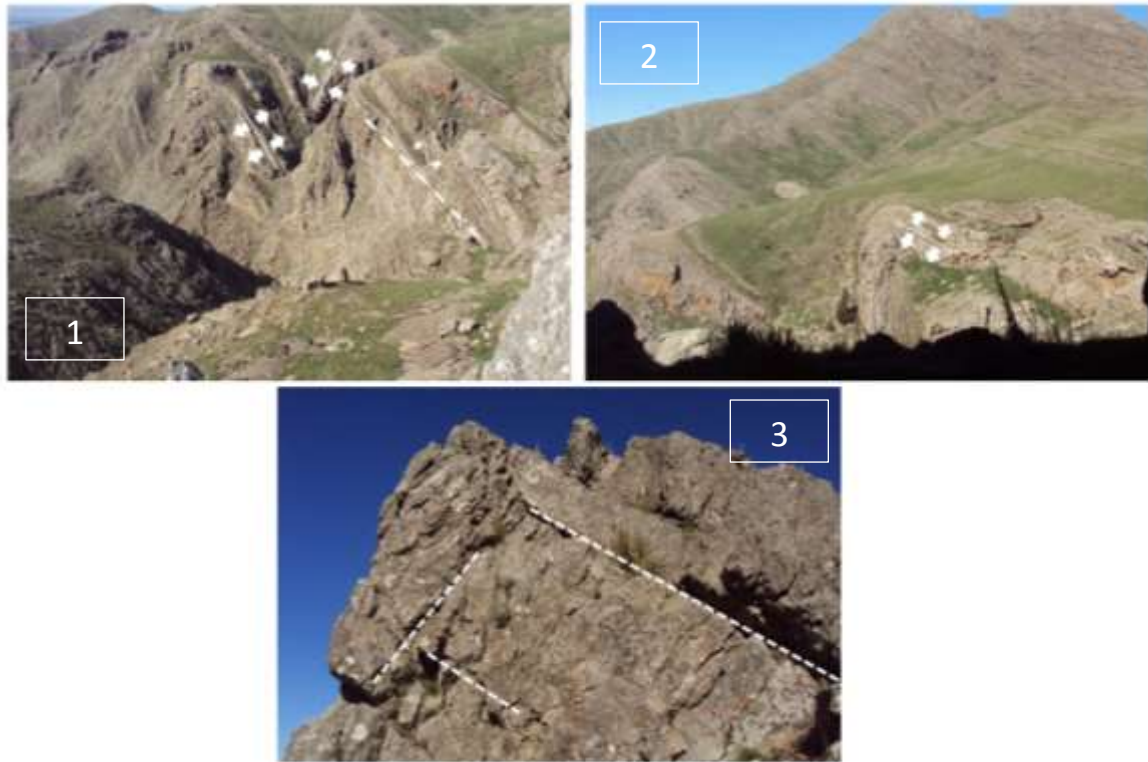


Figura 6.3 Ejemplos de anticlinales, sinclinales (Fotografías 1 y 2) y pliegues y diaclasamiento (Fotografía 3) en la cuenca alta del arroyo San Bernardo. Sector Cerro Tres Picos.
Fuente: fotografías de Volonté (2016)

Como parte componente de las acumulaciones aluviales (Aa), se destacan los abanicos aluviales y las bajadas aluviales (Fig. 6.4). Los abanicos aluviales se construyen fundamentalmente en relación con las precipitaciones intensas y se forman en donde la corriente confinada cargada de sedimentos con fuerte pendiente y elevada capacidad de transporte ingresa en zonas más llanas con pendientes más suaves (Gómez Villar, 1996). En la cuenca estas geformas son de baja frecuencia, la mayoría de los conos aluviales están estabilizados por la vegetación. Los abanicos se encuentran principalmente en sectores donde los cursos de orden 2 o 3 desembocan en otro mayor, con el consiguiente cambio de pendiente que determina la depositación del material sedimentario (Gil, 2010).

Las bajadas aluviales se encuentran en sectores cercanos a las sierras y se producen por la unión de conos aluviales contiguos distinguiéndose de las acumulaciones aluviales por su pendiente y posición. En algunos lugares se hallan cultivadas aprovechando el sistema de curvas de nivel vegetadas que retienen el escurrimiento. Las acumulaciones aluviales fueron rellenas en periodos secos con ausencia de actividad fluvial del sistema principal. Esta área es muy importante en la cuenca porque además de ocupar una superficie importante es el lugar donde se desarrollan las actividades agrícolas – ganaderas (Gil, 2010).



Figura 6.4 Acumulaciones fluviales sobre las que se practica el pastoreo.
Fuente: fotografía de Volonté

6.2 La carta hidrogeomorfológica como herramienta para la interpretación sistémica de la cuenca

El estudio integrado de una cuenca hidrográfica debe proporcionar un adecuado conocimiento de las características, jerarquía y dimensiones de los distintos elementos que la componen. La representación de la dinámica del escurrimiento, los procesos más relevantes, el régimen hídrico de los mismos y su relación con el tipo de suelo también debe ser integral. En este punto es que la carta hidrogeomorfológica combina en un solo mapa las distintas formas de escurrimiento y las condiciones que las dominan (Mikkan, 2007; Marini, 2002; Gil, 2010).

La carta hidrogeomorfológica tiene como objetivo la representación de las condiciones ofrecidas al escurrimiento del agua en un espacio determinado. Se torna de esta manera en una herramienta indispensable para la interpretación visual y espacial del comportamiento hidrológico. Permite determinar las condiciones del escurrimiento en una cuenca, derivadas de las combinaciones de los diferentes procesos que definen un comportamiento hidrológico (Tricart, 1965; Capitanelli, 1998). Se elaboró la carta hidrogeomorfológica (Fig. 6.5) para el área de estudio teniendo en cuenta:

- Las características hidrológicas de los terrenos (capacidad de infiltración; la cubierta sedimentaria y los procesos fluviales más importantes).
- La tipología y características de los cauces
- La topografía (Capítulo 5)
- Las características fitogeográficas
- Los elementos antropogénicos

6.2.1 Características hidrológicas de los terrenos

Áreas con roca coherente

En esta área se encuentran las formaciones Napostá y Lolén, ambas pertenecientes al Grupo Ventana. La formación Napostá está compuesta por areniscas silíceas de grano fino y metacuarcitas de grano fino, muy duras y compactas. El espesor estimado es de 200 m (Suero, 1972). En la formación Lolén predominan areniscas esquistosas micáceas de grano fino, con varias tonalidades pardas, amarillentas y verdosas, con intercalaciones de capas conglomerádicas, lutitas gris oscuras a negruzcas y filitas rojizas y verdosas. El espesor es aproximadamente de 450 m (Suero, 1972; Harrington, 1947). La infiltración de esta zona es media-baja en función del grado de diaclasamiento. Gil (2010) realizó mediciones de diaclasamiento en diferentes lugares del Grupo Ventana obteniendo resultados que indican un alto diaclasamiento, con valores que oscilaron entre 3,5 mm/m² y 8 mm/m². En ambas formaciones se combina fuertes pendientes y suelos someros (Fig. 6.6).



Figura 6.6 Ejemplos de diaclasamientos en la formación Napostá.
Fuente: fotografías de Volonté.

Áreas con cubierta sedimentaria

Los grupos hidrológicos¹ (Musgrave, 1955) permiten identificar el comportamiento del suelo a partir de la escorrentía, como así también posibilitan determinar la capacidad de infiltración en función de la textura del suelo y la profundidad. Como se explicó en el capítulo 4 el tipo de suelo que predomina en el área de estudio es el Molisol cuyas características corresponden al grupo hidrológico C. Este grupo hidrológico caracteriza a los suelos de escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Tienen entre un 20 % y 40 % de arcilla y menos de 50 % de arena. Poseen textura franca, franco limosa, franco arcillo arenosa, franco arcillosa y franco arcillo limosa (NRCS, 2007).

Gil (2010) realizó ensayos de infiltración para distintas áreas de la cuenca alta del río Sauce Grande. Los resultados obtenidos oscilan entre 2,5 mm/min a los 4 mm/min para aquellas áreas que presentan una infiltración baja. Para las áreas que tienen una capacidad media de infiltración los resultados que obtuvo fueron entre 10 mm/min y 16 mm/min. En función de estos resultados y teniendo en cuenta que los suelos de la cuenca se encuentran en el grupo C, es que se determinó que la infiltración es media.

6.2.2 Características de los cauces

Se diferenciaron 3 tipos de cauces, los que presentan el fondo en v (Fig. 6.7 a y 6.7 b) los que tienen fondo plano y barrancos a ambos lados (Fig. 6.7 c y 6.7d) y los que tienen fondo plano con barrancos alternados en las márgenes (Fig. 6.7 e y 6.7 f).

Los cauces que presentan el fondo en v son aquellos que se encuentran en la cuenca alta, en las zonas de nacientes donde afloran las rocas del sistema serrano. En algunos casos llegan a formar cañadones profundos y no poseen llanura de inundación o la misma es casi inexistente. Los cauces con fondo plano y barrancos en ambas márgenes se encuentran principalmente en la cuenca baja. Los barrancos no superan los 0,70 m.

Los cauces con fondo plano y barrancos alternados sobre una sola margen son los más predominantes. Según Zavala y Quatroccio (2001) la historia geológica del río Sauce Grande revela la existencia de al menos tres episodios de incisión y relleno de valles fluviales, expresados en tres sistemas de terrazas. En la cuenca se encuentra la Secuencia Agua Blanca, la cual incluye depósitos conglomerádicos y arenosos finos aflorantes en las barrancas disectadas por el curso de agua. En esta secuencia se reconocen tres secciones: inferior, media y superior con predominancia de arenas y limos arenosos.

¹ Los grupos hidrológicos se encuentran desarrollados en el capítulo 3, página 40.

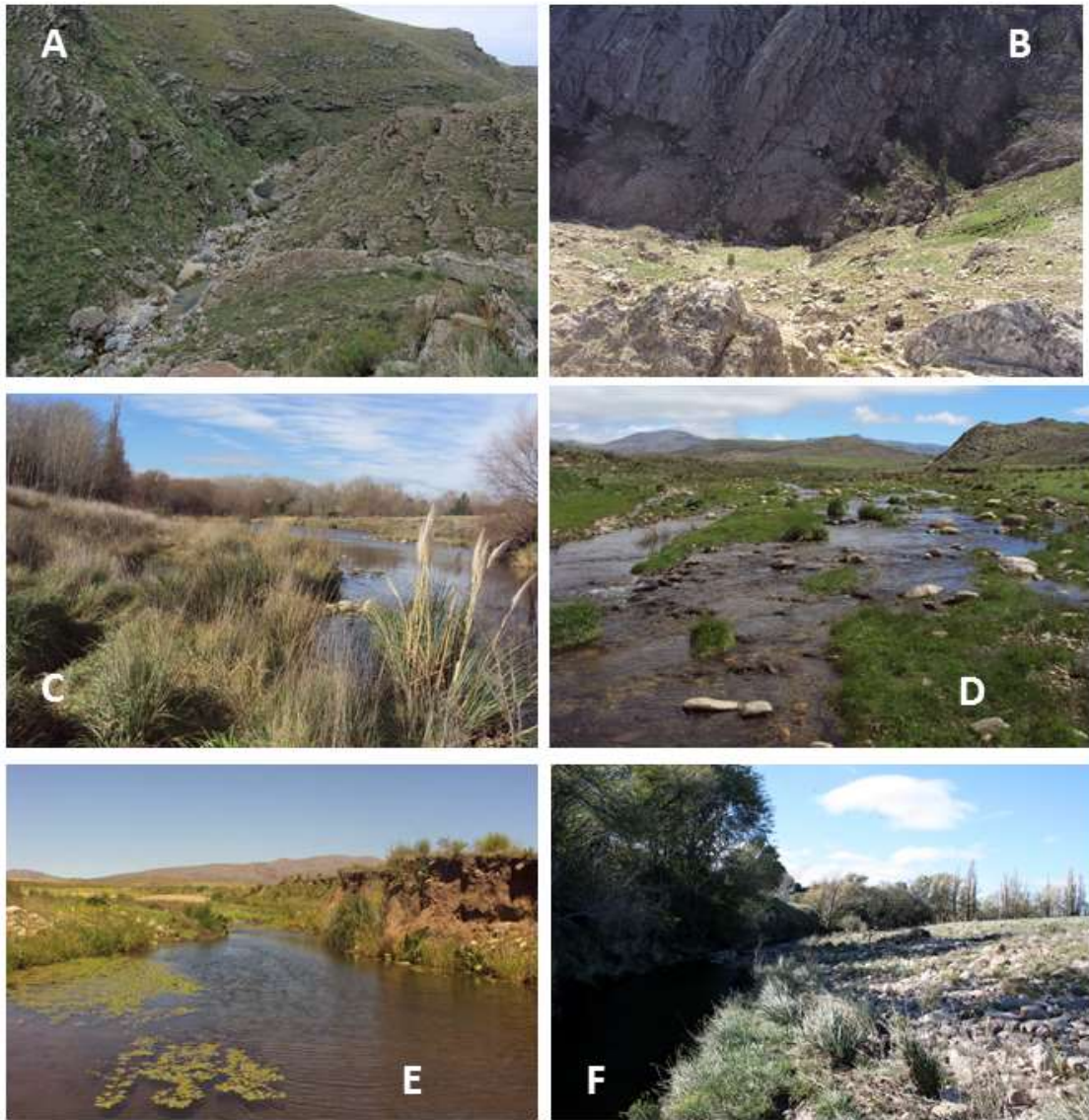


Figura 6.7 Tipos de cauce en la cuenca del arroyo San Bernardo.
Fuente: fotografías de Volonté (2016)

Las terrazas en la cuenca media superan los 6 m de altura y presentan un estrato compuesto principalmente por arena gruesa y grava, la estructura es heterogénea y se encuentra vegetada, con presencia de especies arbóreas y raíces de tamaño importante. Los sedimentos que se encuentran en dicho estrato presentan una forma irregular y algunos son angulosos (Fig. 6.8)



Figura 6.8 Ejemplos de terrazas en la cuenca media.

Fuente: fotografía de Volonté (2015; 2016)

En la cuenca baja la altura de las terrazas oscila entre los dos y cuatro metros y se observan dos estratos bien diferenciados. El inferior está constituido por bloques unidos a través de una matriz de grava con arena. Los clastos son redondos y planos, en promedio miden 15 cm de eje vertical. El contacto entre ambos estratos es rugoso y se observa arena gruesa con signos de oxidación. En la parte superior se distinguen sedimentos tamaño arcilla y limo con clastos de cuarzo. Este estrato se encuentra más compacto y hay indicios de bioturbación producto de las raíces dispersas en todo el paquete sedimentario (Fig. 6.9).



Figura 6.9 Ejemplos de terrazas en cuenca baja.
Fuente: fotografía de Volonté (2016)

6.2.3 Características fitogeográficas de la cuenca

La vegetación predominante del piedemonte serrano es el pastizal de *Stipa sp.* y asociado a los valles se encuentra la paja colorada (*Paspalum quadrifarium*). En los sitios más húmedos la especie representativa es *Cortaderia selloana* (Matteucci, 2012). Volonté *et al.* (2013) identificaron 12 especies herbáceas y 1 especie arbórea como las representativas del área de ribera en la cuenca. Las predominantes fueron: *Cortaderia selloana* y *Cynodon dactylon* mientras que las especies con menor cantidad de ejemplares fueron: *Populus spp.*, *Galium broterianum* y *Carduus thoermeri*. Las especies *Cortaderia selloana* y *Cynodon dactylon* se encuentran más cerca del curso de agua dado que requieren de más humedad mientras que las especies como *Taraxacum officinale* se encuentran en los límites de las transectas porque sus requerimientos de humedad son menores.

En el área de estudio existen especies dominantes en determinados sectores que resultan poco frecuentes o inexistentes en otros. La unidad donde las comunidades vegetales se empobrecen coincide con las de mayor pendiente siendo nulo el desarrollo de la misma en la divisoria de agua y zonas rocosas. A medida que desciende en altura y sobre sectores con sedimentos cuaternarios se observa una mayor cobertura. En función de las distintas condiciones impuestas por las características del área, la vegetación natural se presenta en asociaciones bien diferenciadas y vinculadas con el hábitat de desarrollo, la altitud y la pendiente. Estas asociaciones se establecen por variaciones en la cantidad de especies, su abundancia y la forma en que se distribuyen y agrupan sobre el suelo.

El NDVI permite identificar la presencia de vegetación en la superficie y caracterizar su distribución espacial así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Este índice

mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Para su cálculo se utilizó una imagen satelital correspondiente al 10 de diciembre de 2014 (Landsat 8 OLI). La fecha fue seleccionada en función del ciclo fenológico de la vegetación, ya que en ese momento se encuentra en su mayor estadio de desarrollo.

En la figura 6.10 se puede observar el mapa del NDVI para la cuenca. Los valores obtenidos son positivos ya el suelo descubierto y con poca vegetación al igual que la superficie ocupada por agua presenta valores positivos aunque no muy elevados (0,28). La vegetación más densa y bien desarrollada presenta los mayores valores, destacándose la zona ribereña como el área con mayor cantidad de vegetación. En función de estos resultados se tomaron distintos puntos de muestra que permitieron describir y analizar con mayor nivel de detalle la vegetación en la cuenca baja y en la media y alta.

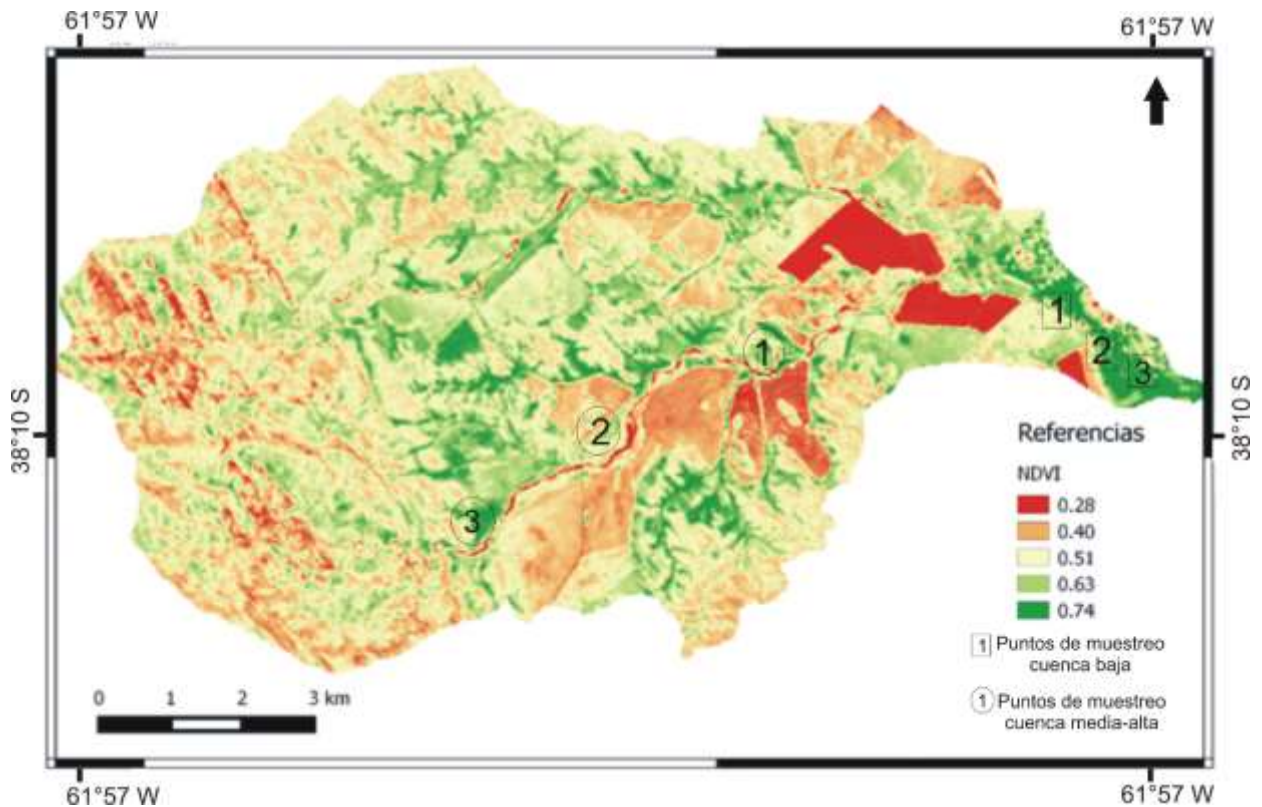


Figura 6.10 Índice de vegetación estandarizado (NDVI).

Fuente: elaborado por Volonté.

6.2.3.1 La vegetación en la cuenca media y alta

En este sector se seleccionó como método el muestreo aleatorio el cual resulta adecuado para superficies pequeñas y cuando se desea obtener información global acerca de las variables consideradas. Se definieron unidades muestrales de 100 m² en las que se consideraron los siguientes caracteres: número, densidad, altura, cobertura y sociabilidad (Capítulo 3). Estos parámetros establecen la abundancia de individuos y la superficie ocupada por los mismos (densidad), el grado de dominancia o área ocupada por los individuos de una especie (cobertura) y finalmente la manera en que estos se agrupan sobre el suelo (sociabilidad). A partir de los resultados obtenidos se construyeron los gráficos de cobertura que representan el área ocupada por los individuos de una especie.

Se tomaron 3 unidades muestrales en diferentes sectores (indicados con círculos en la figura 6.10) observándose una disminución en la cantidad de especies. En la primera unidad muestral se identificaron tres especies: *Cynodon dactylon*, *Briza subaristata* y *Stipa ambigua*. En las primeras dos especies la cobertura es superior al 75 % del cuadrado mientras que *Stipa ambigua* tiene una cobertura dispersa entre un 25 % y 50 % del cuadrado. La vegetación se halla intercalada y las especies arbóreas son casi inexistentes (Fig. 6.11).

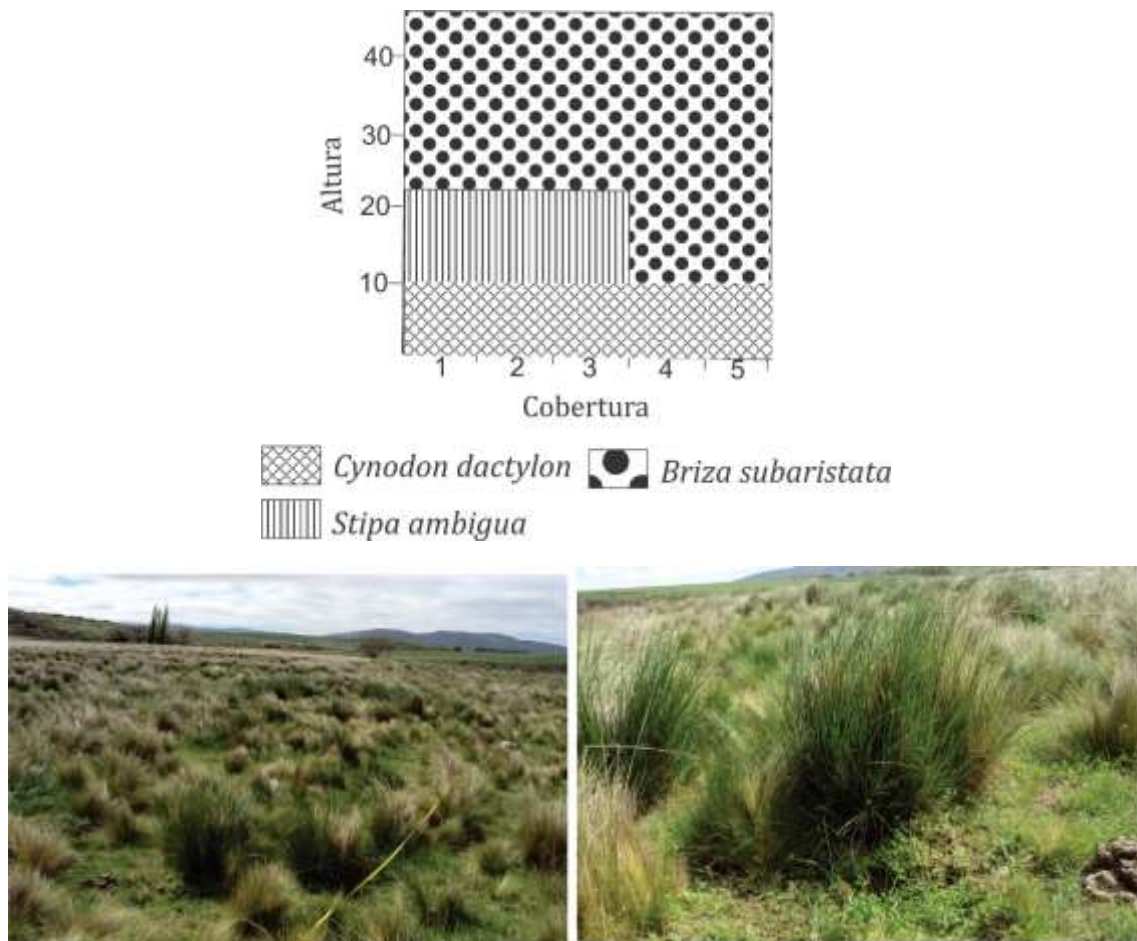


Figura 6.11 Esquema de cobertura. Primera unidad de muestreo. En las fotografías se observan: *Stipa ambigua* y *Cynodon dactylon*

Fuente: elaborado por Volonté y fotografías de Volonté (2015)

Con respecto a la segunda unidad de muestreo las especies dominantes son *Senecio madagascariensis*, *Stipa ambigua* y *Cynodon dactylon*. La mayor cobertura corresponde al pastizal de *Cynodon dactylon* (75 %) y *Senecio madagascariensis*, mientras que *Stipa ambigua* presenta una cobertura del 25 % al 50 % (Fig. 6.12).

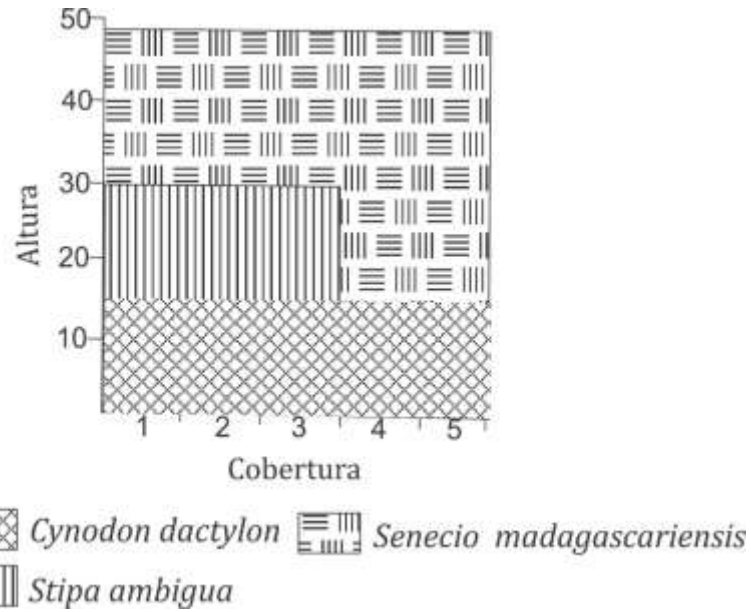


Figura 6.12 Esquema de cobertura. Segunda unidad de muestreo. En las fotografías se observan ejemplares dispersos de *Stipa ambigua*.

Fuente: elaborado por Volonté y fotografías de Volonté (2015).

En la tercer unidad de muestreo (Fig. 6.13) las especies relevadas fueron 4: *Stipa ambigua*, *Cynodon dactylon*, *Grindelia ventanensis* y *Opuntia sulphurea*. La mayor cobertura corresponde al pastizal *Stipa ambigua* (50 %-75 %) y *Cynodon dactylon* (25 %-50 %).

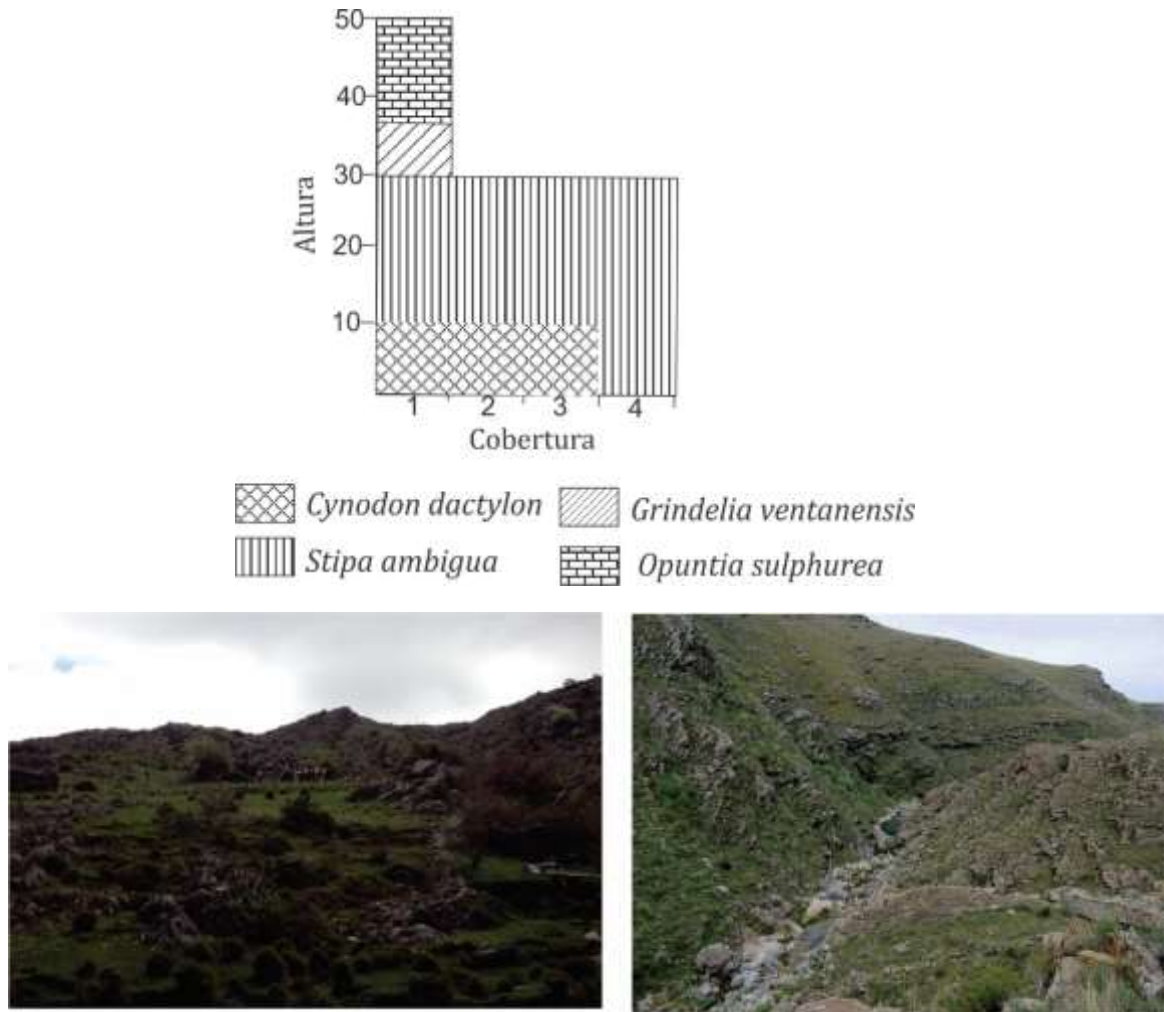


Figura 6.13 Esquema de cobertura. Tercera unidad de muestreo. En las fotografías se observan ejemplares dispersos de *Stipa ambigua* y *Cynodon dactylon*.

Fuente: elaborado por Volonté y fotografías de Volonté (2015)

6.2.3.2 La vegetación en la cuenca baja: diversidad de especies herbáceas

Para la descripción de la vegetación en esta zona se eligió como método de muestreo la transecta de línea debido a que la cantidad de especies es mayor que en la cuenca media y alta. Esta consiste en la observación, identificación y posterior descripción de cada especie que se encuentran a lo largo de la línea. En esta área se encuentra la localidad de Sierra de la Ventana donde se observa la mayor complejidad en la vegetación ribereña. Asimismo, es un área con una dinámica constante como consecuencia de la población que se instala en sectores cercanos al arroyo.

La representación sintética de los individuos vegetales se realizó a través de los danserogramas, representación esquemática en la cual se asignan símbolos a cada categoría fisionómica estructural (Matteuci y Colma, 2002). A partir de esta es posible hacer estimaciones de la estratificación de la comunidad, de las formas biológicas predominantes y de la abundancia relativa de las especies. Se analizaron las condiciones del biotopo como

la utilización del suelo, la estructura, la textura y el drenaje del suelo, el tipo de relieve y la exposición.

Se elaboraron 3 transectas (indicadas en la figura 6.10 con cuadrados). La transecta 1 posee una extensión de 42 m. La vegetación está compuesta por especies propias del pastizal pampeano. Se reconocieron 8 especies, entre las más representativas se encuentran: *Taraxacum officinale*, *Cortaderia selloana* y *Cynodon dactylon*. Se observaron dos estratos de vegetación el arbóreo y el herbáceo, predominando el último. La altura de las especies herbáceas se encuentran entre 0,1 m y 0,5 m mientras que el árbol tiene una altura de 6 m. La disposición de la flora permite identificar una cobertura en general continua. La utilización del suelo es seminatural con un buen drenaje y su estructura es compacta con una textura limo-arcillosa (Fig. 6.14).

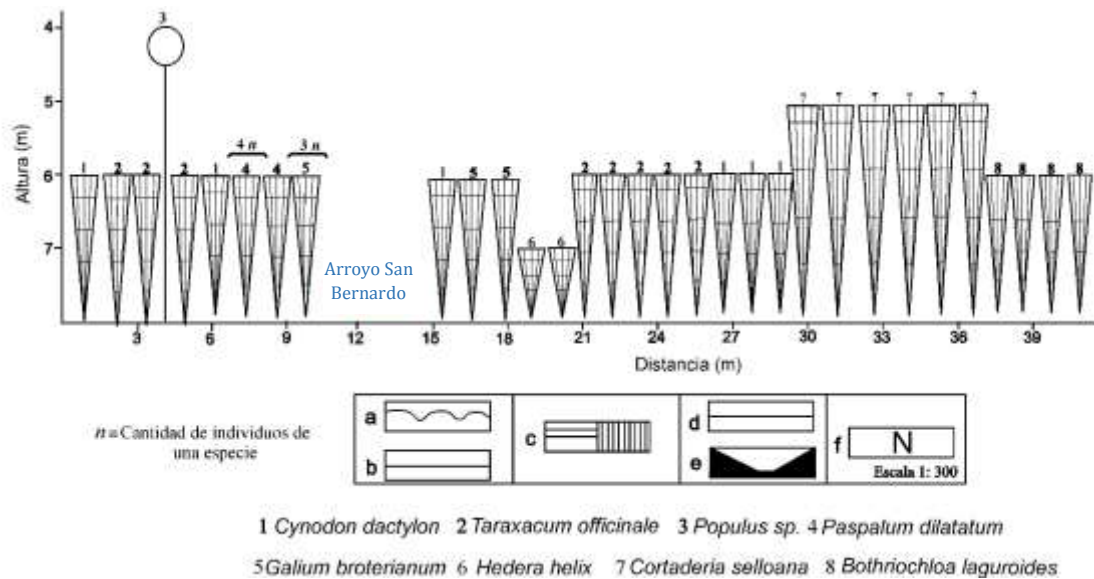


Figura 6.14. Densitograma de la transecta 1. Fuente: Volonté *et al.*, 2013.

En ambas fotografías se observan las características vegetales de la primer transecta.

La transecta 2 tiene una extensión de 45 m. Se identificaron 9 especies todas pertenecientes al estrato herbáceo. Las que poseen mayor cantidad de ejemplares son *Carex pseudocyperus*, *Cortaderia selloana* y *Conium maculatum*. La altura del estrato varía entre 0,1 m y 2 m siendo la más alta la *Cortaderia seollana* (Fig. 6.15).

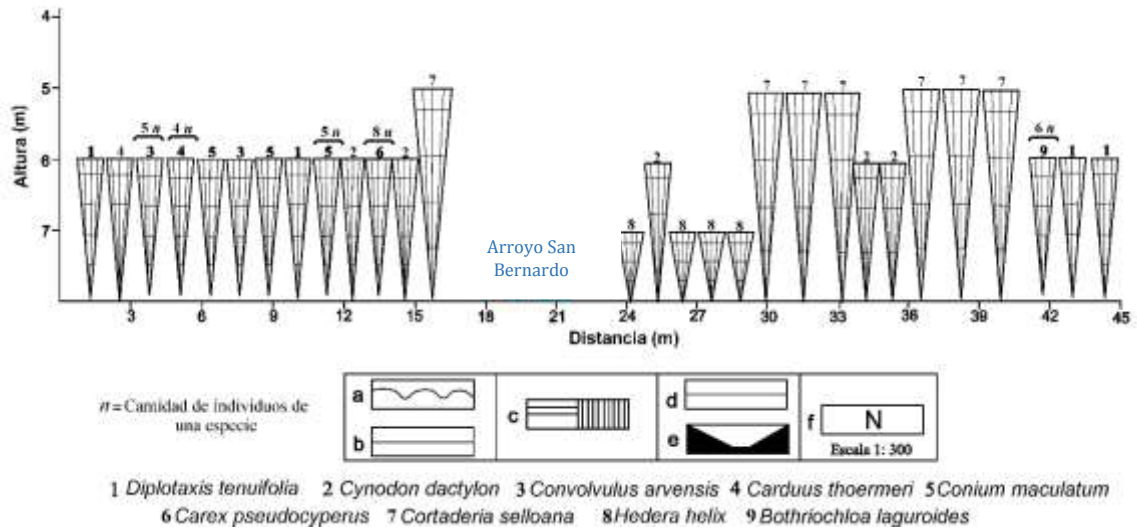


Figura 6.15 Danserograma de la transecta 2. Fuente: Volonté *et al.*, 2013.
 En ambas fotografía se observan las características vegetales de la segunda transecta.

La última transecta tiene una extensión de 48 m. Se identificaron 6 especies siendo las más representativas: *Hedera helix*, *Cortaderia selloana* y *Taraxacum officinale*. Se identificaron dos estratos: el herbáceo, con una cobertura continua y el arbóreo representado por el género *Populus*. Las alturas del estrato herbáceo se encuentran entre 0,1 m y 2 m y en el estrato arbóreo las especies presentes son principalmente *Populus spp.* con una altura de 8 m (Fig. 6.16).

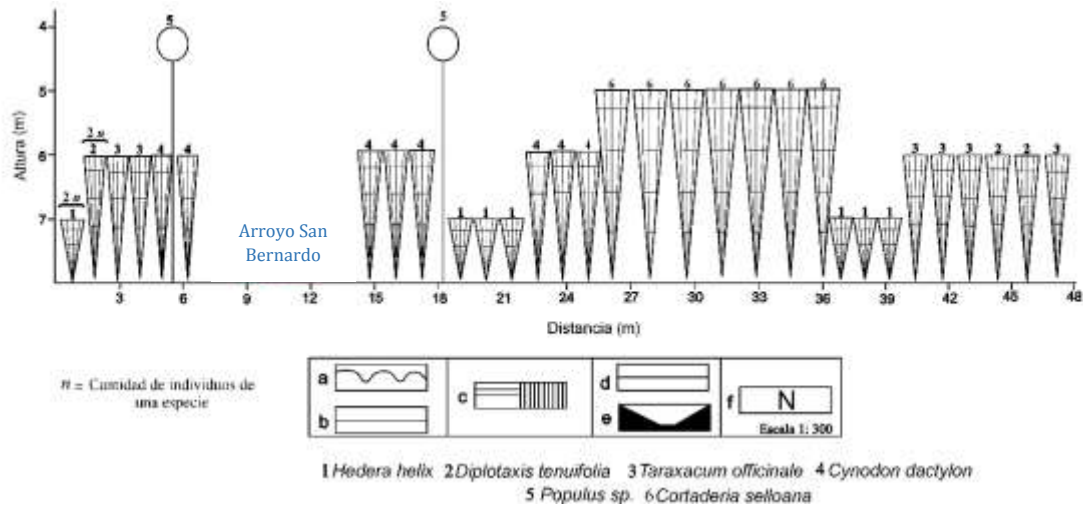


Figura 6.16 Danserograma de la transecta 3. Fuente: Volonté *et al.*, 2013
En ambas fotografías se observan las características vegetales de la tercera transecta.

6.2.4 Los elementos antropogénicos

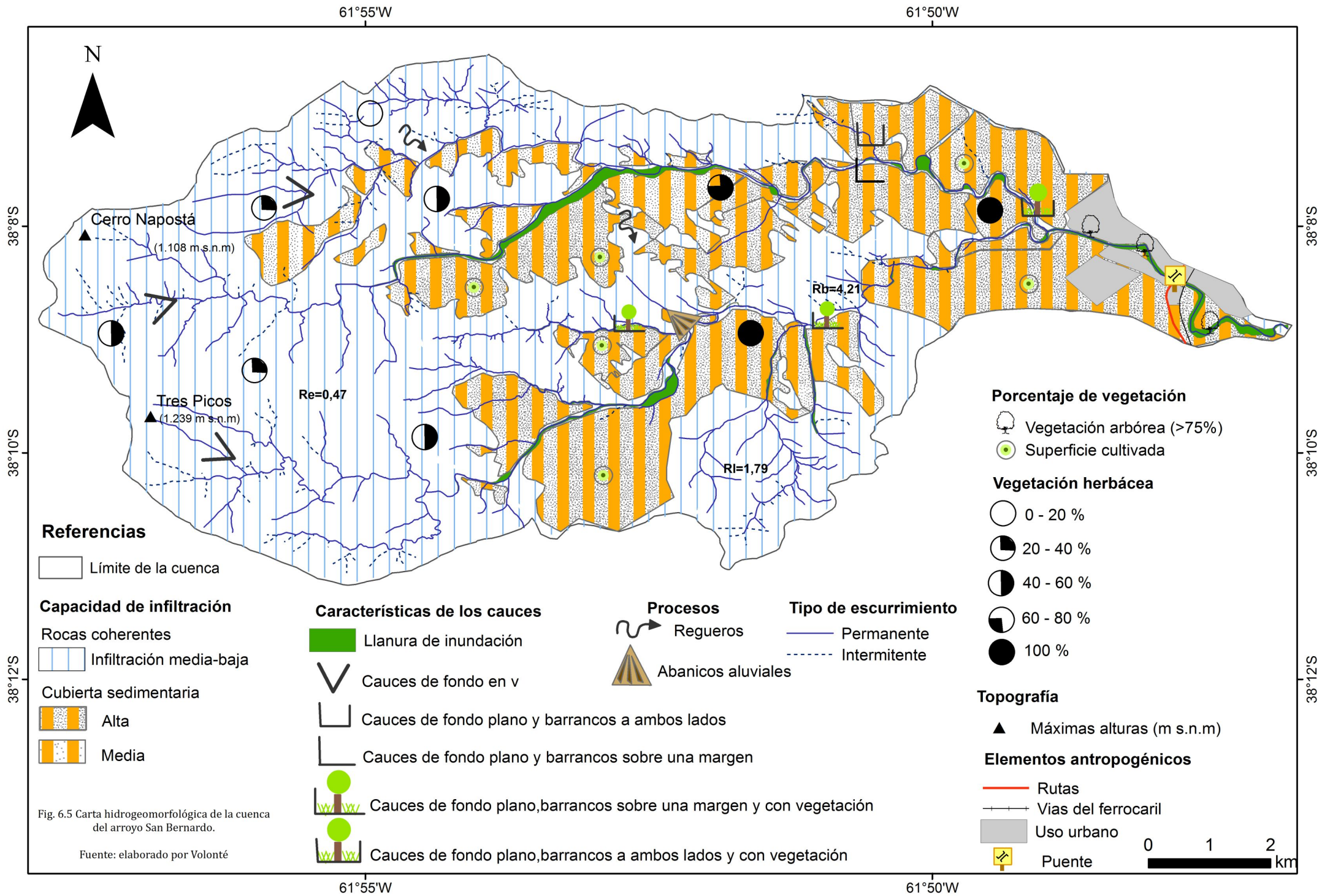
Los elementos de origen antropógeno más importantes se encuentran principalmente en el sector bajo de la cuenca. Se localizan instituciones educativas como el jardín de infantes y las escuelas primaria y secundaria. En el mismo sector está ubicada la sala médica. Aguas arriba está el balneario San Bernardo, que tiene una zona de acampe muy concurrida en la época estival. La infraestructura más importante en la cuenca baja son las vías de acceso a la localidad y el puente sobre el arroyo San Bernardo (Fig. 6.17).



Figura 6.17. Elementos antropogénicos de la cuenca baja.
Fuente: fotografías de Volonté (2015; 2016)

A modo de síntesis, en este capítulo se realizó la carta hidrogeomorfológica de la cuenca. A partir de esta se explicaron las características hidrológicas del terreno haciendo hincapié en la capacidad de infiltración en las áreas con rocas coherentes y en la cubierta sedimentaria. Es importante destacar que en el área con rocas coherentes predominan las formaciones Napostá y Lolén, con una infiltración media – baja debido a la presencia de diaclasas. Ambas formaciones tienen fuertes pendientes y suelos someros. En el área con cubierta sedimentaria la infiltración es media, los suelos son más profundos con un porcentaje importante de arena y arcilla.

Se diferenciaron tres tipos de cauces: i) los que presentan fondo en v, localizados en la cuenca alta; ii) los cauces con fondo plano y barrancos alternados que predominan en la cuenca media y, iii) los cauces con fondo plano y barrancos a ambos lados en la cuenca baja. Mediante el cálculo del NDVI se identificaron áreas de muestreo con diferentes grados de coberturas. Las zonas ribereñas y la cuenca baja son las áreas con mayor cobertura mientras que en la cuenca media, si bien presenta un porcentaje importante de cobertura, no se observaron variedades de especies. De las distintas muestras realizadas se afirma que las especies herbáceas predominan por sobre las arbóreas, destacándose *Stipa ambigua* y *Cynodon dactylon*. En la cuenca media y alta dominan las superficies cultivadas en tanto que en la cuenca baja son los elementos antropogénicos los que se agrupan asociados con los usos urbanos.



CAPÍTULO 7
LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL CANAL PRINCIPAL

La morfología fluvial estudia las formas de los ríos, arroyos y el mecanismo mediante el cual se ha llegado a ellas. Las formas que adoptan los cursos de agua pueden originarse a partir de su propio comportamiento o ser una consecuencia de determinadas acciones externas, principalmente humanas. Para definir las características morfológicas de un curso de agua se analizan tramos fluviales específicos, dado que los ríos no tienen la misma forma a lo largo de todo su recorrido (Bruniard, 1992; Garry *et al.*, 2002). En este capítulo se consideraron diferentes tramos en función de las características morfológicas que se quisieron resaltar.

7.1 Diseño en planta del canal principal: la sinuosidad como rasgo distintivo

La sinuosidad es una de las principales características que tiene el cauce principal en un sistema fluvial. Esta es definida por Schumm (1963) como el desarrollo de meandros existentes en el cauce principal de un río y el cálculo se obtiene relacionando la longitud de dicho cauce con la longitud máxima del valle que forma. Existen tres tipos de índices de sinuosidad: la sinuosidad total, la sinuosidad topográfica y la sinuosidad hidráulica (Capítulo 3; pág. 39). Esta última se considera la más adecuada por ser apropiada para el análisis morfométrico y se ajusta a la morfología del canal principal.

El resultado de la sinuosidad obtenido es 1,1 que según distintos autores (Schum, 1963; Rust, 1978 y Morisawa, 1985 a) se considera un canal rectilíneo. La baja sinuosidad es representativa de una mayor pendiente y una mayor fuerza erosiva. La importancia de los meandros en la geomorfología fluvial está vinculada a que son los principales responsables de la construcción y evolución de la llanura aluvial en la cuenca baja. Los procesos de erosión y sedimentación desarrollados en los arcos y sectores de inflexión de estos meandros controlan la forma del cauce y la dinámica morfológica y sedimentaria de la llanura de inundación (Hooke, 2007). La geometría de los meandros varía con el régimen de caudales y la naturaleza de los sedimentos tanto del cauce como de la llanura de inundación, siendo este uno de los aspectos más tratado en el ámbito de la geomorfología fluvial (Bridge *et al.*, 1986; Hooke, 2007; García Lorenzo *et al.*, 2015).

En el análisis del canal principal se observa con mayor nivel de detalle un tramo más rectilíneo ($S=1,03$) que responde a la zona de la cuenca alta (CA). El canal presenta un evidente control estructural donde predominan los cambios bruscos de dirección siguiendo en algunos casos líneas de fracturas. En el segundo tramo, cuenca media (CM), la sinuosidad es 1,11 el canal posee características de *braided* debido principalmente al cambio de pendiente y sustrato. El canal deja las sierras y discurre sobre el piedemonte serrano. En este tramo se desarrollan meandros con una longitud de onda que oscila entre los 100 y 600 m mientras que las amplitudes se hallan entre los 60 y 200 m. En el tercer tramo el arroyo describe un conjunto continuo y regular de meandros con una dirección predominante suroeste-noreste. En este tramo de la cuenca baja (CB) la sinuosidad es de 1,16. La longitud de onda de los meandros se encuentra por debajo de los 500 m. Se puede inferir que las diferencias en el tamaño de los meandros tienen estrecha relación con el volumen de carga transportada y las condiciones del sustrato (Fig. 7.1).

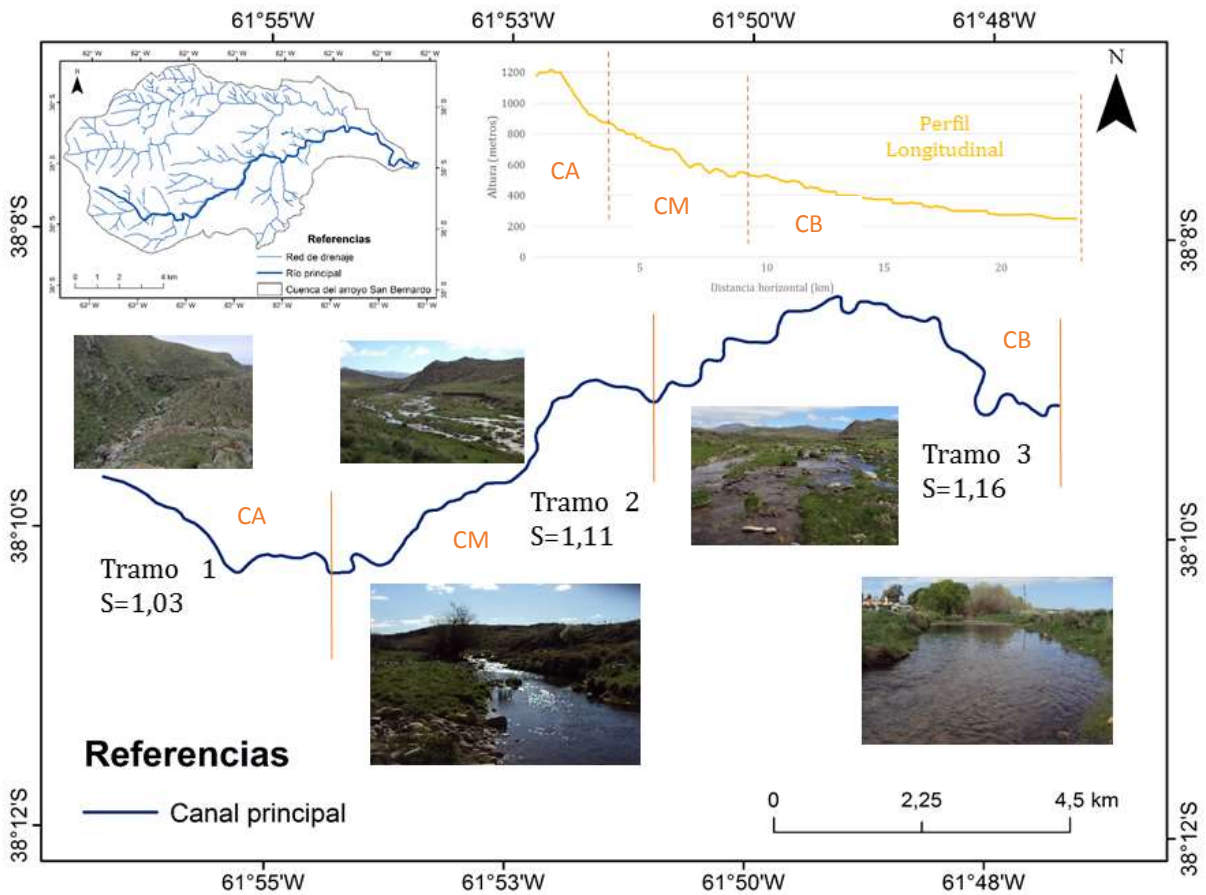


Figura 7.1 Variaciones en la sinuosidad del canal principal.
Fuente: elaborado por Volonté

7.2 Análisis de la carga sedimentaria de fondo

La disponibilidad de sedimentos en los cauces aluviales puede ser considerada a largo plazo en equilibrio con la capacidad de transporte del río. La interacción entre la regulación del caudal y la disponibilidad de sedimentos controla los cambios en el cauce, cuya magnitud varía a lo largo del tiempo. Los sedimentos una vez erosionados son transferidos desde las áreas fuente a la red de drenaje, por la que se transportan, hasta las zonas de depositación de manera continua. Dicha continuidad puede ser interrumpida por la sedimentación de los mismos cuando las fuerzas tractivas no disponen de suficiente competencia como para movilizar la carga sedimentaria. La evolución del tamaño y el desgaste de los sedimentos desde la cabecera hasta la desembocadura es un fenómeno que se encuentra relacionado con la dinámica de vertientes. El descenso de la pendiente y el alejamiento de las áreas productoras de sedimentos dan lugar a una progresiva reducción del tamaño de los cantos y un incremento en los índices de rodamiento conforme se aproxima a la desembocadura (García Ruiz *et al.*, 1987; Solano Mata y Salas González, 2011; Degiovanni *et al.*, 2013).

Las condiciones que rigen el transporte de los sedimentos se reflejan en el depósito que se origina cuando la fuerza tractiva deja de actuar, de manera que el estudio de la

granulometría y de la morfometría sedimentaria es una excelente fuente de información acerca de las circunstancias que definieron el proceso físico del transporte (Martínez Castroviejo y García Ruiz, 1990). El tamaño de la carga sedimentaria de un río es una variable estrechamente relacionada con la pendiente del curso. Los mecanismos de transporte reducen el tamaño de los cantos y por ello disminuye la pendiente necesaria para mantener el transporte (Vericat *et al.*, 2006). Las características del material en un tramo del río se determinan por los promedios de muestras tomadas en diferentes partes de la sección transversal del cauce. Es importante considerar cómo se distribuyen los distintos tamaños de sedimentos y determinar la frecuencia granulométrica (Spaletti, 2007).

La obtención de muestras granulométricas es el punto de partida en cualquier estudio sobre dinámica fluvial. Se trabajó con la carga de fondo porque es la que ocasiona los mayores cambios morfológicos en el canal y permite inferir características del transporte a partir del tamaño. Para analizar la carga de fondo se seleccionó el tramo del canal principal correspondiente a la cuenca baja (Fig. 7.2). Se relevaron los sedimentos de fondo realizando transectas transversales al canal principal. Como se puede observar en la figura 7.2 los puntos para el muestreo se ubicaron en diferentes lugares que permitieron analizar la variabilidad en la cantidad y tamaño de los sedimentos. Las muestras seleccionadas fueron sobre el canal principal, antes y después de la confluencia con el arroyo San Diego.

Con respecto a las frecuencias obtenidas para las diferentes clases (Fig. 7.2) se puede observar que la transecta con mayor cantidad de sedimentos es la número 3, localizada aguas abajo de la confluencia del arroyo San Diego con el San Bernardo, lo cual marca el aporte que tiene ese arroyo en la dinámica sedimentaria. El intervalo con mayor cantidad de muestras es 0 - 15 cm. Con respecto a la segunda transecta con mayor cantidad de muestras es la número 2 y también coincide el intervalo de 0 - 15 cm. La transecta 6 se diferencia por tener la mayor frecuencia en el intervalo de 15 - 30 cm lo cual puede deberse a que la capacidad de carga del arroyo es mayor y a medida que avanza se van depositando los sedimentos de mayor tamaño.

Los resultados obtenidos para cada transecta se pueden observar en las figuras 7.3 y 7.4. La transecta 1 tiene un largo de 20 m y el tamaño promedio de los sedimentos es de 14,8 cm. Se relevaron en total 65 sedimentos. El máximo diámetro fue de 55,5 cm mientras que el mínimo valor fue 4,6 cm. Sobre el inicio de la transecta (A) se observa una dispersión mayor en los tamaños mientras que sobre el final (A') son más homogéneos. Esto puede deberse a la presencia de una terraza de 45 cm de altura. La transecta 2 tiene un largo de 30 m y el tamaño medio de los clastos es 12,5 cm. Se relevaron en total 231 sedimentos. El mayor diámetro fue 68,5 cm mientras que el más pequeño fue de 3,65 cm. Se observa una dispersión menor que en la transecta anterior. El fondo del cauce es homogéneo y se debe a que el material que allí se encuentra es de tamaño grava gruesa-bloque. Para iniciar el transporte de estos sedimentos se necesita velocidades superiores a 20 cm/s y el promedio en este sector del arroyo es de 0,12 cm/s. Generalmente la carga de fondo se moviliza por rodadura o arrastre a lo largo del lecho del canal.

La transecta 3 tiene un largo de 20 m. El tamaño promedio de los sedimentos muestreados es 18,03. Se relevaron un total de 132 muestras, el valor máximo fue 39 cm y el mínimo hallado fue 4,6 cm. El fondo del cauce es homogéneo y se debe a que el material

que allí se encuentra es de tamaño grava gruesa-bloque. Con respecto a la distribución sobre la transecta se observa que es homogénea en casi la totalidad de la línea a excepción del extremo A. Allí se muestrearon sedimentos de 60 cm los cuales han sido depositados en un evento de crecida extraordinaria, cuando el arroyo tuvo mayor capacidad de carga. Estos sedimentos han estado cubiertos y actualmente el arroyo ha erosionado dejándolos visibles.

La transecta 4 (Fig. 7.4) se realizó sobre el arroyo San Diego, previo a la confluencia con el arroyo San Bernardo. Tiene un largo de 20 m y el tamaño promedio de los sedimentos es de 11,4 cm. Se relevaron 308 sedimentos. La muestra más grande fue de 61,5 cm mientras que la más pequeña tuvo un diámetro de 1,9 cm. Se trata de una zona en la cual la velocidad es menor con respecto a las otras transectas (0,6 cm/s) y se inicia una fase de depositación. La quinta transecta (Fig. 7.4) tiene un largo de 38 m. El total de sedimentos muestreados fue 177. El máximo diámetro fue 60 cm y el diámetro promedio fue 14,5 cm. Con respecto a la distribución se observa que esta es heterogénea al comienzo de la transecta (A) donde los sedimentos varían su tamaño entre los 8 y 30 cm. La última transecta tiene un largo de 22 m y la cantidad de sedimentos muestreados fue 16. En este caso el valor medio fue 19,6 cm, superior al resto de los valores obtenidos en las demás transectas debido a que estas partículas tuvieron menor desgaste por su menor transporte.

La producción de sedimentos en zonas de montaña o con pendientes pronunciadas tiene dos fuentes: a) la erosión superficial generalizada del suelo y b) los procesos de remoción en masa en sitios puntuales. Estos procesos influyen en los problemas que ocasionan las crecidas y promueven cambios en la morfología fluvial. Los sedimentos producidos por erosión superficial están asociados principalmente al fenómeno de destrucción del suelo por el impacto directo de las gotas de lluvia y el posterior transporte por escurrimiento superficial. Se trata de un proceso que presenta una cierta continuidad temporal asociada a eventos ordinarios característicos de la cuenca. En cambio, los sedimentos producidos por remoción en masa como los deslizamientos de laderas, colapso de márgenes, etc., están relacionados con la inestabilidad hidrogeológica de la cuenca y se vinculan con eventos extremos (Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija [COBINABE], 2010). Los sedimentos analizados en este apartado corresponden a los que fueron transportados en crecidas ordinarias, en tanto que los de mayores diámetros, transportados en eventos extraordinarios, se cubrieron con posterioridad y al presente afloran solo en algunos sectores.

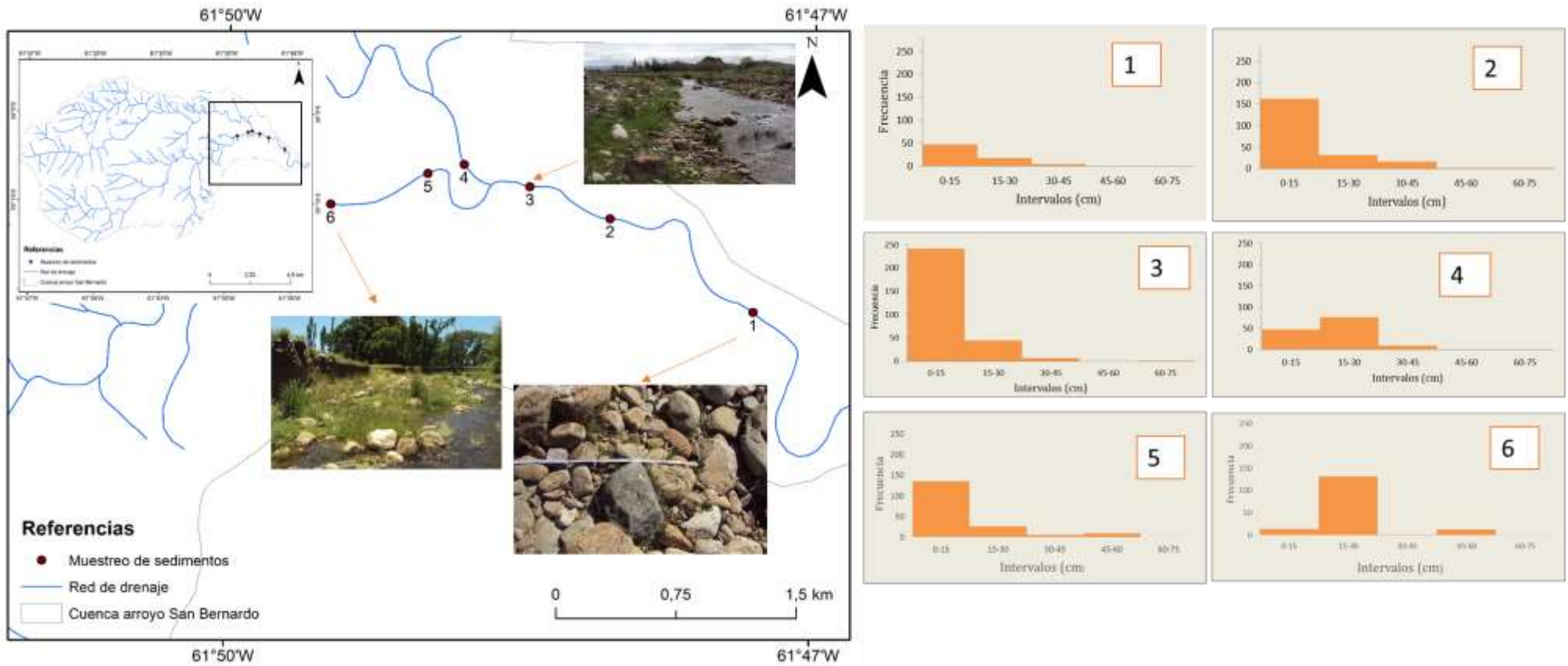


Figura 7.2 Localización de los puntos de muestreo y frecuencia de los sedimentos de acuerdo al tamaño (cm).

Fuente: elaborado por Volonté

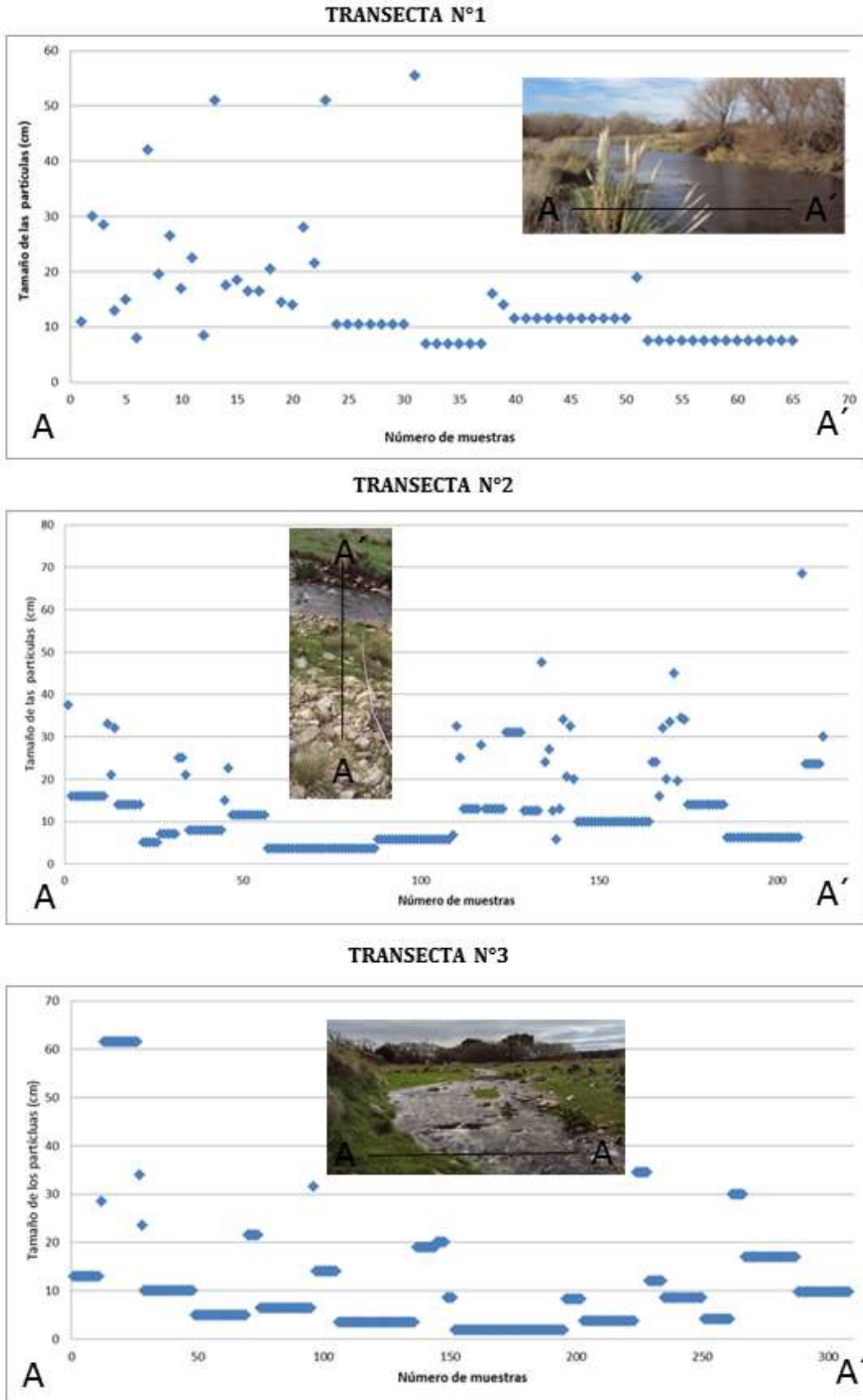


Figura 7.3 Relación entre el tamaño y número de muestra en las transectas 1, 2 y 3.
Fuente: elaborado por Volonté *et al.*, 2013

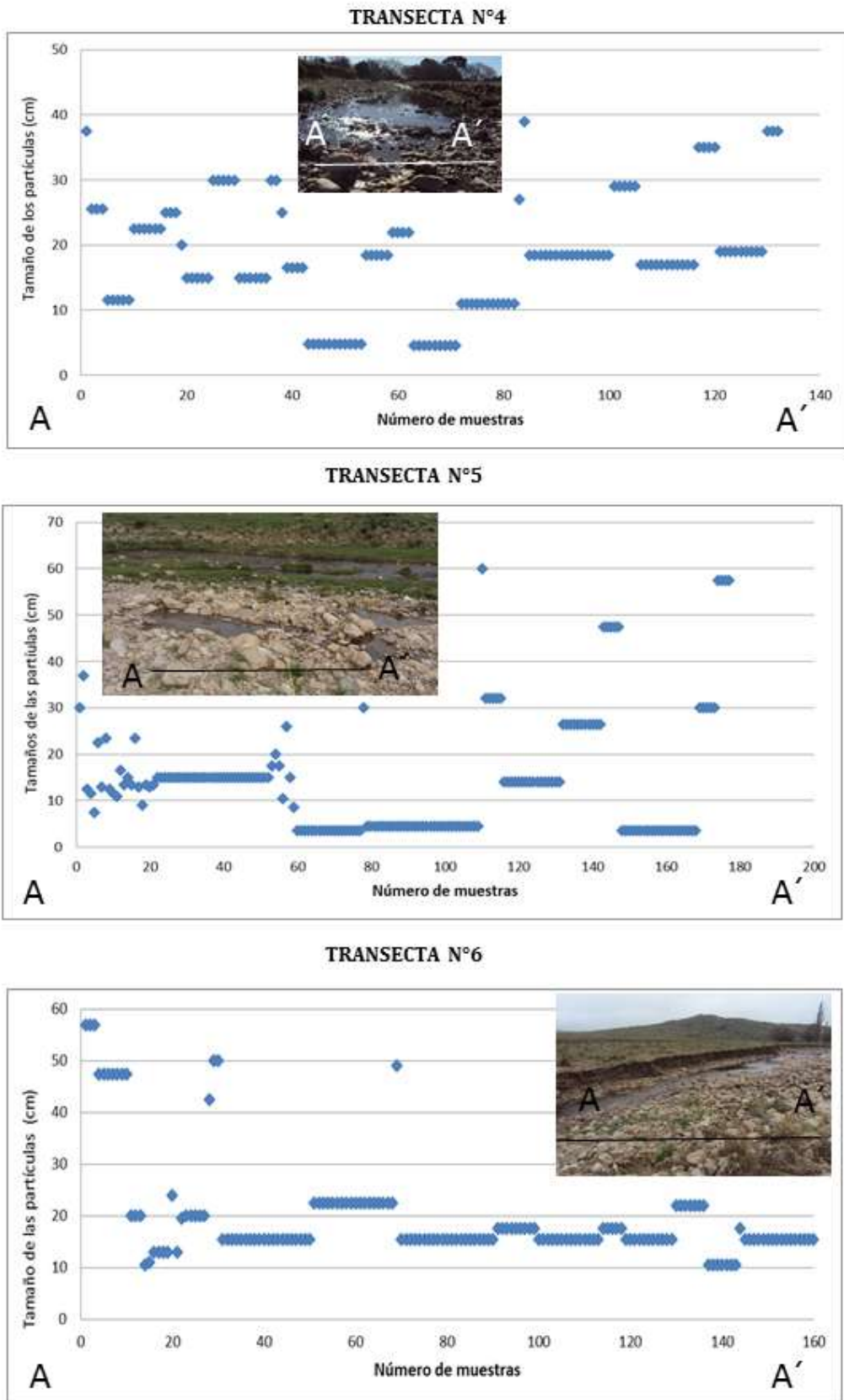


Figura 7.4 Relación entre el tamaño y número de muestra en las transectas 4, 5 y 6.
Fuente: elaborado por Volonté

Mediante el diagrama de Hjulström se relaciona el diámetro de la partícula con la velocidad de la corriente y se determinan 4 estadios: depositación, transporte, erosión y removilización. Considerando que la velocidad promedio del arroyo San Bernardo es de 0,12 cm/s y que el material relevado oscila entre los 5 y 60 cm aproximadamente, según este diagrama el estadio es de sedimentación. Es importante aclarar que estos resultados son para un periodo de estiaje. Durante las crecidas el caudal supera ampliamente la velocidad media pasando de un estadio de sedimentación a uno de transporte.

Estudios experimentales indican que la movilidad de las partículas es mayor para pequeñas partículas que para las grandes, las que tiene un tamaño de unos 2 cm poseen la misma movilidad y quedan atrapadas preferentemente en estructuras abiertas verticales a las que rellenan mientras que las partículas mayores de 6 cm quedan atrapadas preferentemente por estructuras imbricadas (Nichols, 2009).

La aplicación de la fórmula de Froude en cada transecta analizada da valores inferiores a 1 indicando un flujo de tipo laminar. Este tipo de flujo corresponde a un estadio de depositación lo cual reafirma lo observado en el diagrama de Hjulström, del que se desprende que las velocidades necesarias para mantener en movimiento a los sedimentos de mayor tamaño son menores que las requeridas para reiniciar el movimiento después que se han detenido. Según Nichols (2009) una vez concentradas, las partículas grandes forman un lugar de depositación continuo y se necesita de una mayor competencia del arroyo para volver a movilizarlas.

7.2.1 Análisis estadístico básico de las gravas

Se calcularon la media, la moda y la mediana para el total de sedimentos relevados en cada transecta (Tabla 7.1). La media y la mediana son medidas de tendencia central y reflejan la energía cinética media del agente de transporte. El valor más frecuente es 18,5 cm en la transecta 3 y 15,5 en la transecta 6. Estos resultados son altos comparados con el resto de los valores obtenidos. La media central oscila entre los 11 y 18 cm.

	Transecta 1	Transecta 2	Transecta 3	Transecta 4	Transecta 5	Transecta 6
Media central	14,8	12,4	18,03	11,4	14,5	19,7
Moda	7,5	3,65	18,5	1,9	3,5	15,5
Mediana	11,5	10	18,5	8,25	14	15,5

Tabla 7.1 Medidas de centralidad.

Fuente: elaborado por Volonté

Con respecto a las medidas de dispersión se utilizó el desvío estándar y se calcularon los valores máximos y mínimos registrados para cada transecta (Tabla 7.2). El desvío muestra el grado de selección granulométrica. Se destaca que el mayor desvío corresponde a la tercera transecta (13,06) mientras el menor desvío es en la cuarta transecta (8,6). En cuanto a los máximos y mínimos se observa que existen amplitudes considerables lo cual genera que los

desvíos del valor central sean mayores. Los sedimentos más grandes se encontraron en las transectas 2 y 3.

	Transecta 1	Transecta 2	Transecta 3	Transecta 4	Transecta 5	Transecta 6
Desvío	10,7	9,6	13,06	8,6	12,7	9,87
Máximo	55,5	68,5	61,5	39	60	57
Mínimo	4,6	3,65	1,9	4,6	3,5	10,5
Nº total de datos	65	213	308	132	182	165

Tabla 7.2. Medidas de dispersión.

Fuente: elaborado por Volonté

7.3 Caracterización fluviomorfológica de dos tramos del curso principal

Los perfiles transversales permiten reconocer microformas y tener una descripción detallada de una parte del canal (Gutiérrez Elorza, 2008; Pedraza Gilsanz, 1996). Las características morfológicas de los tramos seleccionados son diferentes y se consideran representativas de la dinámica de la cuenca media y baja. El primer tramo está en un sector de la cuenca media con escasa intervención humana, es una zona predominantemente ganadera. El segundo tramo, en la cuenca baja fue elegido por ser un sector en la zona urbanizada (Fig. 7.5).

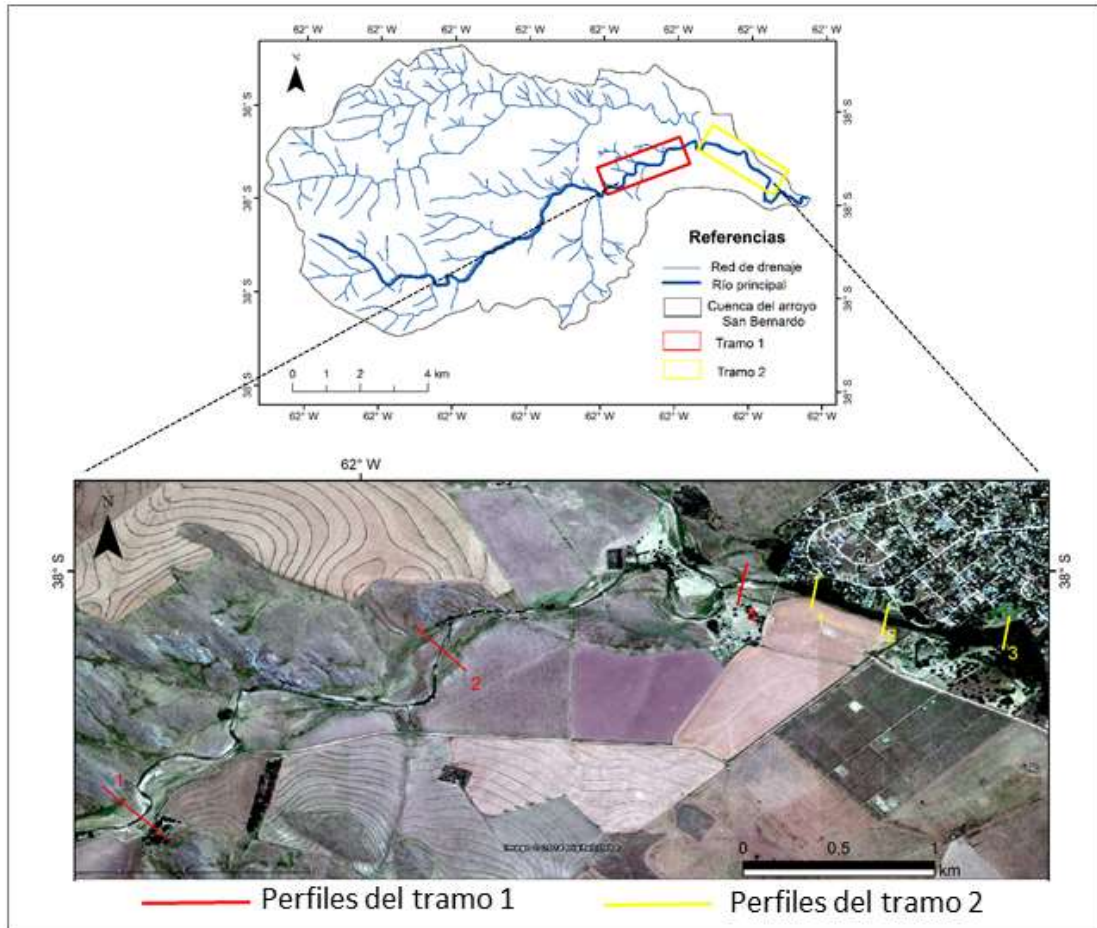


Figura 7.5 Localización de los perfiles transversales.

Fuente: elaborado por Volonté

Primer Tramo

Se encuentra en la cuenca media, a una altura promedio de 300 m s.n.m. Esta área se localiza dentro de una propiedad privada y en la zona circundante al arroyo se realizan actividades predominantemente ganaderas. La llanura de inundación presenta una extensión promedio de 100 m, se destacan pequeñas ondulaciones y terrazas en una de sus márgenes (Fig. 7.6). Con respecto a los sedimentos, el tamaño promedio es de 11,4 cm mientras que los bloques oscilan entre los 40 y los 66 cm. El fondo del canal es homogéneo y se debe a que el material es de tamaño grava gruesa - bloque. Con respecto al caudal a partir de las mediciones *in situ* se obtuvo como valor $0,330 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Para la descripción de este tramo se realizaron 3 perfiles transversales considerando las diferentes características morfológicas.

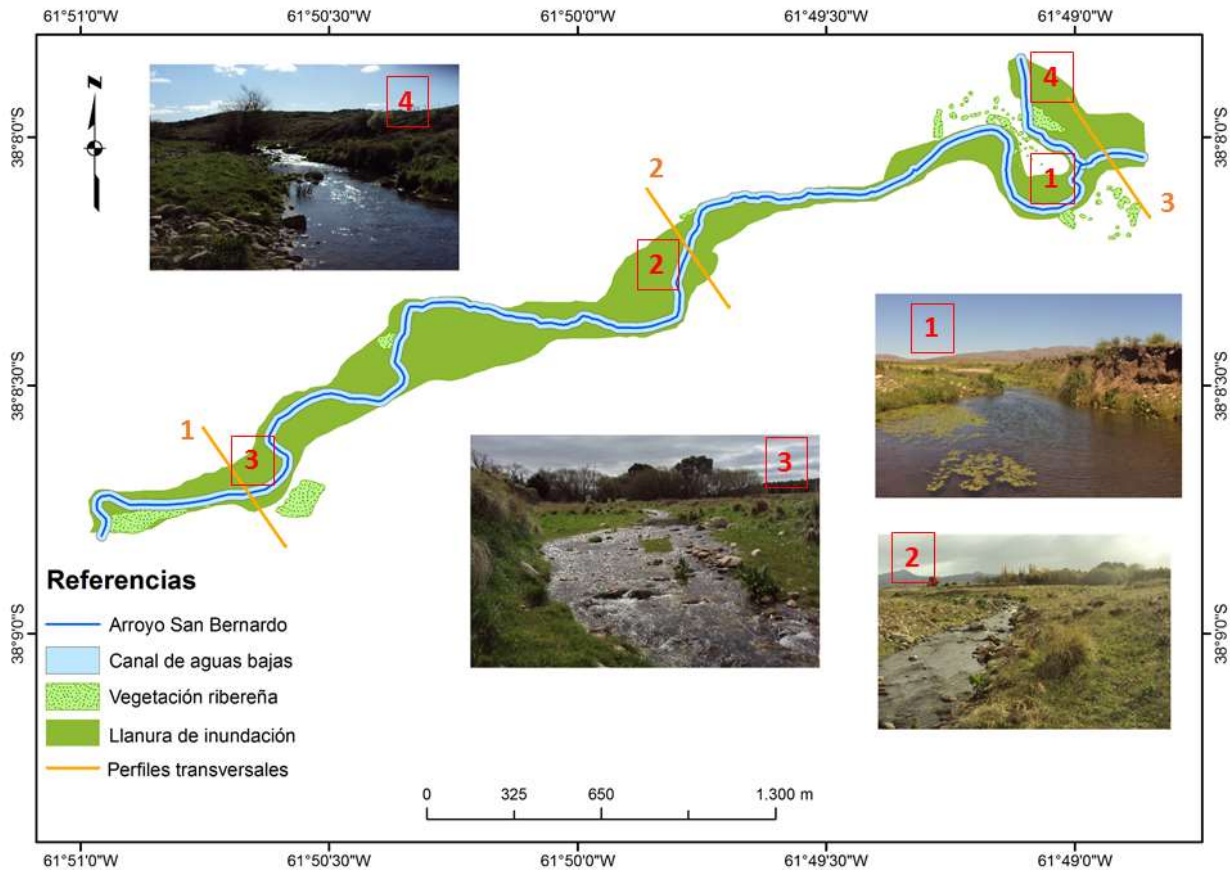


Figura 7.6 Perfil en planta del primer tramo.
Fuente: elaborado por Volonté

El primer perfil transversal (Fig. 7.7) presenta una extensa llanura de inundación, la cual se encuentra cubierta en gran parte con vegetación de tipo herbácea y se hallan algunos ejemplares arbóreos caídos, con las raíces expuestas. El fondo del canal está compuesto por arena y grava y el ancho del canal de aguas bajas es 10,2 m. Sobre la margen izquierda hay terrazas que presentan una altura aproximada de 3 m, en las cuales se distinguen diferentes estratos. Desde abajo hacia arriba, el primer estrato se compone de material grueso del tipo grava-roca sin estructuras, el segundo estrato está compuesto de material fino y el último nuevamente de material grueso.

El perfil 2 (Fig. 7.7) al igual que el anterior presenta una extensa llanura de inundación, sin formación de suelo y con bloques intercalados con una cubierta de vegetación herbácea. En algunos sectores se encuentran árboles caídos, lo cual indica el transporte de fondo en períodos de mayor caudal o movilización de los mismos en las crecidas torrenciales. El lecho del arroyo está compuesto por gravas y rocas aflorantes de la Fm. Lolén, la cual presenta una secuencia predominante de cuarcitas. Las márgenes son asimétricas y con terrazas. Si bien el cauce supera los 50 m en el momento de realizar el perfil el canal tenía 3 m y el caudal era de $0,140 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. El perfil 3 (Fig. 7.7) se realizó sobre el arroyo San Bernardo luego de la confluencia con el arroyo San Diego. En este perfil se observó en ambas márgenes una mayor cantidad de sedimentos de tamaño grava y bloques que superan los 50 cm de diámetro. No hay presencia de especies arbóreas y dominan las herbáceas. El fondo del canal está compuesto por gravas y bloques. Hay terrazas de aproximadamente 0,40 m con tres estratos bien diferenciados, desde abajo hacia

arriba hay un primer estrato de grava, en el segundo estrato el tamaño disminuye y culmina con un estrato de material fino.

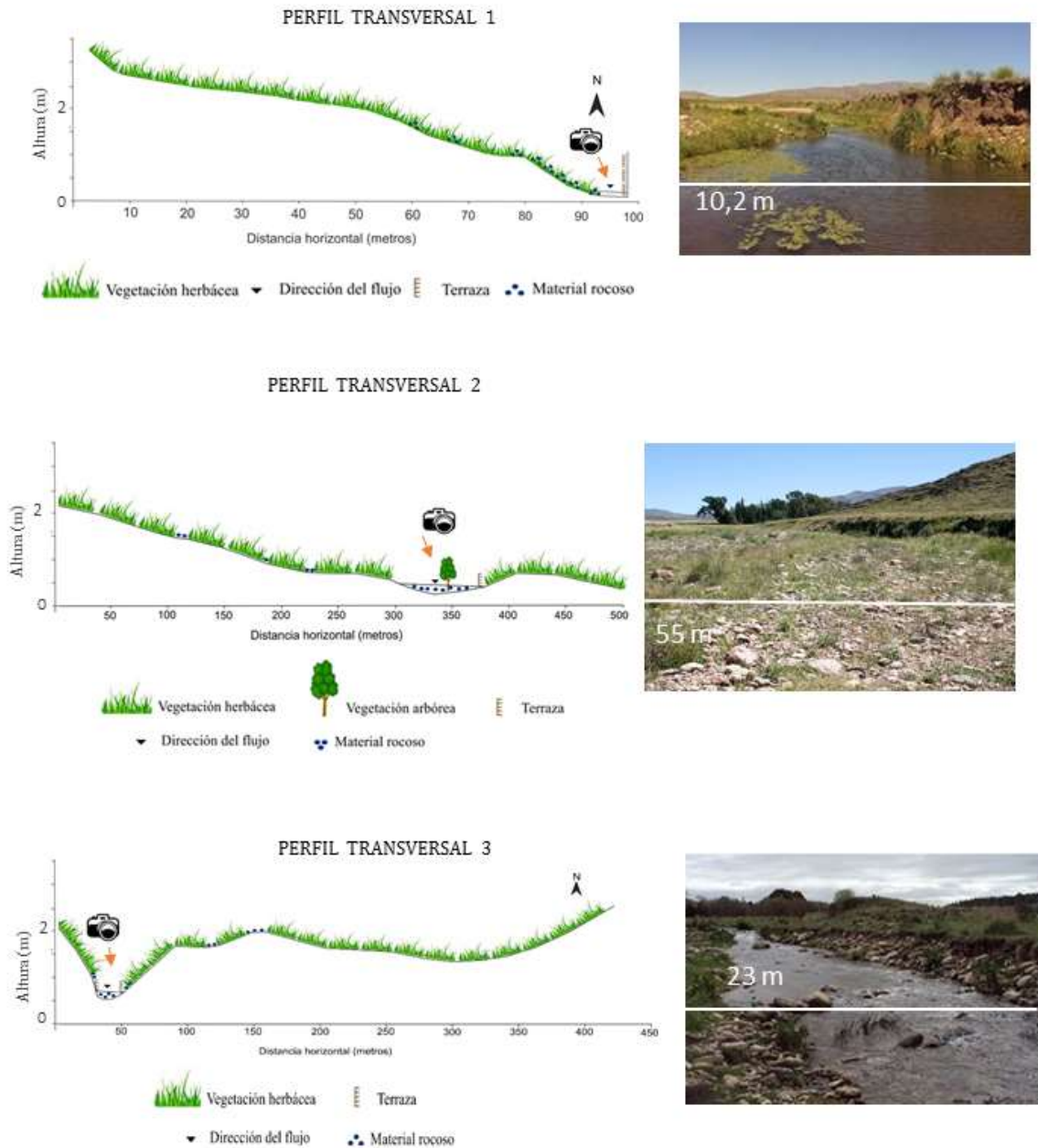


Figura 7.7 Perfiles transversales correspondientes al primer tramo.
Fuente: elaborado por Volonté

Segundo tramo

La longitud de este tramo es de 1.000 m y la altura promedio es 260 m s.n.m. Sobre la margen izquierda se encuentra el barrio San Bernardo y el balneario homónimo. Se trata de una zona residencial de fácil acceso con fuerte transformación del paisaje debido al desarrollo de actividades recreativas. Sobre la margen derecha se encuentra un parque ecológico con fines turístico-recreativo (Fig. 7.8).

En general la vegetación en el tramo es predominantemente arbórea, de edad madura, que superan los 15 metros de altura junto con especies típicas del pastizal pampeano como la *Stipa longiglumis*; *Panicum bergii* y *Cortaderia selloana*. La vegetación cumple una doble función: por un lado protege los márgenes del cauce de la acción erosiva actuando como indicadores de la magnitud de crecidas; por otro, se tornan un obstáculo que generan pequeños diques que magnifican y modifican las ondas de crecida (Volonté *et al.*, 2013). Los valores de caudal varían según el sector; en la confluencia del arroyo San Diego el valor obtenido fue $0,294 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y aguas abajo en cercanía al balneario San Bernardo el caudal fue $0,372 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

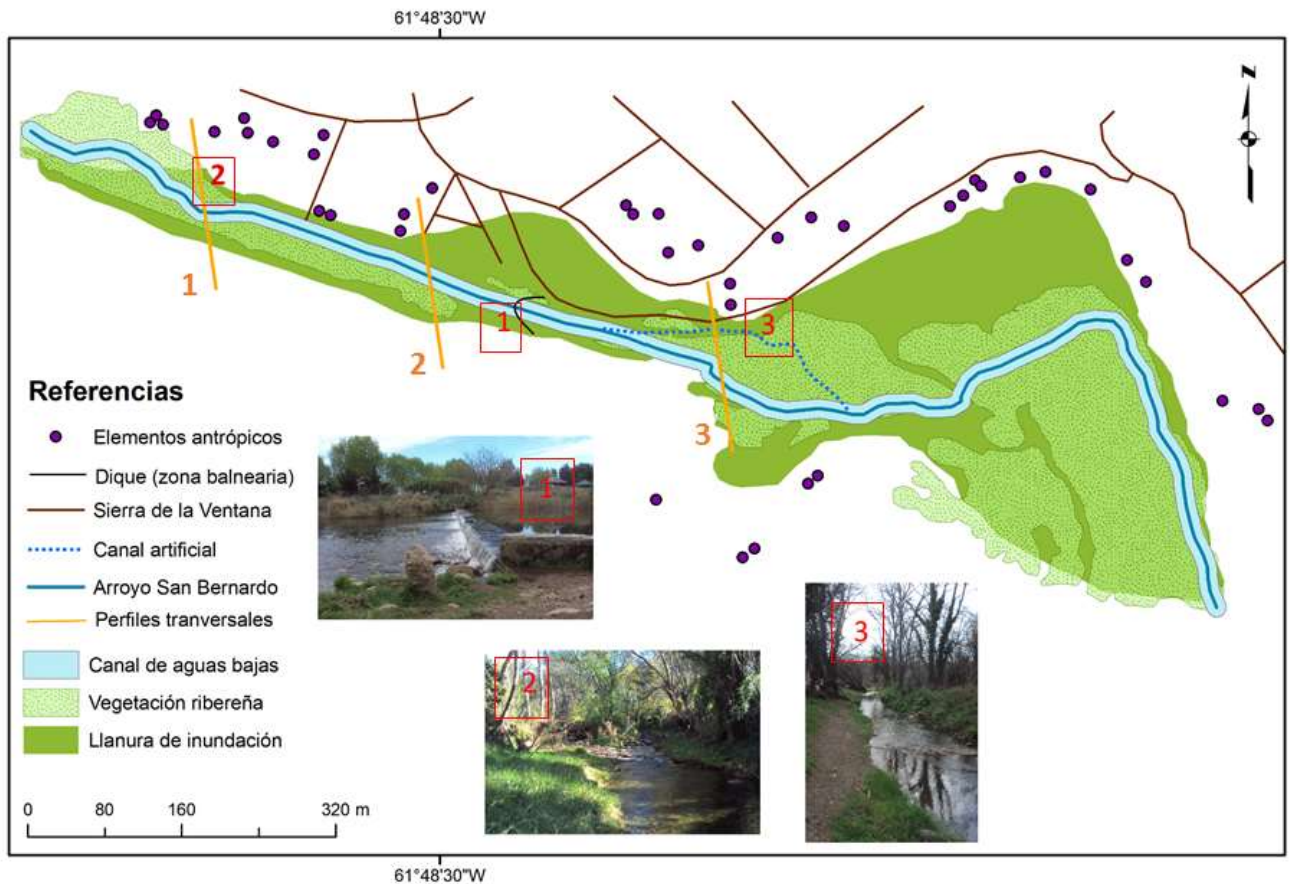


Figura 7.8 Perfil en planta del segundo tramo.

Fuente: elaborado por Volonté

En el perfil 1 (Fig. 7.9) la llanura de inundación presenta depósitos de arenas tamaño medio. En el fondo del canal y sobre ambas márgenes se encuentra grava gruesa y rocas de gran tamaño transportadas por el arroyo y depositadas al perder su energía. Ambas márgenes están vegetadas y se observa la presencia de resaca o “trash” con una altura aproximada de 3 m. El cauce presenta un ancho aproximado de 7 m y sobre la margen derecha se halla una terraza de 2,5 m de altura compuesta de material consolidado con indicios de meteorización física. Las especies arbóreas superan los 20 m de altura y presentan un marcado deterioro producto del impacto del agua durante las crecidas. En el canal hay ejemplares caídos que actúan como diques, durante las crecidas, reteniendo el agua.

El segundo perfil (Fig. 7.9) es de 45 m de largo y su cauce mide 8 m de ancho. Los depósitos que se encuentran en el fondo del lecho y sobre la margen izquierda son gravas

gruesas y bloques. Ambas márgenes están vegetadas y se observa la presencia de “trash” con una altura aproximada de 5 m. Si bien ambas márgenes son asimétricas, las diferencias de pendientes no son considerables. Las barrancas tienen 0,40 m de alto y están compuestas de material consolidado. La llanura de inundación se encuentra urbanizada por lo cual la vegetación ha sido modificada y predominan las gramíneas. Hay árboles que poseen más de 10 metros están en mal estado por haber sido afectados por las crecidas extraordinarias del arroyo.

El último perfil de 68 metros de largo tiene un cauce de 23 m de ancho y un canal artificial de 3 m (Fig. 7.9). La canalización se realizó con el objetivo de mitigar los efectos de las crecidas ordinarias. En la llanura de inundación hay un barrio privado por lo cual la vegetación se encuentra modificada y existe un predominio de gramíneas. En esta parte el arroyo no transporta materiales de gran tamaño y los depósitos que predominan son arenas medias y finas. La profundidad del agua es baja y se forman barras debido al flujo dividido, las mismas son indicadoras de una menor eficiencia hidráulica del flujo. Las barras se encuentran en el centro del canal y están vegetadas.

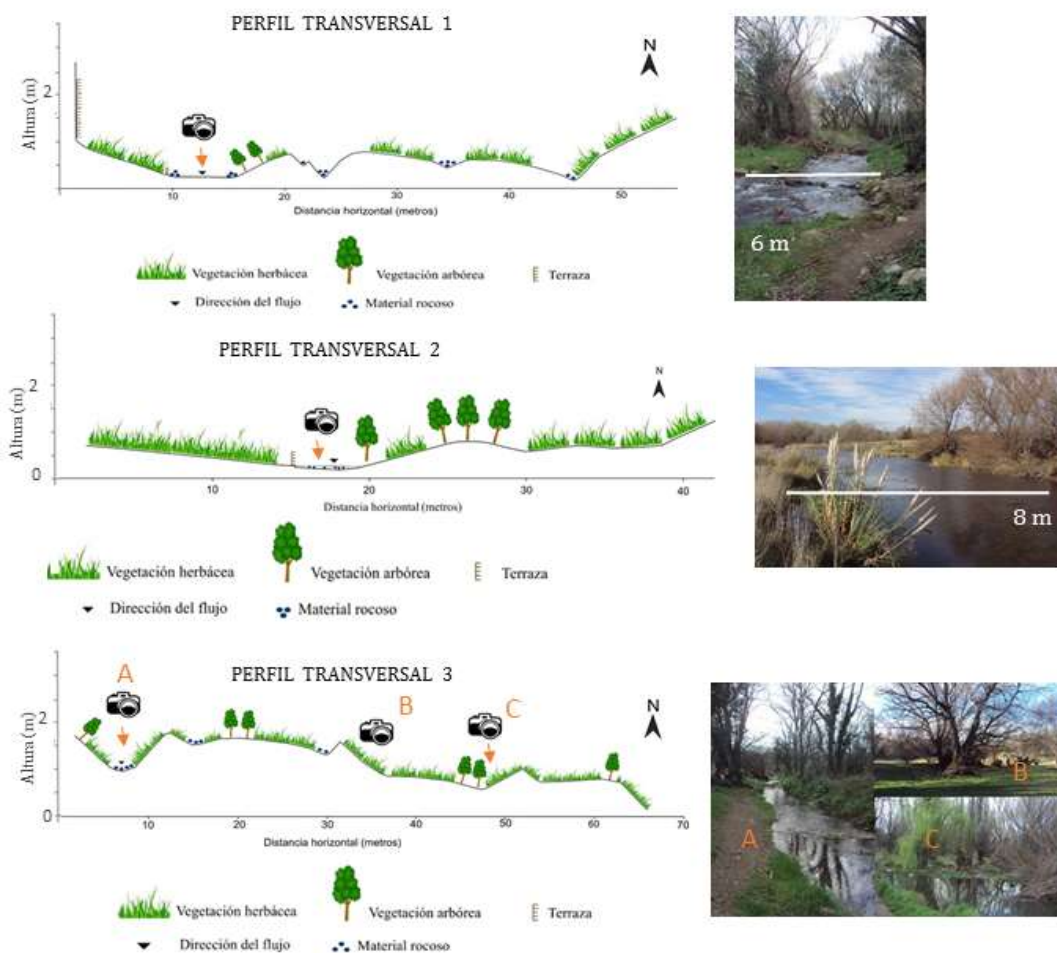


Figura 7.9 Perfiles transversales correspondientes al segundo tramo.
Fuente: elaborado por Volonté

7.4 Indicios de crecidas en el canal principal en función de la morfología de los ejemplares arbóreos

Los bosques en galería hacen referencia a una formación vegetal por árboles, que se extiende de manera de franja continua o semi continua y que se destaca de los paisajes adyacentes. Estos bosques se ubican siempre paralelos a los cursos de agua, las causas son múltiples pero entre las más importantes se encuentran la mayor disponibilidad de humedad ambiente y los factores de dispersión que determinan las características del banco de semillas en el suelo (Neiff, 2005).

Este tipo de bosques se halla presente principalmente en la cuenca baja. En el resto de la cuenca existen ejemplares arbóreos de manera aislada localizados en el borde o dentro del canal. El área comprendida por el bosque es de pequeña dimensión, aproximadamente de 1 km² y está ubicada en la zona del balneario. Las especies predominantes son *Salix humboldtiana* y *Populus Spp.* cuyas alturas oscilan entre los 15 y 25 m. La principal característica de este bosque es el estado en que se encuentran los ejemplares, ya que todos presentan algún tipo de modificación en su forma. Según Díez Herrero *et al.* (2008) la estructura y dinámica de las especies está condicionada por las crecidas. Este autor establece una tipología de especies arbóreas afectadas por estos eventos en función de su morfología (Fig. 7.10).

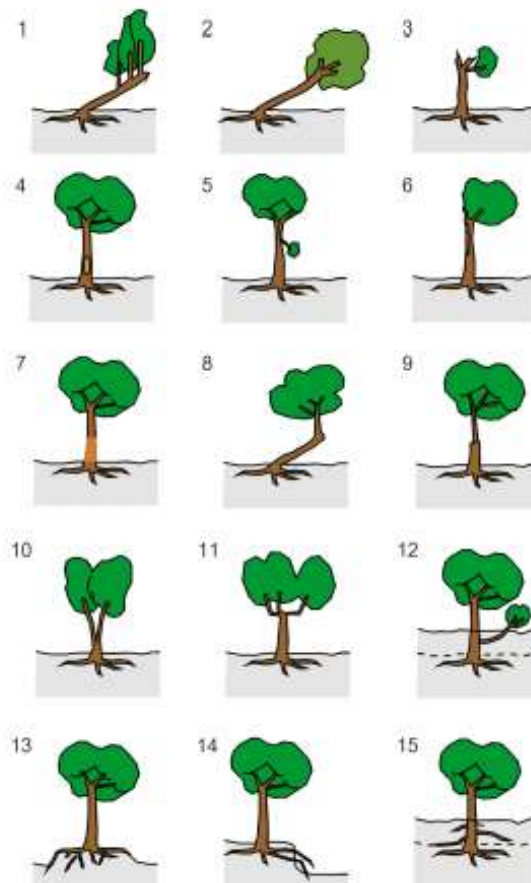


Figura 7.10 Tipología de árboles que han sido afectados por crecidas.

- 1) Crecimiento en candelabro; 2) Inclinados y pies volcados; 3) Decapitados; 4) Impactos por la carga sólida; 5) Arranque de ramas; 6) Rozamiento por caídas 7) Erosiones en el tronco 8) Codos y ángulos en el tronco; 9) Estrechamientos bruscos del tronco; 10) Bifurcaciones; 11) Codos y ángulos en las ramas; 12) Rebrotos desde troncos enterrados; 13) Raíces expuestas, descortezados y con erosiones; 14) Raíces flotantes sin contacto con el substrato; 15) Nuevas raíces desde troncos enterrados.

Fuente: Díez Herrero *et al.*, 2008.

Las especies arbóreas de la cuenca presentan modificaciones en las ramas, troncos y raíces (Fig. 7.11). Por ejemplo, las raíces expuestas son producto del socavamiento del agua a lo largo del tiempo o producto de los diferentes niveles que adquiere el agua del canal. Los ejemplares volcados adoptan esa forma buscando mayor humedad, la especie que tiene mayor tendencia a este comportamiento es *Salix humboldtiana*. El descortezamiento puede ser producto del impacto de los sedimentos durante un evento de crecida o el impacto de las ramas y troncos que trae el arroyo.



a) Ejemplares volcados hacia el canal



b) Raíces expuestas y troncos descortezados



c) Troncos enterrados y ramas bifurcadas



d) Raíces expuestas y descortezamiento. Ejemplar ubicado en el medio del canal.



e) Bifurcaciones del tronco principal

Figura 7.11 Evidencias de crecidas en las especies arbóreas de la cuenca.

Fuente: fotografías de Volonté

Como síntesis de este capítulo es importante destacar que la baja sinuosidad del canal principal es un indicador de áreas con pendientes importantes y que representa una mayor fuerza erosiva, lo cual constituye otra evidencia de la alta peligrosidad de las crecidas en la cuenca. Las variaciones en la sinuosidad están en relación con los quiebres de pendiente,

destacándose tres sectores que coinciden con cuenca alta, media y baja. Los mayores valores de sinuosidad se dan en la cuenca baja evidenciado por la presencia de un conjunto de meandros. Sobre el canal principal se estudió la carga sedimentaria de fondo ya que es la que origina la mayor parte de los cambios morfológicos detectándose sedimentos de mayor tamaño en la parte de la cuenca media. Los sedimentos presentan una gran movilidad durante las crecidas siendo indicadores de la fuerza erosiva de las crecidas.

La vegetación arbórea en la cuenca baja sirve como testimonios de las crecidas no solo a partir de la presencia de *trash* sino también a partir de los cambios morfológicos del tronco, las ramas y las raíces. Los árboles presentan raíces expuestas, troncos descortezados, ramas bifurcadas, todas tipologías de árboles afectados por crecidas.

CAPÍTULO 8

LA GESTIÓN INTEGRAL DE CRECIDAS. PROPUESTAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN

8.1 El enfoque sistémico de la Gestión Integral de Crecidas (GIC) adaptado a la cuenca del arroyo San Bernardo

La GIC es un enfoque que tiene por finalidad minimizar las consecuencias ambientales y socio-económicas de las crecidas adoptando una visión centrada en la cuenca y su dinámica. Introduce la necesidad de contar con una perspectiva sistémica que permita disminuir la vulnerabilidad y los riesgos fomentando la participación ciudadana y preservando los ecosistemas (Organización Meteorológica Mundial, 2009). En décadas anteriores el control de las crecidas y la protección contra estas se basaban en la ingeniería y otorgaba poca consideración a las repercusiones sociales, culturales y medioambientales de la estrategia adoptada. Se apoyaban mayormente en soluciones estructurales como por ejemplo, diques, canales de derivación, presas y embalses. Durante la última mitad del siglo XX, el control de las crecidas y la protección contra las mismas fue evolucionando lentamente desde el énfasis que antes recaía en las infraestructuras hacia la incorporación de medidas no estructurales complementarias como la predicción de crecidas y la reglamentación del uso de la tierra (Paoli, 2015).

Este enfoque permite adoptar una combinación óptima de estrategias conformes a factores como el clima, las características de la cuenca y las condiciones socioeconómicas. Desde el tratamiento de la peligrosidad de las crecidas se pueden combinar distintas medidas que colaboren en disminuir las consecuencias de estos eventos además de la generación de cartografía específica (Díez Herrero *et al.*, 2006; OMM, 2006; Díez Herrero *et al.*, 2009).

Actualmente se recomienda la utilización del enfoque de la GIC ya que abarca por un lado el saber científico, a partir de la necesidad de contar con los conocimientos hidrográficos, geomorfológicos, climáticos, etc. que posibilita entender el funcionamiento de la cuenca y por otro, complementa esta información con la participación de la población. Son los ciudadanos los que deben garantizar la aplicación de los principios de la GIC como así también valorar, supervisar y evaluar sus efectos. Al establecer un diálogo y obtener respuestas de la comunidad implicada, estas pueden influir en el proceso de toma de decisiones ya que plantearán problemas que deberán ser considerados en las diferentes etapas y le da mayor aplicabilidad y riqueza al enfoque (OMM, 2006; Paoli, 2015).

Según la OMM (2009) la gestión integrada de crecidas no se puede aplicar de forma universal sino que requiere adaptarse a situaciones concretas, variando de acuerdo con la naturaleza de la crecida, las condiciones socioeconómicas y el nivel de riesgos de la sociedad afectada. Las consecuencias de la crecida pueden reducirse atenuando la magnitud, evitando la exposición de las personas y de sus actividades y reduciendo la vulnerabilidad de las comunidades expuestas a este riesgo. Existen medidas estructurales y no estructurales que se utilizan para reducir la exposición a las crecidas, las estructurales engloban las construcciones que reducen o evitan el posible impacto de la inundación, incluyendo un amplio rango de obras de ingeniería civil.

En esta tesis se proponen para el área de estudio las medidas no estructurales. Estas medidas incluyen diferentes políticas de concientización, desarrollo del conocimiento, reglas de operación, así como mecanismos de participación pública e información a la población. Por otro lado buscan la reducción de la vulnerabilidad de la población en riesgo a partir del planeamiento y la gestión llevados a cabo antes, durante y después de la crecida.

En la figura 8.1 se observan las medidas propuestas para reducir la peligrosidad en el área de estudio y que serán desarrolladas en el presente capítulo.

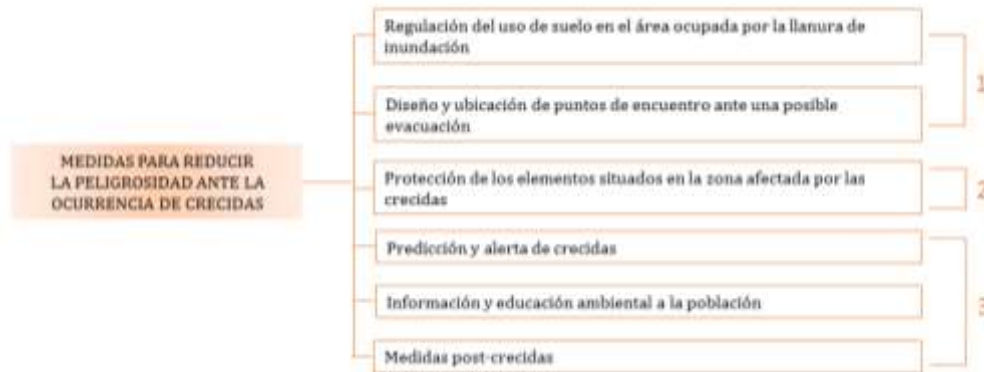


Figura 8.1 Medidas no estructurales propuestas para minimizar la peligrosidad de crecidas. Fuente: elaborado por Volonté

Las medidas propuestas se agrupan en:

1. La Reglamentación del uso del suelo

Los efectos negativos de las crecidas pueden reducirse por medio de reglamentos y en ocasiones la prohibición de ciertas actividades y nuevos proyectos de desarrollo en las zonas de alta peligrosidad. Estos reglamentos pueden presentarse en forma de normas del uso de la tierra, reglamentos de parcelamiento, códigos de construcción, políticas de desarrollo, etc. La elaboración de cartografía sobre la peligrosidad de crecidas es un requisito previo esencial para la posterior reglamentación del uso del suelo.

2. La protección contra crecidas

En aquellos lugares en los que la magnitud del desarrollo actual es considerable, se puede pensar en la adopción de estrategias alternativas como la protección contra inundaciones de los elementos situados en la zona inundable. Consiste en una combinación de medidas a largo plazo así como también de medidas de emergencia. Es importante no solo reducir los daños causados por la crecida, sino también prevenir efectos negativos en el medio ambiente.

3. Elaboración de un plan de actuación ante una crecida

El elemento esencial en la reducción de daños producidos por las crecidas es la preparación y respuesta en casos de emergencia. Se debe mejorar y mantener la sensibilización de la comunidad al peligro de crecidas. Esto es esencial para organizar una evacuación coordinada de la zona afectada y mantener condiciones saludables e higiénicas en las zonas inundadas. La información sobre las rutas de evacuación, la identificación de los refugios de emergencia y otras acciones debe estar de antemano a disposición de todos los posibles afectados. Después de una crecida, las operaciones de limpieza se realizan en situación de emergencia y por ello, puede que se preste poca atención a la descarga de la basura y los escombros. Si no se planificó los mismos pueden obstruir los canales de drenaje, ríos, lo cual tiene repercusiones en los ecosistemas naturales. Estas operaciones de limpieza

requieren una atención especial en la fase posterior de recuperación para evitar los efectos negativos a largo plazo.

8.2 La percepción de la población sobre la peligrosidad de crecidas

En la elaboración de un Plan de Gestión de Crecidas es necesaria la participación de los actores involucrados (OMS, 2006). Se debe consultar a la población y darle un espacio de participación en el proceso de toma de decisiones como así también en la planificación y aplicación de las medidas para minimizar la peligrosidad.

Para el desarrollo de las propuestas se realizó una consulta entre los residentes de Sierra de la Ventana, especialmente a las personas que viven en el barrio San Bernardo y los que poseen viviendas en él pero residen en otra ciudad. Del total de formularios respondidos el 46,7 % reside de manera permanente mientras que el 53,3 % restante tiene su residencia habitual en Tornquist y Bahía Blanca pero cuenta con una vivienda de fin de semana en la localidad turística. Con respecto a la percepción de las crecidas que tiene la población el 72,4 % considera que la localidad tiene una alta peligrosidad de crecida y es un tema que le resulta muy importante, más del 50 % reconocen haber sufrido alguna consecuencia producto de las crecidas como por ejemplo daños en la vivienda y el aislamiento por corte de la ruta provincial 72.

Con respecto a la edad de los participantes predominó la población joven en el intervalo de 18-40 años lo cual es un dato importante porque al momento de responder a la pregunta *¿Tiene conocimiento de crecidas importantes que hayan ocurrido en los últimos 100 años en Sierra de la Ventana?* las respuestas se refirieron a las crecidas de los 2003 y 2015 mientras que las personas mayores a 50 años recordaron la crecida de 1944.

Uno de los testimonios de la crecida del año 2003 remarca por un lado la ausencia de un sistema de alerta y un plan de emergencia que incluya la evacuación y por el otro la rapidez con que desarrollan este tipo de eventos extremos generadores de crecidas.

“Recuerdo que estábamos festejando el cumpleaños de un compañero del colegio en el centro de Sierra y se veía venir una gran tormenta eléctrica. [...] Alrededor de las 23 horas se largó a llover, una caída de agua impresionante. Las calles ya no daban abasto [...] Me acosté porque tenía que madrugar para ir a la escuela y alrededor de la una de la mañana nos bajaron la puerta los bomberos y nos dijeron que teníamos que empezar a juntar las cosas, que nos iban a pasar a buscar en un ratito después de juntar al resto de los vecinos. Con el camión de la municipalidad nos llevaron por arriba del Puente Negro de las vías hasta el otro lado. Veíamos agua por todos lados [...] Al otro día fui al "callejón" que va de la Av. San Martín al Dique y vi casas que tenían hasta la mitad de agua. Fue impresionante. Se inundó el Barrio Villa la Arcadia, Valle Hermoso, los dos Callejones, la parte de la escuela media, las piletas municipales, la plaza [...]. Las pasarelas del Dique las rompió todas”

El 78,6 % de los participantes consideran muy importante que se difundan en los distintos medios de comunicación (radio y señales de cable) los montos de precipitación para estar alertas ante las posibles crecidas. Si bien muchos habitantes cuentan con pluviómetros en sus domicilios desconocen el monto de precipitación a partir del cual el arroyo desborda su cauce natural. El 100 % de los encuestados desconoce la existencia de planes de gestión de crecidas y consideran que sería importante implementar un sistema de alerta. Con respecto a las propuestas presentadas para disminuir la peligrosidad de

crecidas priorizaron: la creación de planes de emergencia por encima de la utilización de un sistema de alerta, de la divulgación de cartografía de las zonas afectadas periódicamente por crecidas y de la colocación de cartelería advirtiendo al turista.

En función de estos resultados y lo analizado a lo largo de los capítulos se elaboraron las propuestas que se presentan a continuación.

8.3 Medidas propuestas para la reducción de los efectos de las crecidas en la población

La principal problemática asociada a la cuenca del arroyo San Bernardo es la peligrosidad recurrente de crecidas. Esta problemática combinada con el uso del suelo residencial y turístico en el área ocupada por la llanura de inundación del arroyo junto con la expansión inmobiliaria que carece de criterios de organización urbanística aumenta la vulnerabilidad de los habitantes. No existen planes ni medidas vinculadas al peligro de crecidas, principalmente en aquellos arroyos que son vulnerables a crecidas repentinas que pueden afectar a la población. Tampoco existe una zonificación de la ocupación de las márgenes de los arroyos ni planes de emergencia/ evacuación ante posibles crecidas. De acuerdo con esta perspectiva y con base en el análisis hidrográfico-geomorfológico realizado se propone elaborar un plan de gestión de crecidas, que tome a la cuenca de manera integral y desde un enfoque sistémico como así también la difusión de la cartografía con las zonas afectadas por las crecidas y la correspondiente señalización.

8.3.1 La reglamentación del uso de suelo

En febrero de 2002 el Municipio de Tornquist promulgó la ordenanza 1461/02 referida al Plan de Ordenamiento Territorial de la Comarca de Sierra de la Ventana. En la misma se puntualizan los lineamientos estratégicos de desarrollo y ordenamiento tanto para Tornquist como para el resto de las localidades que conforman la Comarca incluyendo a Sierra de la Ventana. En dicho plan se definen los principales usos de suelo especificando qué se incluye en cada categoría y bajo qué características.

A partir del Plan de Ordenamiento, las imágenes satelitales de Google Earth Pro® y el relevamiento en el terreno se elaboró el mapa de usos de suelo de Sierra de la Ventana (Fig. 8.2). El principal uso es el residencial, que abarca viviendas familiares permanentes y temporarias destinadas al turismo (cabañas). No existe edificaciones en altura y lo que se propone desde el Plan de Ordenamiento para esta área es consolidar una imagen residencial con predominio de espacios abiertos. La mayor parte de las calles no se encuentran pavimentadas y cuentan con todos los servicios básicos (luz, gas y agua potable).

El espacio comprendido por nuevos loteos en proximidad del arroyo San Bernardo y el río Sauce Grande no permite la construcción de residencias temporarias (cabañas) sino que se ha planificado un uso predominantemente residencial unifamiliar exclusivo. Dada la cercanía a la llanura de inundación es importante que estas nuevas edificaciones cuenten con medidas que minimicen el impacto en la estructura cuando suceden las crecidas.

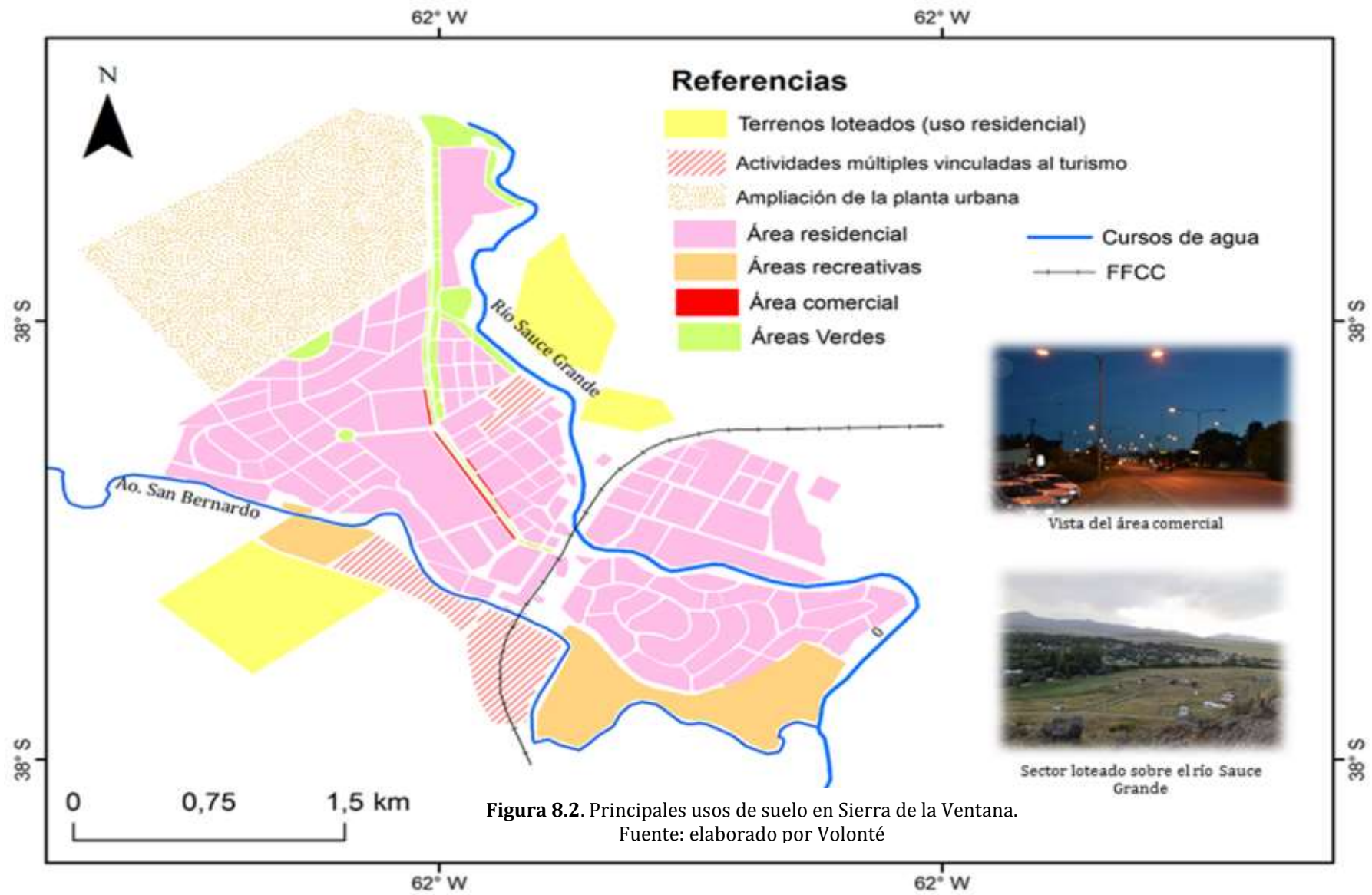


Figura 8.2. Principales usos de suelo en Sierra de la Ventana.
Fuente: elaborado por Volonté

Con respecto al área destinada a las actividades múltiples vinculadas al turismo se trata de sectores especializados para el ocio, la recreación y el esparcimiento. El objetivo a lograr en este espacio es orientar las inversiones privadas hacia el desarrollo sustentable poniendo en valor el paisaje de la localidad.

El área comercial se encuentra a ambos lados de la avenida principal de la localidad. El objetivo de esta área es lograr un corredor comercial como extensión del área central y consolidar una imagen de calidad en coincidencia con las vías de acceso a la localidad. En el sector oeste se encuentra el área destinada a la ampliación de la planta urbana para fortalecer una imagen residencial de espacios abiertos y agregar valor al patrimonio forestal. El área recreativa comprende al club de Golf y diferentes balnearios. Como se puede observar en la figura 8.2 ambas áreas se encuentran próximas al cauce del arroyo San Bernardo aumentando la peligrosidad principalmente en la zona del balneario ubicado dentro de la llanura de inundación del arroyo. En verano concurren muchas personas, en su mayoría turistas, que desconocen el comportamiento del curso de agua.

8.3.2 Generación de un sistema de alerta de crecidas

Según González *et al.* (2002) un sistema de alerta de crecidas es una herramienta muy útil al momento de adoptar medidas de emergencia en tiempo real, ya que permite en algunos casos evitar y minimizar la pérdida de vidas humanas y bienes materiales. Como se analizó en capítulos anteriores, las precipitaciones que afectan al barrio San Bernardo son las que se producen en el área de la cuenca alta, especialmente sobre el cerro Tres Picos. Por ello se propone la realización de una red de alerta en la cual las personas que habitan en la zona correspondiente a la cuenca alta den aviso a las autoridades responsables de mantener informada a la población cuando se registren precipitaciones.

Se recomienda establecer tres estados de alertas en función del tiempo de crecida (capítulo 5) que es aproximadamente de 2 horas. El estado de alerta amarillo debe darse cuando en la cuenca alta las precipitaciones superen los 50 mm, el estado de alerta naranja se debe emitir a los 70 mm y el estado de alerta roja cuando las precipitaciones superen los 100 mm, monto a partir del cual el arroyo desborda su cauce ordinario. Estos tres estados responden a los que recomienda la OMM (2011) para el pronóstico y advertencia de crecidas. En la tabla 8.1 se observan las medidas que la población debe tomar en función del alerta que se emita.




	<p>Corresponde al primer estado de alerta. Si se emite esta alerta significa que existe la posibilidad de crecidas. Se le recomienda a la población que se mantenga informada a través de los medios de comunicación</p>
	<p>En este caso las posibilidades de que la crecida ocurra son concretas. La población debe estar preparada para evacuar si es necesario y se les aconseja mover los objetos de valor, estar preparados para desactivar el gas y la electricidad.</p>
	<p>Este alerta indica el peligro inminente de crecidas. Se le recomienda a la población que mantenga la calma, corte el gas y la electricidad y se dirija al punto de encuentro más cercano a su domicilio.</p>

Tabla 8.1. Medidas a tomar por la población según el tipo de alerta de crecidas emitida.
Fuente: elaborado por Volonté sobre la base de OMM (2011)

8.3.3 Diseño y ubicación de puntos de encuentro ante una posible evacuación

Declarada la emergencia y activada la alarma de evacuación, las personas que se encuentren en el área con mayor nivel de peligrosidad deben reunirse en un sitio previamente identificado con la señal correspondiente (Fig. 8.3). Estos lugares de encuentro se los denomina sitios esenciales (Gil, 2010) como por ejemplo una escuela, una sala médica, etc. Este sistema de alerta debe tener un coordinador que sea el que verifique las distintas etapas de evacuación y organice al resto del personal.

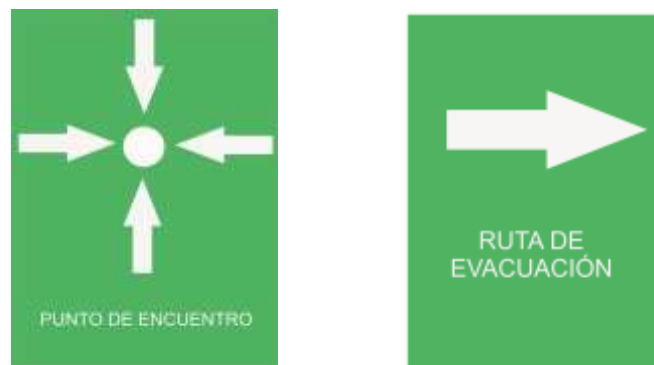


Figura 8.3. Señales para colocar en los puntos de encuentro y en camino hacia las rutas de evacuación. Fuente: Volonté

Es necesario que se difunda entre la población los pasos a seguir en caso de que se requiera una evacuación como así también las medidas que se deben tomar como por ejemplo: desconectar equipos eléctricos, apagar luces, cerrar grifos, no correr, dar prioridad a las personas mayores, niños y embarazadas y antes de salir verificar el estado de las vías de evacuación. También se debe colocar cartelería (OMM, 2009) en la zona de los balnearios con el objetivo de alertar a los turistas que se encuentran en una zona con peligro de crecidas (Fig. 8.4).



Figura 8.4. Señal para colocar en los balnearios alertando a los turistas sobre el peligro de crecidas. Fuente: Volonté

8.3.4 Difusión de cartografía delimitando las áreas según la peligrosidad de crecidas

En el análisis de la peligrosidad es importante la espacialización de las áreas afectadas por crecidas o con posibilidad de serlo, como así también la ubicación geográfica de los elementos en riesgo y sus vulnerabilidades. Por ello, según Morales (2012) la cartografía se ha convertido en una herramienta imprescindible en el análisis y evaluación de la peligrosidad desde la etapa inicial, como fuente de información, a la etapa final con la representación de los resultados.

El mapa de peligrosidad delimita las zonas en las que existe la posibilidad de que una serie de sectores o elementos de la sociedad se vean afectados por una ocurrencia natural de tipo extremo (Díez Herrero *et al.*, 2006). El objetivo de la zonificación es delimitar las zonas en función de la frecuencia e intensidad de ocurrencia de un determinado fenómeno natural y la vulnerabilidad y exposición, que viene a expresar la situación y permanencia temporal de los elementos en riesgo, fundamentalmente personas, bienes materiales y servicios, así como su fragilidad intrínseca ante la peligrosidad. El mejor método de análisis de la peligrosidad por crecidas es aquel basado en el estudio multidisciplinar que combine métodos geomorfológicos, históricos e hidrológicos integrando los resultados en un Sistema de Información Geográfica (Díez Herrero *et al.*, 2006).

Para la elaboración del mapa de peligrosidad del arroyo San Bernardo se utilizaron diferentes fuentes de información:

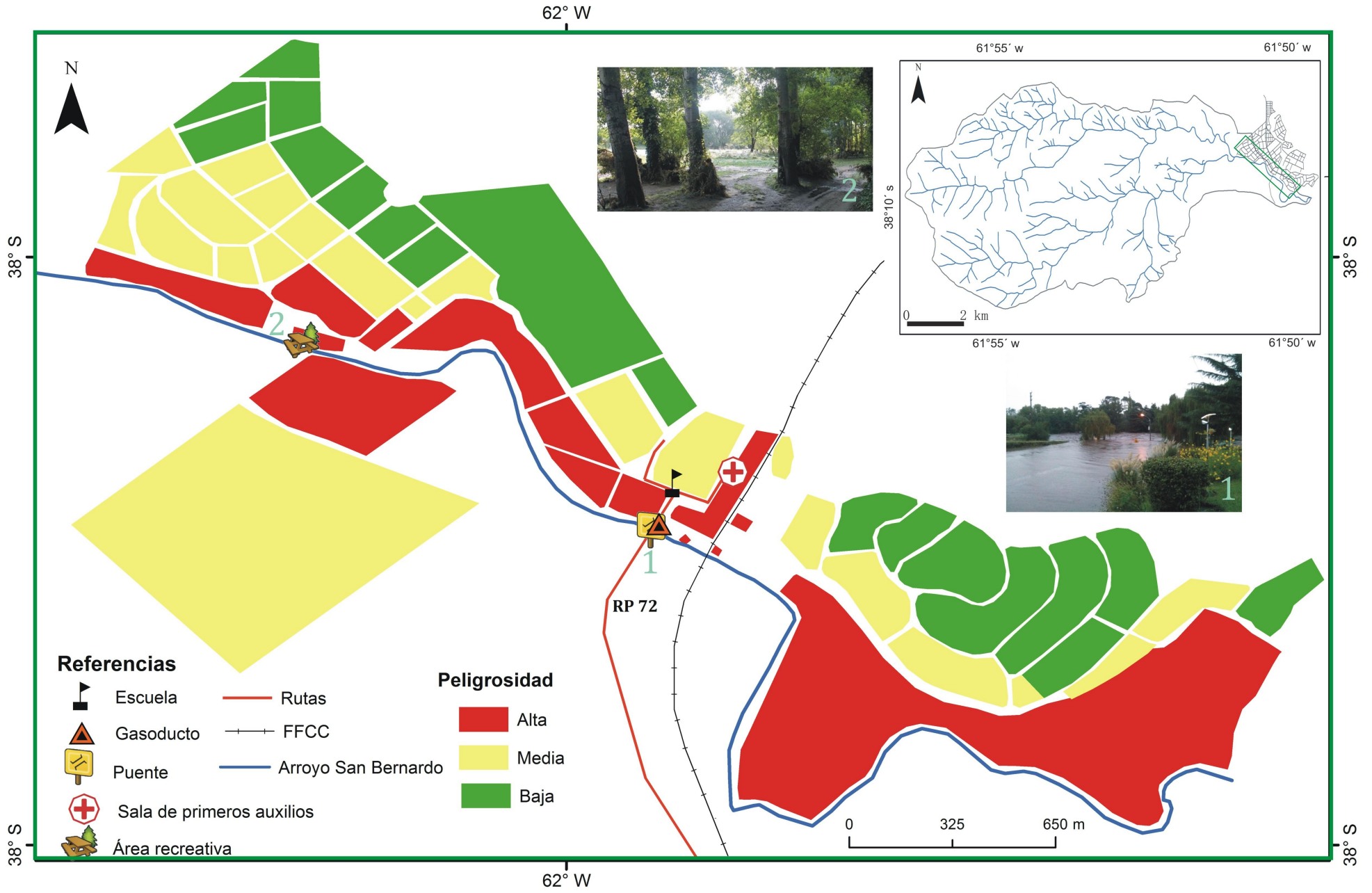
- ❖ *Fuentes históricas:* se recopiló información sobre inundaciones históricas en distintas fuentes documentales y se realizaron consultas a la población que vive en la zona aledaña. A partir de estas fuentes se identificaron los principales puntos del territorio afectados por las crecidas y la superficie de los mismos.
- ❖ *Carta hidrogeomorfológica:* se identificaron las formas erosivas y de depositación relacionadas con las crecidas para delimitar aquellas áreas en las que el cauce se desborda. En forma conjunta con el trabajo de campo se reconocieron las evidencias de crecidas a partir de formas erosivas, topografías irregulares, el volumen de material transportado, etc. Se analizaron los caudales y la carga sedimentaria que también fueron utilizadas como base de información para la delimitación de la llanura de inundación.

- ❖ *Información complementaria:* para algunos tramos de la red fluvial se analizaron fotografías aéreas y se recogieron testimonios de la población afectada para establecer las diferentes categorías de peligrosidad de crecidas e inundación. Se consideraron aquellos lugares que resultan importantes como la unidad sanitaria, la escuela como así también elementos puntuales como la cañería de gas que pasa por debajo del puente.
- ❖ *Validación de la peligrosidad:* se realizaron trabajos de campo en eventos de crecidas para validar la peligrosidad asignada.

El mapa de peligrosidad realizado para el barrio San Bernardo se observa en la figura 8.5. Para la simbología de la peligrosidad se utilizaron los colores del semáforo que son de rápido conocimiento visual ya que el objetivo de esta cartografía es ser difundida entre toda la población.

La peligrosidad alta comprende el área que se encuentra urbanizada, en las cuales las viviendas están dentro de la llanura de inundación. También abarca el área del puente donde se localiza el gasoducto, que puede verse afectado por la carga que transporta el arroyo (bloques, troncos) durante las crecidas y representa un grave peligro para la población.

La peligrosidad media corresponde a los sectores susceptibles de ser afectados por las crecidas pero sin que corra riesgo la vida humana. La peligrosidad baja abarca las áreas que no se encuentran urbanizadas y que están fuera de la llanura de inundación. Solo son susceptible de ser afectadas con baja frecuencia y presentan bajas posibilidades de sufrir daños.



Referencias

- Escuela
- Gasoducto
- Puente
- Sala de primeros auxilios
- Área recreativa
- Rutas
- FFCC
- Arroyo San Bernardo

Peligrosidad

- Alta
- Media
- Baja

0 325 650 m

CONCLUSIONES

El estudio de las redes hidrográficas resulta importante como temática geográfica por el amplio abanico de correlaciones que pueden generarse entre los fenómenos físicos y las actividades humanas. Las investigaciones vinculadas con los sistemas fluviales han avanzado cada vez con mayor énfasis en el estudio de cuencas pequeñas debido a que en las mismas se puede estudiar con mayor detalle los distintos procesos que las caracterizan.

La presente tesis fue elaborada bajo la hipótesis de que las condiciones naturales influyen en la ocurrencia y magnitud de las crecidas del arroyo San Bernardo y afectan a las actividades socio - económicas en la cuenca baja. El estudio de la dinámica fluvial de la cuenca del arroyo San Bernardo contribuye a generar nuevos conocimientos y herramientas indispensables para la formulación de planes de gestión de crecidas.

La dinámica de una cuenca es consecuencia de la acción combinada de los procesos de la geomorfología fluvial, de la variabilidad pluviométrica y de la actividad antropogénica. En la cuenca del río Sauce Grande se generan crecidas intensas provocadas por eventos hidrometeorológicos extremos que afectan a la población situada en sus márgenes. Estas crecidas son torrenciales, de corta duración y ocasionan el aislamiento temporario, la inundación de sectores urbanos aledaños al curso principal, la evacuación de personas y pérdidas tanto humanas como económicas. La sub-cuenca del arroyo San Bernardo, objeto de estudio de esta tesis, es una de las que presenta mayor peligrosidad ante la ocurrencia de lluvias torrenciales dado que posee una dinámica diferencial respecto al resto de las sub-cuencas.

Para conocer la dinámica de la cuenca se analizó la variabilidad de las precipitaciones en el sistema de Ventania. Se estudiaron las precipitaciones mensuales para diferentes partidos en el periodo 1970-2012 cuyos resultados mostraron que existe un desplazamiento de la estación más lluviosa de primavera a verano. Este hecho cobra importancia teniendo en cuenta que las últimas crecidas han sido en el verano y que las posibilidades de que la población sea afectada son mayores, ya que la localidad de Sierra de la Ventana es una de las más importantes de la comarca serrana y tiene como principal actividad económica el turismo, que se incrementa en el verano.

Del análisis del comportamiento hidrográfico superficial, a través de la morfología y morfometría de la red de drenaje, se identificó que el patrón de drenaje es dendrítico a excepción de la cuenca alta, donde debido a la presencia de fracturas los cursos presentan un patrón sub-dendrítico, la superficie de la cuenca es 82 km² y presenta un orden de jerarquía 5. Existen importantes contrastes altimétricos con un desnivel de 989 m, lo cual favorece la génesis y activación de procesos erosivos y de transporte de materiales. Este conjunto de características permite que exista menor tiempo de concentración de la escorrentía superficial y mayor susceptibilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos pronunciados y de corta duración. Se calcularon diferentes índices y parámetros (razón de elongación, coeficiente de torrencialidad, densidad de la red de drenaje, razón de relieve, entre otros) de cuya interpretación se concluyó que la potencialidad para que ocurran crecidas es alta ante la ocurrencia de un evento de precipitación extrema.

Mediante la carta hidrogeomorfológica se identificaron y zonificaron las áreas más expuestas a las crecidas. De su análisis se determinaron las características hidrológicas del terreno con énfasis en la capacidad de infiltración en las áreas con rocas coherentes y en la cubierta sedimentaria. En el área con rocas coherentes predominan las formaciones

Napostá y Lolén, con una infiltración media –baja debido a la presencia de diaclasas. Ambas formaciones tienen fuertes pendientes y suelos someros. En el área con cubierta sedimentaria la infiltración es media, los suelos son más profundos con un porcentaje importante de arena y arcilla. Se diferenciaron tres tipos de cauces, los que presentan fondo en v, localizados en la cuenca alta; los cauces con fondo plano y barrancos alternados en la cuenca media y los cauces con fondo plano y barrancos a ambos lados en la cuenca baja.

Con respecto a la cobertura vegetal se utilizó el NDVI para identificar la presencia de vegetación en la superficie y caracterizar su distribución espacial. A través del trabajo de campo, de la obtención y del análisis de las muestras se determinó con mayor nivel de detalle las características de la vegetación en la cuenca. Se corroboró que en el área del roquedal las comunidades vegetales se debilitan coincidiendo con las mayores pendientes, siendo nulo su desarrollo en la divisoria de aguas. La zona ribereña y la cuenca baja son las áreas con mayor cobertura. De las distintas muestras realizadas las especies herbáceas predominan por sobre las arbóreas, destacándose *Stipa ambigua* y *Cynodon dactylon*. La vegetación arbórea en la cuenca baja sirve como indicador de crecidas no solo a partir de la presencia de *trash* sino también a partir de los cambios morfológicos en los troncos y en las ramas. Los árboles presentan raíces expuestas, troncos descortezados, ramas bifurcadas, todas tipologías de árboles afectados por crecidas.

Las crecidas en el arroyo San Bernardo ocurren cuando las precipitaciones son intensas y concentradas en un corto lapso de tiempo. Se determinó con el Hidrograma Unitario Sintético (HUS) que para un evento de 82 mm en dos horas, el tiempo de crecida es de 2 horas, con un caudal pico de 461 m³/s. El tiempo de concentración es de tres horas, demorando un total de ocho horas en volver al caudal normal. Estos resultados se relacionaron con la pendiente de la cuenca debido a que las mayores pendientes se encuentran en la zona de las nacientes (superiores a 27°) y provocan arroyadas concentradas con gran poder erosivo. El quiebre de pendiente más importante es en la zona del piedemonte donde se generan arroyadas en manto y disminuyen el tiempo de concentración y el nivel de erosión.

Los cursos de agua no mantienen la misma forma a lo largo de todo su recorrido. Por ello, se analizó el canal principal en diferentes tramos, destacándose un sector con baja sinuosidad, indicador de áreas con pendientes importantes y que representa una mayor fuerza erosiva, lo cual constituye otra evidencia de la alta peligrosidad de las crecidas en la cuenca. Las variaciones en la sinuosidad están en relación con los quiebres de pendiente, coincidentes con cuenca alta, media y baja. Los mayores valores de sinuosidad se dan en la cuenca baja evidenciado por la presencia de meandros. Sobre el canal principal también se analizó la carga sedimentaria de fondo porque es la que origina la mayor parte de los cambios morfológicos. Se detectaron sedimentos de mayor tamaño en la parte de la cuenca media. Los sedimentos presentan una gran movilidad durante las crecidas y determinan la fuerza erosiva del arroyo.

Se identificó que las principales consecuencias de las crecidas del arroyo San Bernardo son las pérdidas materiales y están vinculadas con daños en infraestructuras públicas y en viviendas particulares. En cada crecida se repite el corte temporario de la ruta de acceso a la localidad. Actualmente hay un impulso inmobiliario y un despegue económico muy importante en Sierra de la Ventana, principalmente en las zonas lindantes a las riberas

de los arroyos serranos. La llanura de inundación del arroyo San Bernardo en su tramo inferior está siendo loteada para uso residencial, los compradores de estos terrenos generalmente no viven en la zona y desconocen el peligro al que están expuestos. Esta expansión inmobiliaria carece de criterios de organización urbanística. Si bien la comarca de Sierra de la Ventana cuenta con un Plan de Ordenamiento (2002) en ningún momento se nombran medidas vinculadas al peligro de crecidas, principalmente en aquellos arroyos que son vulnerables a crecidas repentinas que pueden afectar a la población. No existe una zonificación de la ocupación de las márgenes de los arroyos ni planes de emergencia/evacuación ante estas posibles crecidas.

Se elaboraron distintas propuestas considerando de manera conjunta las problemáticas que afectan a la población y las características naturales de la cuenca. Se utilizó la Gestión Integral de Crecidas para vincular de manera sistémica todas las variables físicas y humanas analizadas en la tesis. Se propuso reglamentar el uso de suelo, proteger los lugares más vulnerables ante crecidas y elaborar un plan de gestión de crecidas. Para ello, se elaboró el mapa de usos de suelo de Sierra de la Ventana, a partir del cual se determinó que en la zona del arroyo San Bernardo, el principal uso es residencial, el cual abarca viviendas familiares permanentes y temporarias destinadas al turismo. No existen edificaciones en altura y lo que se propone desde el Plan de Ordenamiento para esta área es consolidar una imagen residencial con predominio de espacios abiertos. Dada la cercanía a la llanura de inundación es importante que estas nuevas edificaciones cuenten con medidas que minimicen el impacto en las estructuras cuando suceden las crecidas.

Las precipitaciones que afectan al barrio San Bernardo son las que se producen en el área de la cuenca alta, especialmente sobre el cerro Tres Picos. Por ello se propuso la realización de una red de alerta en la cual las personas que habitan en la cuenca alta den aviso a las autoridades responsables de mantener informada a la población cuando se registren precipitaciones. Se recomendó establecer tres estados de alertas en función del tiempo de crecida que es aproximadamente de 2 horas. El estado de alerta amarillo debe darse cuando las precipitaciones superen los 50 mm, el estado de alerta naranja se debe emitir a los 70 mm y el estado de alerta roja cuando las precipitaciones superen en la cuenca alta los 100 mm, monto a partir del cual el arroyo desborda su cauce ordinario. Declarada la emergencia y activada la alarma de evacuación, las personas que se encuentren en el área con mayor nivel de peligrosidad deben dirigirse a los lugares de encuentro o sitios esenciales identificados con la señal correspondiente.

Este sistema de alerta debe tener un coordinador que sea el que verifique las distintas etapas de evacuación y organice al resto del personal. Es necesario que se difunda entre la población los pasos a seguir como así también las medidas a tomar. Como última propuesta se recomienda la instalación de cartelería específica en la zona de los balnearios con el objetivo de alertar a los turistas que se encuentran en una zona con peligro de crecidas.

En síntesis, el estudio de la geomorfología fluvial aplicada al peligro de crecidas junto con las propuestas realizadas tiende a minimizar las consecuencias que generan las crecidas del arroyo San Bernardo a la población de Sierra de la Ventana. El mapa de peligro resulta una herramienta indispensable que contribuye a la gestión de las crecidas.

BIBLIOGRAFÍA

A

Aceituno, P. 1998. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American. Sector Part I, Surface Climate. *Monthly Weather Review. American Meteorological Society*, vol. 116, 505-524. Recuperado de [http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493\(1988\)116%3C0505%3AOTFOTS%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493(1988)116%3C0505%3AOTFOTS%3E2.0.CO%3B2) [Fecha de consulta: 15 de junio de 2014]

Aduriz, M.A., Gargano, A.O., Chimeno, P., Saldungaray, M.C., Conti, V.P. 2003. Caracterización de los agrosistemas predominantes de la cuenca alta del río Sauce Grande. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* vol. 32 (3), 3-26. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86432301> [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2015]

Albouy, E. R. 1994. *Hidrogeología de la cuenca superior del río Sauce Chico, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires*. (Tesis Doctoral inédita). Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología, Bahía Blanca, Argentina.

Allan, J.D. y Castillo, M.A. 2007. *Stream ecology: Structure and function of running waters*. Dordrech: Springer.

Andreazzini, M.J; Degiovanni, S.; Spalletti, P., Irigoyen, M. 2014. Producción de sedimentos en una cuenca de sierras pampeanas, Córdoba, Argentina: estimación para distintos escenarios. *Aqua-Lac*, vol.6, n°1, 38-49 pp. Recuperado de http://www.unesco.org.uy/mobile/phi/aqualac/fileadmin/phi/aqualac/Numero_6_vol_1/AqualacVol6N1-Produccion_de_sedimentos_en_una_cuenca.pdf.

Andreis, R., Iñiguez, A., Lluch, J. y Rodríguez, S. 1989. *Cuenca paleozoica de Ventania, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires*. En: Chebli, G. y Spalletti, L. (Eds.). *Cuencas Sedimentarias Argentinas*. San Miguel de Tucumán: Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán, pp. 265-298.

Argañaraz, J.P. y Entraigas, I. 2010. *Análisis de los tipos de cubierta del suelo en la cuenca baja del arroyo del Azul (Buenos Aires, Argentina) a partir de imágenes Landsat 5 TM*. I Congreso Internacional de Hidrología de llanuras. Azul: Instituto de Hidrología de Llanuras, pp. 78-92.

Ariza, A. 2013. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 46 pp.

Ayala, R.; Páez, G. y Aranque F. 2007. Análisis geomorfológico de la cuenca El Guayabal, a propósito de la ocurrencia de las lluvias excepcionales de febrero de 2005. Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. *Revista geográfica venezolana*. Vol. 48 (1), 59-82. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24699/2/articulo3.pdf> [Fecha de consulta: 2 de octubre de 2015]

B

Bajabaa, S., Masoud, M., Al- Amri, N. 2013. Flash flood hazard mapping base on quantitative hydrology, geomorphology and gis techniques (case study of Wadi al Lith, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*. Saudi Arabia: Saudi Society for Geosciences, vol. 7, pp. 2469-2481. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12517-013-0941-2>

Balairón Pérez, L. 2000. *Gestión de recursos hídricos*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 488 pp.

Barbeito, O. y Contreras, P. 2007. Geomorfología. Tartagal un caso predecible. Tercer simposio regional sobre hidráulica de ríos. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, pp. 5-90. Disponible en: [http://irhfce.unse.edu.ar/Rios2007/index_archivos/Resumen/Libro%20de%20Resumenes%20R%EDos%202007%20\(BN\).pdf#page=9](http://irhfce.unse.edu.ar/Rios2007/index_archivos/Resumen/Libro%20de%20Resumenes%20R%EDos%202007%20(BN).pdf#page=9)

Barbeito, O., Contreras, P., Ambrosino, S. y Gonzáles S. 2011. Geomorfología y alerta temprana en la prevención de crecientes repentinas. Comunas del río Anizacate. Córdoba. Quinto Simposio Regional sobre hidráulica de ríos. Santiago del Estero: Instituto de Recursos Hídricos de la Facultad de Ciencias

Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Recuperado de http://irh-fce.unse.edu.ar/R11/TC/TC_A01_Barbeito_et_al_Crecientes_Repentinas_Anizacate.pdf

Belleggia, F. 2012. *Hidráulica Aplicada*. Apuntes de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. EdiUNS, 205 pp.

Bescos, A y Camarasa Belmonte, A, 1998. Caracterización hidrológica del río Arga (Navarra): El agua como recurso y como riesgo. *Estudios Geográficos*. [En línea]. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC: Instituto de Economía y Geografía, Tomo LIX, n°. 232, pp. 389-421. Recuperado de <http://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/39751/100137.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [fecha de consulta: 15 de marzo de 2015].

Bohn V. 2009. Geomorfología e hidrografía de las lagunas del Sur de la provincia de Buenos Aires. Tesis de Doctorado en Geografía. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 224 pp.

Bohn, V., Piccolo, C. y Perillo, G. 2011. Análisis de los periodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Climatología* [En línea]. España: Agencia Estatal de Meteorología, vol. 11, pp. 31-43. Recuperado de <http://webs.ono.com/reclim5/reclim11c.pdf>

Bonorino, G.A., Albouy, R. y Carrica, J. 2001. "Hidroquímica de un acuífero Loésico". *Geoacta*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, vol. 26, pp Braun Blanquet, J. 1950. Sociología vegetal. Estudio de las comunidades vegetales. Acme Agency, Buenos Aires. 134 pp.

Bridge, J.S., Smith, N.D., Trent, F., Gabel, S.L. y Bernstein, P. 1986. Sedimentology and morphology of a low-sinuosity river: Calamus River, Nebraska Sand Hills. *Sedimentology*, 33: 851-870.

Bruniard, E. 1992. Hidrografía, procesos y tipos de escurrimiento superficial. Buenos Aires: CEYNE, 124 pp.

Busnelli, J. y Horta, L. 2014. "Morfometría de cuencas Montanas y Metamorfosis fluvial, Tucumán". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, n°71, pp. 11 – 20.

Buzai, G. 2013. Sistema de Información Geográfica (SIG): Teoría y aplicación. 1° ed, Lujan, Universidad Nacional de Luján, 312 pp.

C

Cabrera, A. 1976. *Fitogeografía de la república Argentina*. Sociedad Argentina Botánica. Vol. XIV, n° 1-2.

Camacho Rico, F., Trejo, I., Bonfil, C. 2006. "Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México". *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. México: Sociedad Botánica de México, n°. 78, pp. 17-31.

Camarasa Belmonte, A. M. 1995. *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas. Barranc de Carraixet y Rambla del Poyo*. Tesis de Doctorado en Geografía. Valencia, España. Departamento de Geografía, Universidad de Valencia. 252 pp.

Campo de Ferreras, A. 1999. Hidrografía del río Quequén Grande. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 141 pp.

Campo de Ferreras, A. y Piccolo, M.C., 1997. 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 Piccolo, M.C., 1999. "Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Grande, Argentina". *Papeles de Geografía*. España: Universidad de Murcia, n°. 29, pp. 35 – 46

Campo de Ferreras, A., Capelli de Steffens, A. y Diez, P. 2004. *El clima del Suroeste bonaerense*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 105 pp.

Campo, A. 2015. *Geografía física: ¿tradicional o aplicada?* En: Campo, A.; Gil, V.; Gentili, J.; Zapperi, P.; Volonté, A.; Ramos, M.B.; Aldalur, B. y Torrero. *Geografía Física Aplicada*, Tomo I. Hidrografía Regional y Local. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, 180 pp.

Campo, A., Ramos, M.B. y Zapperi, P. 2009. "Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el Suroeste bonaerense, Argentina". Encuentro de Geógrafos de América Latina, Lima, Perú.

Campos Aranda, D.F., 1998. *Procesos del ciclo hidrológico*. México: Editorial Universitaria Potosina. Tercera edición. ISBN -968-6 194-44-4 0592-98041 -A 01 60

Cantarero Prados, F.J. 2013. *Relaciones entre el patrón territorial y la generación del peligro de inundación. Análisis comparado de casos en Málaga (España) y Motozintla (México)*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

Capitanelli, R. G. 1998. *Geografía Física y Medio Ambiente: revalorización y enseñanza. Método y técnicas de trabajo*. Mendoza, Ecogeo, 153 pp.

Carbone, E., 2004. *Hidrografía del arroyo Claromecó*. Tesis de Doctorado en Geografía. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo. 178 pp.

Carrica, J. 1998. *Hidrogeología de la cuenca del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires*. Tesis de Doctorado en Geología, Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología, 215 pp.

Carrica, J. C. y Lexow, C. 2004. Evaluación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. *Revista Asociación Geológica Argentina*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, vol.59, n°. 2, pp. 281-290. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v59n2/v59n2a11.pdf> [fecha de consulta: 10 de octubre de 2015].

Casado, A. 2013. *The effect of flow regulation on the hydrology, morphology and water temperature of the sauce Grande River, Argentina*. Tesis de Doctorado en Geografía Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur y Universidad Nacional del Sur and Universite Blaise Pascal. 262 pp.

Casado, A.; Gil, V. y Campo, A. M. 2007. Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario, Buenos Aires, Argentina. *Huellas* n° 11, 9-26 pp. ISSN 0329-0573.

Celemín, A. H. 1984. *Meteorología práctica*. Mar del Plata: Edición del autor. 320 pp.

Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda. 2000. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), Argentina.

Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda. 2010. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), Argentina.

CEPAL, 1994. *Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas*. División de Recursos Naturales y Energía para el Segundo Congreso Latinoamericano de Cuencas Hidrográficas. Venezuela: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 231 pp. Recuperado de <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/19759/lcr1399s.pdf>

Chander, G., Markham, B.L. y Helder, D.L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*. Estados Unidos: University of South Florida vol. 11, n°. 3, pp. 893-903. Recuperado de http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat_Calibration_Summary_RSE.pdf

Chaneton, E. 2006. "Las inundaciones en pastizales pampeanos: Impacto ecológico de las perturbaciones naturales". *Ciencia Hoy*. Argentina: Asociación Ciencia Hoy, vol. 16, n°. 192, pp. 18-32.

Chará, J., Pedraza, G., Giraldo, L., Hincapié, D. 2007. Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Revista Agroforestería en las Américas*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), n°. 45, pp. 72- 75. Recuperado de <http://www.cipav.org.co/pdf/red%20de%20agroforesteria/Articulos/efecto%20de%20los%20corredores%20fibernenos%20sobre%20el%20estado.pdf> [fecha de consulta: 6 de agosto de 2013]

Charlton, R. 2008. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Nueva York: Ed. Routledge, 275 pp.

Chávez, P.1989. "Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral images". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 5, n°. 9. pp. 1285-1294

Chow, V., Maidment, D., Mays, L. 1994. *Hidrología aplicada*. Bogotá: Ed. McGraw-Hill. 585 pp.

Chuvieco, E. 2010. *Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona: Ed. Planeta, S. A. 608 pp.

Cingolani, C. 2005. *Unidades morfoestructurales (y estructuras menores) de la provincia de Buenos Aires*. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (edit.): *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata. Cap. II, pp. 31-30.

Comino, J.R., Ferré Bueno, E., Senciales González, J.M. 2014. Evaluación de la peligrosidad con criterio geomorfológico a través de las unidades de diagnóstico en el territorio de Casa Palma (Valle de Guadalhorce, España). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. [En línea]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, vol. 34, n°. 2, pp. 163-183. Recuperado de <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/47076/44145>

Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija (COBINABE9. 2010. *Generación y Transporte de Sedimentos en la Cuenca Binacional del Río Bermejo Caracterización y análisis de los procesos intervinientes*. 1° ed, Buenos Aires.230 pp.

Conesa García, C., y Pérez Cutillas, P. 2014. Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica: Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, (59), 25-44.

D

Dangavs, N. 2005. Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aire. En: *Geología y recursos minerales de la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, pp. 219-236.

Dansereau, P. 1957. *Biogeography an ecological perspective*. New York: The Royal Press, 394 pp.

Degiovanni, S.; Villegas, M. y Ulla, J. P. 2013. Análisis de la carga de fondo y dinámica de transporte en el Río cuarto, provincia de Córdoba, como base para una minería de áridos sustentable. *Rev. Asoc. Geol. Argentina*. 2013, vol.70, n°2 [citado 2016-04-11], pp. 238-248.

Demoulin, A., Zarate, M. y Rabassa, J., 2005. Long-term landscape development: a perspectiva from the southern Buenos Aires ranges of east central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 19. pp. 193-204

Deschamps, J. R.; Otero, O.; Tonni, E. P. 2003. Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX. Documento de Trabajo N° 109. Buenos Aires: Universidad de Belgrano. Recuperado de http://www.ub.edu.ar/investigaciones/dt_nuevos/109_deschamps.pdf

Díez Herrero, A. y Pedraza Gilsanz, J. 1994. Variaciones actuales en el meandro de El Santo (Río Alberche). En: Arnaez-Vadillo, J.; García-Ruiz, J.M.; Gómez-Villar, A. (Eds.). *Geomorfología en España: Sociedad Española de Geomorfología*, 470 pp.

Díez Herrero A., 2001. *Geomorfología e hidrología fluvial del río Alberche. Modelos y S.I.G. para la gestión de riveras*. Tesis de doctorado en Geodinámica. Madrid, España. Departamento de geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 610 pp.

Díez Herrero, A.; Laín Huerta, L y Llorente Isidro, M. 2006. *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencia y aplicación*. España: Instituto Geológico y Minero de España, 232 pp.

Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M. 2008. *Mapa de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. España: Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 190 pp.

Díez Herrero, A., Llorente, M., J.A., Ballesteros, A. y Ruiz, V. 2009. "Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales". *Revista de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. España: Universitat de Girona*, n°. 17, pp. 254-263.

Domenech Zueco, S., Espejo Gil, F., Ollero Ojeda, A. y Sánchez Fabre, M. 2011. "Peligrosidad por inundaciones en una cuenca no aforada: el río Sosa en Monzón (Huesca) y el evento de agosto de 2006". *Revista Geographicalia*. España: Universidad de Zaragoza, n°. 59-60, pp. 95-108.

Dumitriu, D., Niculita, M. y Condorachi, D. 2011. "Downstream variation in the pebble morphometry of the trotus river, Eastern Carpathians (Romania)". *Forum Geografic*, vol. 10, ISSUE 1, pp. 78-90.

E

Ellis, E. A., Romero, J. A., Hernández, I.U., Gallo, C. A. y Alanís, J. L. 2012. "Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz". *Avances en Investigación Agropecuaria*. México: Universidad de Colima, vol.1, n° 16, pp.7-28.

Escorza, C. 2011. Algunos rasgos de los meandros del río Ebro en su curso próximo a Calahorra. *Revista Kalakorikos*. España: Asociación Amigos de la Historia de Calahorra, n°16, pp. 307-317.

Esper Angillieri, M.Y. 2008. Morphometric analysis of Colanguil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. *Environmental Geology*, n° 55, pp.107-111.

Esper Angillieri, L.; Perucca, P. 2014. Caracterización morfométrica de la Cuenca del río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina. *Bol. Soc. Geol. Mex* vol. 66 n°. 2.

Elosegi, A. y Sabater, S. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. El río como ecosistema. Fundación BBVA, 23-37 pp.

Etxeberría Ramírez, P.; Brazaola Rojo, A. y Edeso Fito, J.M. 2002. Cartografía de peligro de inundación mediante sistemas de información geográfica y modelos hidrológicos e hidráulicos. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España.

F

Fernández Aláez, E. y Fernández Aláez, A. 1984. Estudio de la composición y distribución de la vegetación ribereña en la cuenca alta del río Bernesga, León. *Limnetica*. España: Asociación Española de Limnología, pp. 159-168.

Formiga, N. 2003. El proceso de redistribución espacial en las últimas décadas. Compendio de VII Jornadas Argentinas de Estudios de Población. Tucumán: Asociación de Estudios de Población de la Argentina.

Frécaut, R. 1972. L'averse aberrante de mai 1970 dans le bassin de la Moselle et ses caractères originaux. *Revue Géographique de l'Est Année*, Vol.12 N° 2 pp. 225-245.

Freire Boado, M.A. y Guitian Rivera, L. 2005. "Caracterización de la vegetación en los ambientes ribereños del curso medio del río Ulla". *Revista de Xeografía, Territorio y Medio Ambiente*. España: Universidade de Santiago de Compostela, vol. 5, pp. 61-83.

Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. La Plata: Publicaciones LEMIT, Serie II, vol. 33, pp. 1-72.

Frenguelli, J. 1955. "Loess y limos pampeanos". *Serie técnica y didáctica N° 7*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, vol. I, pp. 5-66.

Frenguelli, J., 1956. Rasgos generales de la hidrografía de la provincia de Buenos Aires. La Plata: Ministerio de Obras Públicas. 18 pp.

Fucks, E., Aguirre, M., Blasi, A., Carbonari, J., y Huarte, R. 2008. Estratigrafía, geomorfología y geocronología en la cuenca del río Areco, NE de la provincia de Buenos Aires. Actas de 17º Congreso Geológico Argentino. San Salvador de Jujuy: Asociación Geológica Argentina. pp. 1206-1207, San Salvador de Jujuy.

Fuschini Mejia, M. 1994. *El agua en las llanuras*. Montevideo, UNESCO. 18pp.

G

García Lorenzo, R. y Conesa García, C. 2011. Estimación de caudales de avenidas y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas SIG. Estudio aplicado al litoral sur de la región de Murcia. *Papeles de Geografía*. España: Universidad de Murcia, n° 53-54, pp. 107-123. Recuperado de <http://revistas.um.es/geografia/article/view/143471/128751> [fecha de consulta: 5 de enero de 2016]

García Lorenzo, R.; Conesa García C. y Pérez Cutillas, P. 2015. Análisis espacial de la geometría de meandros abandonados recientes en la Vega Media del Segura (Murcia). Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación: Universidad de Zaragoza-AGE. Pp. 1609-1617.

García Martínez, B y Baena Escudero, R. 2008. El doble meandro abandonado del Guadalquivir en Cantillana (Sevilla). *Revista Geographicalia*. España: Universidad de Zaragoza, n°53, pp. 101-119.

García Ruiz, J.M., Gómez Villar, A. y Ortigosa-Izquierdo, L.M., 1987. Aspectos Dinámicos de un cauce fluvial en el contexto de su cuenca: el ejemplo del río Oja. Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología, JACA e Instituto de Estudios riojanos, Logroño, n° 3. pp. 112

Garnica Peña, R. J. y Alcántara Ayala, I. 2004. "Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz". *Investigaciones Geográficas*. México: Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, vol. 55, pp. 23-45.

Garry G.; Ballais J. y Masson, M. 2002. La place de l'hydrogéomorphologie dans les études d'inondation en France méditerranéenne. *Géomorphologie: relief, processus, environnement. Janvier-mars*. Francia: Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol. 8, n° 1, pp. 5-15. Recuperado de http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/morfo_1266-5304_2002_num_8_1_1124 [fecha de consulta: 5 de junio de 2013]

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E. y Delgado, M.I. 2008. "Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina". *Revista Geográfica Venezolana*. Venezuela: Universidad de Los Andes, vol. 49, (1), pp. 57-66.

Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G., Delgado, M.I., Besteiro, S. 2013. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Curso de manejo de cuencas hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

Genchi, S.A., Carbone, M.E., Piccolo, M.C y Perillo, G. M. 2011. "Hydrologic response of the drainage basins that intersect Las Grutas town, Argentina" *Investigaciones Geográficas*. México: Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, n° 75, pp. 23-36.

- Gentili, J. 2012. *Hidrografía del arroyo Sauce Corto aplicada al estudio de inundaciones y anegamientos*. Bahía Blanca, Argentina. Tesis de doctorado en Geografía. Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Sur. 150 pp.
- Gentili, J. O. y Gil, V. 2013. "Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina". *Revista Universitaria de Geografía*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, Departamento en Geografía y Turismo, vol. 22, n°2, pp. 147-166.
- Gentili, J.O., Campo, A.M.; Gil, V. 2011. Distribución espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto, Sistema de Ventania. Actas Científicas CNG 72° Semana de Geografía. Mar del Plata: Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, pp. 115-125.
- Geraldi, A.; Piccolo, C. y Perillo, G. 2010. Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. "Investigaciones Geográficas", Universidad de Alicante, n° 52 Instituto de Geografía pp. 215 – 225.
- Gil, V. 2010. *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas*. Tesis doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur. 269 pp.
- Gil, V. y Campo, A. M. 2012. Geomorfología y procesos de vertiente. Cuenca alta del río Sauce Grande (Buenos Aires, Argentina). *Revista Cuaternario y Geomorfología*; vol. 26 p. 133 – 174
- Gil, V.; Gentili, J.O; Zapperi, P.A. Casado, A.L.; Campo, A.M. 2008. Aspectos geomorfológicos e hidrometeorológicos en cuencas serranas, Suroeste de la provincia de Buenos Aires. Utilización de tecnología, SIG GIS DAY, Bahía Blanca.
- Gil, V., Gentili, J.O, Campo, A. M. 2009. Influencia de la litología en la evaluación de los parámetros morfométricos, sistema de Ventania, Argentina. *Papeles de Geografía*; Lugar: Murcia; vol. 50 p. 55 – 68.
- Global Water Partnership. 2009. Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. International Network of basin organizations, 112 pp.
- Gómez Villar, A. 1996. "Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña". *Polígonos: Revista de geografía*. España: Ed. Logroño: Geoformas, pp. 197-198.
- González de Matauco, A.I. 2004. "Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles*. Madrid: Asociación de Geógrafos Españoles, n°38, pp. 311-329.
- 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*. España: Institut de Ciències de la Terra, vol. 26, n° 1, pp. 23 – 33.
- González, R; Vargas, X.; López, A.; Belmar, L. 2002. Sistema de alerta de crecidas en el río Biobío. Uso recursivo de un modelo de Redes Neuronales. Proceedings of the III Encuentro de Aguas. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/gonza.pdf>.
- Graf, W.L. 1979. The development of montane arroyos and gullies. *Earth Surface Processes and Landforms*. [En línea]. Estados Unidos: John Wiley & Sons, vol. 4, pp. 1-14. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.3290040102/abstract>
- Gray, D. M. 1961. Synthetic water hydrograph for small watersheds", in: *Proc. Am. Soc. Civil Engineers, Journal of Hydraulic Division*, 87(HY4): 33-53.
- Greco, F. 2008. "Index of morphohydrographic basin completion by perimetres and areas. Case study in Romania". *Geografia física e dinámica quaternaria*. Italia: Comitato Glaciologico Italiano, vol. 31, pp. 37-75.
- Grimm, A. M., Barros, V. R. y Doyle, M. E. 2000. Climate variability in Southern America Associated with El Niño and La Niña events. *Journal of climate*. Nueva York: American Meteorological Society

vol.13, pp. 35-58. Recuperado de [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442\(2000\)013%3C0035%3ACVISSA%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442(2000)013%3C0035%3ACVISSA%3E2.0.CO%3B2) [Fecha de consulta: 6 de septiembre de 2015]

Grinnell, R. 1997. *Social work research & evaluation: Quantitative and qualitative approaches*. Illinois: Oxford University Press, 532 pp.

Grippe, S. y Visciarelli, S.M. 2007. La acción territorializadora del turismo residenciado: su relación con las políticas públicas y la promoción inmobiliaria. *Ciencias Sociales Online*. Chile: Universidad de Viña del Mar, vol. IV, n° 2. Recuperado de http://www.uvm.cl/csonline/2007_2/pdf/Grippe-visciarelli.pdf [6 de enero de 2016]

Guerra, F y González, J. 2002. Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada la Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. *Revista Geoenseñanza*. Venezuela: Universidad de los Andes, vol.7, n° 1-2, pp. 88-108. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/20840/2/articulo7.pdf> [10 de marzo de 2014]

Guevara Álvarez, E. 2002. *Morfología Fluvial*. Curso de obras de control fluvial, Universidad del Cauca.

Guevara, G., Reinoso, G., García, J. E., Franco, I. M., García, I. J., Yara, D. C., Briñez, N., Ocampo, M. L., Quintana, M., Pava, D. Y., Flórez, N. Y., Ávila, M. F., Hernández, E. E., Lozano, L. A., Guapucal, M., Borrero, D. A., Olaya, E. J. 2008. "Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: una visión desde ambientes ribereños". *Revista Tumbaga*. Colombia: Universidad de Tolima, vol. 3, pp. 109-127.

Gutiérrez Elorza, M. 2008. *Geomorfología*. Madrid: Ed. Prentice-Hall. 920 pp.

Guyot, J., Jouanneaub, J., Wassonc, G. 1999. Characterization of river bed and suspended sediments in the Rio Madeira drainage basin (Bolivian Amazonia). *Oaxaca: Journal of South American Earth Sciences*. Pergamon vol. 12, pp. 401-410. Recuperado de <http://www.irstea.fr/sites/default/files/ckfinder/userfiles/files/2rio%20Madeira%20Bolivie.pdf>

H

Harrington, H. 1947. Explicación de las hojas geológicas 33m y 34m Sierra de Curamalal y de la Ventana. Provincia de Buenos Aires. Buenos Aires: Ministerio de Industria y Minería. 43 pp.

Hernández, M., Fili, M., Auge, M. y Ceci, J., 1975. Geohidrología de los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires. Actas del VI Congreso de Geología Argentina. Bahía Blanca, tomo 2, pp. 479 – 500.

Hernández Sampieri, R., Fernández Callado, C., Baptista Lucio, P. 2006. *Metodología de la Investigación*. 4° edición. México: Ed. Mac Graw Hill. 882 pp.

Horton, R. 1932. Drainage basin characteristics. *Trans. Amer. Geophys.* pp. 350-361.

Horton, R. 1945. Erosional development of stream and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphologie. *Geol, Soc. Amer.*, n°56, 275-370 pp.

Howard, A. D. 1967. "Drainage analysis in geologic interpretation: a simulation". *Bulletin of the Americas Association of Petroleum Geologist*. Estados Unidos: American Association of Petroleum Geologists, n° 51, pp. 2246-2259.

Howard, A. D. y Howard, B.Y. 1967. "Solution of limestone under laminar flow between parallel boundaries". *Caves and Karst Studies*. Alabama: National Speleological Society, vol. 9, pp. 25-38.

Hooke, J.M. 2007. Spatial variability, mechanisms and propagation of change in an active meandering river. *Geomorphology*, 84: 277-296

Hjulstrom, F. 1935. The morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. Bulletin of Geological Institute of Uppsala 25: 221-527.

Hugget, R. 2011. *Fundamentals of geomorphology*. London: Ed. Routledge, 483pp.

I

Ibiate González, A. 2004. "Análisis morfométrico de la Cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles*. Madrid: Asociación de Geógrafos Españoles, n°38, pp. 311-329.

Ibiate, A., Ollero, A. y Díaz, E. 2011. "Influence of catchment processes on fluvial morphology and river habitats". *Revista Limnetica*. España: Asociación Ibérica de Limnología, vol.3 0, pp. 169-182.

Ibrahim Bathis, K y Ahmed, S.A. 2013. "Morphometric Analysis and prioritisation of sub-watershed using cartodem: a case study of Dodda Halla watershed, Chitradurga, India". *Journal of Engineering and Technology*. Philadelphia: American Society for Engineering Education, vol. 2, pp. 12-17.

Instituto Nacional del Agua y del Ambiente (INA). 2008. Modelo hidrodinámico del río Paraná desde Yacyretá hasta la ciudad de Paraná. Informe del laboratorio de Hidráulica y Ambiente. Buenos Aires, 153 pp.

Insausti, P.; Chaneton, E.; Grimoldi, A. 2005. *Las inundaciones modifican la estructura y el funcionamiento de la vegetación en los pastizales de la Pampa deprimida*. En: Oesterheld, M., Aguiar, M. R., Ghera, C. y Paruelo, J. Heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Buenos Aires: Facultad de Agronomía-UBA, pp. 253-269.

Iroume, A. 2003. "Transporte de sedimentos en una cuenca de montaña en la Cordillera de los Andes de la Novena Región de Chile". *Bosque*. Valdivia: Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales de la Universidad Austral de Chile, vol. 24, n° 1, pp. 125-135.

ITC, 1980. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos, pp. 20-83.

J

Jardí, M. 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de geografía*. Barcelona: Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona, pp. 41-68.

K

King, C.A.M. 1984. Geografía física. Elementos de Geografía. España: Oikos -Tau, 542 pp.

Knighton, D., 1998. Fluvial Forms and Processes. A new perspective. Londres: Arnold, 383 pp.

Kristensen, M. J. y Frangi, J. L. 1995. La Sierra de la Ventana: una isla de biodiversidad. *Revista Ciencia Hoy*. [En línea]. Buenos Aires: Ciencia Hoy, vol. 30, n° 5. Recuperado de <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/hoy30/biodiv.htm> [fecha de consulta: 10 de abril de 2014]

L

Lanfranco Vázquez, M. 2012. Problemáticas vinculadas al manejo integral de cuencas hidrográficas. Gestión compartida, productividad y sustentabilidad ambiental en clave jurídico-ambiental. V Jornadas de Geografía Económica AGE Univ. de Girona.- ISBN: 978-84-8458-429-2

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

Leopold, L. B., Gordon Wolman, M. y Miller, J.P., 1995. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publication, 522 pp.

Lizzi, J. M., Garbulsky, M. F., Golluscio, R. A. 2007. Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. *Revista Ecología Austral*. [En línea]. Buenos Aires: Asociación Argentina de Ecología, jul/dic., vol. 17, N° 2, pp, 217-230. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2007000200004 [Fecha de consulta: 10 de abril de 2014]

Llorente, I. M., Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. 2009. Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. España : Sociedad Española de Ciencias Forestales, n° 29, pp. 29-37.

M

Magesh, N.S., Jitheshlal, K.V., Chandrasekar, N., Jini, K.V. 2013. Geographical information system based morphometric analysis of Bharathapuzma River Basin, Kerala, India. *Applied Water Science*, n°3, issue 2, pp. 467-477.

Magnante, L., Degiovanni, S. y Doffo, N. 2014. Análisis de los cambios morfológicos y morfodinámicos del arroyo El Cano (Córdoba). En la última centuria: factores de control, causas e implicancias ambientales. *Revista de la Asociación Geológica*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, n°71, pp. 56-68.

Marchetti, A., 1968. *Estudio hidrológico de la zona Sud de la provincia de Buenos Aires*. Buenos Aires: Dirección Nacional de Geología y Minería.

Marchetti, M., 2000. *Geomorfología Fluviale*. Bologna: Pitagora Editrice, 247 pp.

Marini, F. M. 2002. *Hidrografía del río Quequén Salado*. Tesis de doctorado en Geografía. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 162 pp.

Marquínez, J., Lastra, J., Fernández, E. 2006. Metodología utilizada para cartografiar la peligrosidad de inundaciones en las cuencas del Norte. En: Díez Herrero, A.; Laín huerta, L y Llorente Isidro, M. (eds). *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencia y aplicación*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos, n° 7, pp.125-141.

Martí, V. y Soriano Soto, M. 1994. "Valores del coeficiente de torrencialidad R. Su cálculo y distribución para la provincia de Castellón". *Cuadernos de Geografía*. Valencia: Universidad de Valencia, n° 55, pp. 17-25.

Martínez Castroviejo, R. y García Ruiz, J.M. 1990. Coladas de piedras y dinámica fluvial en ríos torrenciales del Pirineo Central: el caso del río Ijeuz. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, Vol.16, pp. 55-72.

Martínez Ferreros, Y. 1992 La meandrización en el llano de inundación del Xúquer. En: *Cuadernos de Geografía*, n° 51: 23-41.

Martínez-Gutiérrez, G., Díaz- Gutiérrez, J. y Cosío-González, O. 2010. "Análisis morfométrico en la cuenca hidrológica San José del Cabo, B.C.S. México. Una aproximación en la identificación de potenciales áreas de captura". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, vol.27, n° 3, pp. 581-592.

Martínez-Gutiérrez, G., Díaz- Gutiérrez, J. 2011. "Morfometría en la cuenca hidrológica de San José del Cabo, Baja California Sur, México". *Revista Geológica de América Central*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, n°44, Vol. 83-100.

Matteucci, S. y Colma, A. 2002. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Buenos Aires, Ediciones Ave Fénix. 95 pp.

- Matteucci, S., 2012. Ecorregión Pampa. En: Morello, J., Matteucci, S., Rodríguez, A. y Silva, M. *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora, pp. 752 pp.
- Maza, J. y Burgos, V. 2007. Análisis de la variabilidad espacial del riesgo de inundabilidad y sus factores en el río Blanco de Potrerillos, Mendoza. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino. Recuperado de http://www.ina.gov.ar/pdf/CRA-HSup-I-Rio%20Blanco_analisis%20de%20riesgo.pdf
- Mckee, T. V., Doesken, N. J. y Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Eighth Conference on Applied Climatology*, California: American Meteorological Society, pp. 174-184.
- Melton, M. A. 1957. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. Office naval research. Geography Branch, Technical reports n°11.
- Méndez W. y Marcucci, E. 2006. Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. Mérida: Universidad de los Andes, Vol. 47, n° 1, pp. 29-55. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2036163> [fecha de consulta: 10 de junio de 2015]
- Meunier, M. 1996. "La cubierta forestal y las crecidas en las pequeñas cuencas de montaña". *Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), vol.47.
- Mikkan, R. 2007. *Geomorfología volcánica de la reserva La Payunia, Malargüe, Mendoza*. Argentina. Editorial de la Facultad de Filosofía y letras. 79 pp.
- Monachesi, A., 1993. *Conflicts d'environnement, strategies sociales et transformations du territoire. Les inondations dans le Soud-Oueste de la province de Buenos Aires (Argentina)*. Tesis doctoral en Geografía. Universite de Toulouse, France. 64 pp.
- Montecelos Zamora, Y., Batista Sánchez, D., Ramón Puebla, A., Zaldivar Suarez, N. y Batista Cruz, Y. 2011. "Diseño metodológico para la elaboración de mapas de peligrosidad por inundaciones aplicación a la cuenca del río Cauto. Sector provincia Granma, Cuba". *Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG)*. Luján: Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica, n° 3, pp. 32-42.
- Morais, F. y Melo de Almeida, L. 2010. Geomorfología fluvial da bacia hidrográfica do Ribeirao Jau, Palmas, Estado Do Tocantins. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, Brasil: Universidade Federal de Uberlândia, vol. 1, n° 2, pp. 331-351.
- Morales Calvet, N. 2009. *Diagnóstico del comportamiento histórico del río Ichilo en el área de Puerto Villarroel*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Geo-Información y Observación de la Tierra, Cochabamba, Bolivia, 62 pp.
- Morell Cuevas, J., 2001. "El factor de la precipitación en la formación de avenidas en la cuenca alta del Turia". *Revista Geographicalia*. España: Universidad de Zaragoza, n° 40. pp. 47 - 74.
- Moreno Jiménez, A. 2008. *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Manual de autoaprendizaje con Arc Gis. España: .Ed. RA-MA, 940 pp.
- Morisawa, M. 1985 (a). *Earth Surface Processes and Landforms*. Virginia: Ed. Longman, pp. 222.
- Morisawa, M. 1985 (b). *Rivers. Form and Process*. Virginia: Ed. Longman, 220 pp.
- Plan de Ordenamiento Territorial de la Comarca de la Sierra de la Ventana. 2002. Municipalidad de Tornquist. Partido de Tornquist. 241 pp.

Musgrave, G. W. 1955. How much rain enters the soil. *Water: the yearbook of agriculture*. Nueva York: Mc. Graw Hill.

N

National Weather Service. 2012. Definitions of flood and flash flood. Recuperado de: <http://www.srh.noaa.gov/mrx/hydro/flooddef.php> [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2016]

Natenzon, C.E, Marlenko, N., González, S., Ríos, D., Barrenechea, J., Murgida, A. M., Boudín, M. C, Gentile, E. y Ludueña, S. 2005 (a). *Vulnerabilidad social estructural*. En: Barros, V., Menéndez, A. y Nagy, E. (Ed.). *El Cambio Climático en el Río de la Plata*. Buenos Aires: AIACC/ CIMA. Cap. 10, pp. 113-118.

Natenzon, C.E., Bronstein, P., Marlenko, N., González, S., Ríos, D., Barrenechea, J. Murgida, A. M., Boudín, M.C, Micou, A. P., Gentile, E. y Ludueña, S. 2005 (b). *Impactos económicos y sociales por inundaciones*. En: Barros, V., Menéndez, A. y Nagy, E. (Ed.). *El Cambio Climático en el Río de la Plata*. Buenos Aires: AIACC/ CIMA. Cap. 12, pp. 121-131.

Natenzon, C. 2007. "La vulnerabilidad social como dimensión del riesgo. Análisis de la zona costera del río de la Plata". *Revista NOVEDUC- Novedades Científicas*. Buenos Aires: NOVEDUC, pp. 85-111.

Neiff, J. 2005. *Bosques Fluviales de la Cuenca Del Paraná*. En: *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*. Centro de Ecología Aplicada, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) 26 pp.

Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. Oxford: Ed. Wiley-Blackwell. 360 pp.

Niño, Y. 2004. *Hidráulica fluvial y transporte de sedimentos*. Chile: Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, 68 pp.

NRCS. 2007. Part 360. Hidrology. Washington: National Engineering handbook.

O

Olcina Cantos, J. 2012. "De los mapas de zonas afectadas a las cartografías de riesgo de inundación en España". *Anales de Geografía*. España: Instituto Interuniversitario de Geografía Universidad de Alicante, vol. 32, n° 1, pp. 91-131.

Ollero Ojeda, A. 1997. "Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico. Un planteamiento didáctico". *Lurralde: Investigaciones y Espacio*. España: Instituto Geográfico Vasco Andrés de Urdaneta, n° 20, pp. 261-283.

Ollero Ojeda, A., Ballarín Ferrer, D., y Mora Mur, D. 2015. Cambios en el cauce y el llano de inundación del río Ebro (Aragón) en los últimos 80 años. *Geographicalia*, (50), 87-109.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2009. ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 34 pp.

Organización Meteorológica Mundial. 2006. *Glosario Hidrológico Internacional*. Geneva, Switzerland, 471 pp.

Organización Meteorológica Mundial. 2009. *Aspectos ambientales de la gestión integrada de crecidas*. Asociación Mundial del Agua, Suiza, 90 pp.

Organización Meteorológica Mundial. 2011. *Manual on Flood Forecasting and Warning*. Suiza, 142 pp.

P

Paoli, C. 2015. Gestión integrada de crecidas. Ed. Céline Dondeynaz, César Carmona-Moreno del Centro de Investigación Común de la Comisión Europea, Italia. 90 pp.

Panigatti, J. L. 2010. Argentina: 200 años, 200 suelos. Ministerio de Agricultura, ganadería y Pesca. INTA.

Parra, O. 2009. Gestión integrada de cuencas hidrográficas. Documento Introdutorio. Centro de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, 15 pp.

Peña Monné, J.L. 1997. Cartografía geomorfológica básica y aplicada: Logroño, España, Geoforma Ediciones, 227 pp.

Perucca, L.P. y Paredes, J.D. 2005. Peligro de aluviones en el departamento Pocito, provincia de San Juan. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 2005, vol. 60, n.1 pp. 064-071.

Perevochtchikova M. y Arellano-Monterrosas, J. 2008. Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos en México y Rusia *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. México: Instituto Tecnológico de Sonora, n° 4 pp. 313-325. Recuperado de http://antiguo.itson.mx/drn/revista/volumenesRevista/vol_4_2008/pdf/numero3/Art_31_Perevochtchikova.pdf [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012]

Pérez Morales, A. 2012. "Estado actual de la cartografía de los riesgos de inundación y su aplicación en la ordenación del territorio. El caso de la región de Murcia". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Madrid: Asociación de Geógrafos Españoles, n° 58, pp. 57-81.

Perles Roselló, M.J. 2005. Perspectivas actuales en la geografía física. Problemas heredados y posibilidades de cambio. *Encuentros en la Biología*. España: Universidad de Málaga, n° 100, pp. 13-14.

Perles Roselló, M.J., Gallegos Reina, A. y Cantarero Prados, F. 2006. "Análisis del ajuste del área inundable obtenida mediante una evaluación integrada de la peligrosidad de inundación y peligros asociados". *Revista Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia*. España: Universidad de Málaga. n° 28, pp. 527-545.

Petagna de Del Río, A.M. 2002. *Metodología para el estudio geográfico de la vegetación*. Actas IV Jornadas de Geografía Física. Mar del Plata: Facultad de Humanidades. Departamento de Geografía y Grupo de Estudios de Geografía Física, pp. 66 – 75.

Petts, G.E. 1982. *Channel changes within regulated rivers*. En: Adlam, B. H., Fenn, C. R. y Morris, L. (Eds.). *Papers in Earth Studies*. Inglaterra: Geobooks Norwich, pp. 117-142

Pittock, A.B. 1980. Patterns of climatic variation in Argentina and Chile- I. Precipitation, 1931- 60, *Monthly weather review*. Oxford: American Meteorological Society, n° 108, pp. 1347-136. Recuperado de [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493\(1980\)108%3C1347:POCVIA%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493(1980)108%3C1347:POCVIA%3E2.0.CO%3B2) [fecha de consulta: 14 de septiembre de 2015]

Q

Quiroga, D.R.A; Gil, V. y Coronato, A.M. J. 2014. Morfometría de la cuenca del río Avilés, Tierra del Fuego, Argentina. Aportes al conocimiento de las condiciones de escurrimiento en territorios semiáridos. *Cuaternario y Geomorfología*; vol. 28 p. 61 – 78

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. 2013. Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio, *GeoFocus*. [En línea]. España: Asociación de Geógrafos Españoles: Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica, n° 13-1, pp. 76-98. Recuperado de http://geofocus.rediris.es/2013/Articulo4_2013_1.pdf [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2014]

R

Rabassa, J. 1982. Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje en la cuenca del río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires. *Revista XXXVII. Argentina: Asociación Geológica Argentina*, n° 3, pp. 268-284.

Remenieras, G. 1974. Tratado de hidrología aplicada. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona.

Richards, K. S. 1987. "Fluvial geomorphology". *Progress in physical geography*. Inglaterra: SAGE Publications, n°11, pp. 432-457.

Ríos, D. y Murgida, A. 2004. Vulnerabilidad cultural y escenarios de riesgo por inundaciones. GEOUP, Espaço e Tempo, N° 16, Sao Paulo, pp. 181-192, Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias Humanas, Universidad de San Pablo, Brasil; ISSN 1414-7416.

Rivaes, R., Rodríguez-González, P. M., Albuquerque, A., Pinheiro, A. N., Egger, G., y Ferreira, M. T. 2013. Riparian vegetation responses to altered flow regimes driven by climate change in Mediterranean rivers. *Ecohydrology*, 6 (3), 413-424.

Rodríguez, A.; Prieto, P. y Castillo, M. 2005. "Análisis de sedimentos de la parte alta y media de la cuenca del río Chama. Mérida, Venezuela". *Revista Ciencia e Ingeniería*. Venezuela: Universidad de los Andes, vol. 26, n°1, pp. 23-28.

Rodríguez, C. 2009. Gestión estratégica de un destino. La comarca turística de sierra de la ventana. Partido de Tornquist. Provincia de Buenos Aires. Congreso Internacional de Turismo en Serranías Construyendo Espacios Sustentables. Neuquén: Universidad Nacional de Comahue, año IX, Vol.7

Rosell, P. y Visciarelli, S. 2012. "Efectos ambientales del turismo en la localidad de Villa Ventana. Provincia de Buenos Aires". *Revista Realidad, tendencias y desafíos en turismo*. Consejo de Decanos y Directores de Unidades Académicas relacionadas con la Enseñanza del Turismo, año XII, vol. 10, pp. 116-127.

Rust, B. R. 1978. *A classification of alluvial channel systems*. En: Miall, A. (Ed.) *Fluvial Sedimentology, An Historical Review*. Canadá: Dallas Geological Society, pp. 47.

S

Sabater, S. 2008. Alterations of the global water cycle and their effects on river structure functions and services. *Freshwater reviews*, Vol. I, 75-88 pp.

Scavone, A.S.; Gentili, J.O.; Gil, V. 2015. Índices morfométricos aplicados al análisis de crecidas. Arroyo de la Ventana, Argentina. Jornadas de Geotecnologías del Sur Argentino. Casos de estudio. 478-487 pp.

Sala, M. y Gay, R.1981. Algunos datos morfométricos de la cuenca de Isábena, Notes de Geografía Física, no. 4, Department de Geografía, Universitat de Barcelona, Barcelona, pp. 41-65.

Sala, J., González, N.; Kruse, E., 1983. Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires. Coloquio Internacional sobre hidrología de Grandes llanuras. Olavarría: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, pp. 995 - 1009.

Sala Sanjaume, M. y Batalla Villanueva, J. 1996. *Teoría y métodos en Geografía Física*. Madrid: Síntesis, pp. 304.

Sánchez, F. J. 2011. *Medidas puntuales de permeabilidad*. España: Universidad de Salamanca, 13 pp.

Schumm, S. 1956. The evolution of drainage systems and slopes in bad lands at Perth, Amboi, New Jersey. *Geol. Soc. Ame. Bull.* 67 (5), pp. 597-646.

Schumm, S. 1963. *A Tentative Classification of Alluvial River Channels*. Circular 477. Washington: Geological Survey, 16 pp.

- Schumm, S. 1991. *To interpret the earth: ten ways to be wrong*. Cambridge: University Press. Cambridge, pp. 133.
- Scian, B. y M. Donnari, 1997. Retrospective analysis of the Palmer drought severity index in the semi-arid Pampas region, Argentina. *Inter. J. Climatology*, 17:313-322.
- Scian, B. 2002. "Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana Argentina". *Geoacta*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, vol. 27, pp. 30-52.
- Scian, B. 2009. *Clima - Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense*. En: Paoloni, J.D. (Comp.). Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca. Bahía Blanca: EdiUNS, 240 pp.
- Sellés 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*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, tomo XLV, vol. 1 - 2, n° 62, pp. 1-8.
- Sellés Martínez, J. 2001. Geología de la Ventania. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Journal of Iberan Geology*, N° 27, pp. 43-69
- Senciales González, J.M. 1999. *Redes fluviales*. Metodología de análisis. España: Universidad de Málaga, 337 pp.
- Sheng, T.C. 1992. *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Roma: FAO. 185 pp.
- Sherman, L. K. 1932. "Stream flow from rainfall by the Unitgraph Method". *ENR: Engineering News-Record*, vol. 108.
- Sili, M. 2000. *Los espacios de la crisis rural. Geografía de una pampa olvidada*. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur, 179 pp.
- Snyder, F. 1938. "Synthetic unit hydrographs". *American Geophysics Union*, vol. 19, pp. 447-54.
- Solano Mata, F. y Salas González, D. 2011. "Estudio hidrogeomorfológico y análisis sedimentológico de la sección alta de la cuenca del río Aranjuez". *Revista Geográfica de América Central*. Costa Rica: Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica, n° Especial EGAL, pp. 1-41.
- Soria-Jáuregui, A. 2014. "Caracterización de los depósitos fluviales del río Ebro en la cuenca de Miranda de Ebro (Burgos)". *Lurralde: Investigaciones y Espacio*. España: Instituto Geográfico Vasco Andrés de Urdaneta, n°37, pp.179-184.
- Sotelo, R. 2005. Determinación de correlaciones entre geomorfología y vegetación con suelos expansivos y suelos dispersivos, empleando procesamiento digital de imágenes. *Comunicaciones científicas y tecnológicas*. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Spalletti, L., 2007. Textura de las rocas sedimentarias clásticas. Cátedra de sedimentología. La Plata: Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de la Plata. Recuperado de <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/textura.pdf>
- Stella, J. C., Rodríguez-González, P. M., Dufour, S., & Bendix, J. 2013. Riparian vegetation research in Mediterranean-climate regions: common patterns, ecological processes, and considerations for management. *Hydrobiologia*, 719(1), 291-315.
- Strahler, A. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. Sec. 4, p. 39-76. En: Chow, (ed.) *Handbook of applied hydrology compendium of water-resources technology*. New York: McGraw-Hill Book Co,
- Strahler, A. N., 1974. *Geografía Física*. Barcelona: Omega S.A. 767 pp.
- Strahler, A. y Strahler, A. 1994. *Geografía Física*. Barcelona: Omega, 554 pp.

Suero 1972. Geological compilation of Sierras Australes (Buenos Aires Province, Argentina). Buenos Aires: Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT). 11 pp.

T

Teruggi, M.E. 1957. "The nature and origin of Argentinean loess". *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 27, pp. 323 – 332.

Thomas, J.; Joseph, S.; Thirvikramji, K.P; Abe, G y Kannan, N. 2012. Morphometrical analysis of two tropical mountain river basin of contrasting environmental setting, the Southern Western Ghats, India. *Environmental Earth Science*, n°66, pp. 2353-2366.

Thorne C.R, Allen RG, Simon A. 1996. Geomorphological river channel reconnaissance for river analysis, engineering and management. Inglaterra: Transactions of the Institute of British Geographers, n° 21: 469–483.

Thorne, C. R. 1998. *Stream Reconnaissance Handbook: Geomorphological Investigation and Analysis of River Channels*. Inglaterra: Wiley, 142 pp.

Tomezzoli, R.N. y Vilas, J.F., 1996. Paleomagnetismo del Grupo Pillahuincó en Sierra de la Ventana (Estancias Las Julianas y San Carlos). Buenos Aires: XIII Congreso Geológico Argentino. III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. II: 481-489.

Torrero, M.P., 2008. *Río Sauce Chico: estudio hidrográfico para un desarrollo sustentable*. Tesis de Doctorado en Geografía Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo.

Torres, C. 2003. Geomorfología de la cuenca media y baja del río Reyes, provincia de Jujuy. Primer congreso de la ciencia cartográfica y VIII semana Nacional de cartografía, Buenos Aires. Recuperado de <http://www.elagrimensor.com.ar/elearning/lecturas/reyes.pdf> [31 de agosto de 2014].

Torres, Y., Zalba, S. 2008. "Caracterización de los ambientes asociados a poblaciones naturales de *Pavonia cymbalaria* (Malvaceae) en pastizales de Sierra de la Ventana (Buenos Aires)". *Revista Internacional de Botánica Experimental*. Buenos Aires: Fundación Rómulo Raggio, vol. 77, pp. 225-240

Tricart, J. L. 1965. *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Ed. Mason, Paris.

Tricart, J. L. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida como base para estudios edafológicos y agronómicos. Plan mapa de suelos de la región pampeana. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, colección científica No. XII, 202 pp.

Tyler Miller, G. 2002. *Introducción a la Ciencia Ambiental*. Ed. Paraninfo, 472 pp.

U

Umaña Gómez, E. 2002. Manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. Taller de capacitación. [En línea]. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf>

USGS. 2013. Landsat 8 Instruments. [Recuperado de: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>]. Fecha de consulta: 15 de febrero de 2016.

U.S. Soil Conservation Service (USSCS). 1972. Hydrology. Secc 4.Suplement A. In Soil Conservation Service National Engineering Handbook. U.S. Department of agricultura, Washington, D.C.

U.S. Soil Conservation Service (USSCS). 1975. Urban hidrology for small watersheds technical release N°55, Department of agricultura, Washington, D.C.

V

Vaccarino Pasquali, E., Manduca, F., Bizzoto, F. y Vich, A. 2012. Morfometría de cuencas ubicadas en el piedemonte mendocino de la Precordillera. 1^{er} Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Ezeiza: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación.

Vestena, L.; Checchia, T.; Kobiyama, M. 2006. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner. IV Simposio Nacional de Geomorfología. Goiania: União da Geomorfologia Brasileira, pp. 1-11.

Vericat, D., García, C. y Batalla, R. 2006. "Variaciones temporales y espaciales en la granulometría del tramo bajo del Ebro". *Revista Cuaternario y Geomorfología*. Zaragoza: Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA); Sociedad Española de Geomorfología (SEG), n°20, pp. 47-60.

Viers, G. 1983. Geomorfología. Madrid: Ed. Oikos Tau. 320 pp.

Viramontes-Olivas, O., Escoboza García, L., Pinedo Alvarez, C.; Reyes Gómez, V., Román Callejeros, J., Perez Márquez, A. 2007. "Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua". *Revista Tecnociencia*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua, vol. 13, pp. 21-31.

Von Gosen, W., Buggisch, W. y Krumm, S., 1991. Metamorphism and deformation mechanisms in the Sierras Australes fold and thrust belt (Buenos Aires province, Argentina). *Tectonophysics*, vol. 185, pp. 335-356.

Volonté, A.; Duval, V.; Gil, V. y Campo, A. 2013. Vegetación ribereña en la cuenca baja del arroyo San Bernardo, Sierra de la Ventana. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, Congreso Internacional de Geografía, 74^ª Semana de Geografía, Trevelin; 297-305 pp.

W

Ward, J.V., Tockner, K., Arscott, D.B. y Claret, C. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater biology*. [En línea]. n° 47, pp. 517-539. Recuperado de http://limnoreferences.missouristate.edu/assets/limnoreferences/Ward_etal2002.pdf

Whittow, J.B. 1988. *Diccionario de Geografía Física*. Madrid: Ed. Alianza. 557 pp.

Wolman, M. 1954. A method of sampling coarse river bed material. *Trans. Amer. Geophys. vol. 35*, pp. 951-956.

Z

Zabala, C. y Quattrocchio, M. 2001. Estratigrafía y evolución geológica del río Sauce Grande (Cuaternario), provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, vol. 56, n° 1, pp. 25-37.

Zamorano, M., Capitanelli, R., Velasco, M., Barrera, R., Ostuni, J., Gaignard, R. 1968. *La Geografía en la República Argentina*. España: Ed. Paidós, 230 pp.

Zapperi, P., Casado, A., Gil, V., y Campo, A. 2006. Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste bonaerense. IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur.

Zapperi, P.; Ramos, M.; Gil, V. y Campo, A., 2007. Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. *Contribuciones Científicas*, Buenos Aires: Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, pp. 483 - 491.

Zapperi, P.A. 2012. Hidrografía urbana de Bahía Blanca. Tesis de doctorado en Geografía. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 153 pp.

Zárate, M.A. 2003. "Loess of southern South America". *Quaternary Science Reviews*, vol. 22, pp. 1987-2006.

Zárate, M. A. 2005. El Cenozoico tardío continental de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (edit.): Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap. IX, pp. 139-158

Zárate, M. A. y Rabassa, J. 2005. Geomorfología de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (edit.): Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap. VIII, pp. 119-138.

Zusmán, P. 2011. La tradición del trabajo de campo en Geografía. *Rev. Geograficando*, año 7, n°7, p.15-32. Universidad Nacional de la Plata.