



Inundaciones Urbanas en Argentina

Organizador

Juan Carlos Bertoni

Autores

Silvio Ambrosino

Osvaldo Barbeito

Juan Carlos Bertoni

Alberto Daniele

Jorge Adolfo Maza

Carlos Ubaldo Paoli

Juan José Serra

INUNDACIONES URBANAS EN ARGENTINA

Juan Carlos Bertoni
Organizador

Autores:

Silvio Ambrosino
Oswaldo Barbeito
Juan Carlos Bertoni
Alberto Daniele
Jorge Adolfo Maza
Carlos Ubaldo Paoli
Juan José Serra

2004

2004 © Copyright by the authors.
Primera edición: 1.000 ejemplares

Diseño de la portada:
Sr. Alejandro Barbeito. Estudio Tríptico, Villa Carlos Paz, Argentina.
Jorge Newbery 422 . Tel.: (03541) 156-17726
E-mail: triptico@dcc.com.ar

Apoyo:

Global Water Partnership, GWP-SAMTAC.

Programa Asociado de Gestión de Crecidas. América del Sur.
Proyecto: Mejoramiento de las Prácticas de Gestión de Crecidas en
Sudamérica

Universidad Nacional de Córdoba. Secretaría de Ciencia y Técnica, SECyT

Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua, Argentina.

Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la Gestión Integrada de
los Recursos Hídricos, Arg CAP-NET.

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723
Impreso en Argentina. Print in Argentina.

I.S.B.N.:

Inundaciones urbanas en Argentina/ organizado por Juan Carlos Bertoni
Córdoba. Argentina.

1. Hidrología. 2. Drenaje Urbano. 3. Inundaciones. 4. Urbanización

Córdoba, Argentina, febrero de 2004.

AUTORES

(por orden alfabético)

Silvio Ambrosino

Profesional del Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida, CIRSA.
Instituto Nacional del Agua, INA. Córdoba, Argentina
silvioambrosino@hotmail.com

Osvaldo Barbeito

Profesional del Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida, CIRSA.
Instituto Nacional del Agua, INA. Córdoba, Argentina
coyabarbeito@arnet.com.ar

Juan Carlos Bertoni

Profesor titular de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, UNC. Investigador Asociado al Instituto Nacional del Agua, INA. Argentina.
jcbertoni@com.uncor.edu

Alberto Daniele

Director de Dirección General de Hidráulica y Saneamiento. Municipalidad de Rosario, Argentina.
adaniele@rosario.gov.ar

Jorge Adolfo Maza

Profesor de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Mendoza
Director del Centro Regional Andino, CRA. Instituto Nacional del Agua, INA. Argentina.
mazaja@ina.gov.ar

Carlos Ubaldo Paoli

Profesor titular de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, FICH. Director del Centro Regional Litoral, CRL. Instituto Nacional del Agua, INA. Argentina
cpaoli@ina.gov.ar

Juan José Serra

Profesor adjunto de la Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Trelew.
jserra@satlink.com

COLABORADORES

(por orden alfabético)

Néstor Campana

Profesor Adjunto. Universidade Federal de Brasília, Brasil.
mnestor@unb.br

Pierre Chevallier

Directeur de Recherches. Institut de Recherche pour le Développement, IRD. Maison
des Sciences de l'Eau. CNRS-IRD-Université Montpellier II, France
pierre.chevallier@mpl.ird.fr

PRESENTACION

Este libro se inició como parte de las tareas realizadas en el Programa Asociado de Gestión de Crecidas desarrollado en Sudamérica por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Global Water Partnership (GWP)-SAMTAC. El mismo describe los principales aspectos relativos al proceso de urbanización, la evolución del drenaje urbano y la problemática de las inundaciones en áreas urbanas de la Argentina. Los autores desarrollan sus actividades en distintas regiones del país, hecho que le otorga al texto el enriquecimiento derivado de la descripción y el análisis de las diferentes problemáticas que presenta la Argentina.

El material presentado incluye el análisis de una serie de casos destacados relativos a inundaciones ocurridas en los últimos años en áreas urbanas de la región Litoral, la región Pampeana, el valle inferior del río Chubut y las regiones Andina y Serrana.

Finalmente, el libro sintetiza una evaluación general de esta problemática en el país y presenta recomendaciones tanto para minimizar los problemas actuales como para evitar aquellos que probablemente ocurrirán en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

En la elaboración de este libro han colaborado diversas personas. El organizador agradece a los Ings. Fernando Miatello, Jorge Estévez y Javier Argüello por su aporte sobre antecedentes históricos relativos al drenaje urbano de las ciudades de Buenos Aires y Córdoba.

Del mismo modo, agradece al Lic. Gabriel Caamaño Nelli y a la Geól. Clarita Dasso por la cesión de datos referidos a intensidades máximas de lluvias intensas correspondientes a localidades de Córdoba. Por su parte, agradece también a los Ings. Alejandra Toya, Beatriz Olivera e Isaac Rahmane, por facilitar el material técnico referido a cuencos de retardo de la ciudad de Córdoba.

Un agradecimiento especial es dirigido a los Ings. Maximiliano Vettorazzi y Juan Pablo Brarda quienes, a lo largo de los dos años de trabajo que demandó el libro, compilaron y organizaron con suma paciencia las figuras y parte del documento que constituye el texto.

El organizador también agradece al Ing. Gustavo Peuser(h), quien revisó los borradores finales. Finalmente, agradece a todos aquellos quienes hicieron posible la impresión de este libro, en particular, al Prof. Carlos E. M. Tucci (IPH/UFRGS, Brasil y GWP-SAMTAC), al Dr. Miguel A. Solanes (CEPAL/ONU), al Dr. Armando Bertranou (Arg-CAPNET) y a la Lic. María Elena Zuñiga (GWP-SAMTAC).

INDICE GENERAL

CAPITULO 1.....	13
INTRODUCCION GENERAL	
Juan Carlos Bertoni y Jorge Adolfo Maza	
1.1 - Introducción.....	13
1.2 - Tratamiento típico del problema de las inundaciones urbanas.....	13
1.3 - Urbanización, impacto hidrológico e inundaciones urbanas.....	15
1.4 - Tipos de inundaciones y subsistemas urbano	18
1.4.1 - Tipo de inundaciones y recurrencias.....	18
1.4.2 - Subsistemas del drenaje urbano	19
1.5 - Necesidad de un cambio de visión.....	19
CAPITULO 2.....	23
RASGOS FISICOS CARACTERISTICOS DE ARGENTINA	
Juan Carlos Bertoni	
2.1 - Aspectos físicos generales.....	23
2.2 - Aspectos hidrográficos.....	30
2.3 - Características de las precipitaciones intensas.....	32
2.3.1 - Introducción.....	32
2.3.2 - Revisión de métodos para la estimación de curvas i-d-f.....	33
2.3.3 - Comparación del desempeño de los métodos de Rühle y Devoto.....	38
CAPITULO 3.....	43
URBANIZACIÓN Y DRENAJE URBANO EN ARGENTINA	
Juan Carlos Bertoni	
3.1 - El proceso de urbanización en el mundo	43
3.2 - Diferencias en la urbanización entre los países industrializados y el resto del mundo	45
3.3 - Tendencias de migración hacia las periferias de las ciudades.....	46
3.4 - Aspectos del proceso de urbanización en Argentina.....	48
3.5 - Aspectos urbanísticos de las ciudades argentinas.....	54
3.6 - Evolución del drenaje urbano en Argentina.....	56
3.6.1 - Introducción.....	56
3.6.2 - Etapas del drenaje pluvial urbano en Argentina	58
3.7 - Caracterización general de las inundaciones urbanas en Argentina.....	68
3.7.1 - Panorama actual de las inundaciones rurales y urbanas en Argentina	68
3.7.2 - Inundaciones urbanas en Argentina.....	69

CAPITULO 4.....75

INUNDACIONES RIBEREÑAS EN EL TRAMO DEL PARANA MEDIO

Carlos Ubaldo Paoli

4.1 - Características de la cuenca de aporte y del tramo argentino	75
4.2 - Características generales del régimen hidrológico del río Paraná	78
4.3 - Régimen de crecidas del río Paraná.....	79
4.4 - Eventos históricos del río Paraná y sus impactos.....	83
4.5 - Acciones y programas encarados para mitigar los efectos de las inundaciones en la región del Paraná Medio	84
4.6 - Las crecidas de diseño para las obras y medidas no estructurales	88
4.7 - Inundaciones generadas por el río Paraná en la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas	90
4.8 - La catástrofe de la ciudad de Santa Fe en abril de 2003.....	99
4.8.1 - Características generales de la cuenca del río Salado.....	99
4.8.2 - Características de las precipitaciones en la región.....	100
4.8.3 - Las crecidas del río Salado	102
4.8.4 - La crecida de abril de 2003	103
4.8.5 - El proceso de inundación en el casco urbano y el comportamiento de las obras existentes	107
4.8.6 - La vulnerabilidad de la ciudad de Santa Fe y los daños de la inundación	113

CAPITULO 5.....115

INUNDACIONES EN LOS GRANDES CENTROS URBANOS

Jorge Adolfo Maza, Alberto Daniele y Juan C. Bertoni

5.1 - Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense	115
5.1.1 - Introducción.....	115
5.1.2 - Breve descripción de las principales cuencas hídricas.....	117
5.1.3 - Necesidad de una gestión integral en relación a las inundaciones urbanas	122
5.2 - Efectos colaterales de la urbanización en planicies: el ascenso de los niveles de agua subterránea	124
5.3 - El drenaje pluvial de la ciudad de Rosario.....	127
5.4 - El control del escurrimiento pluvial en la ciudad de Córdoba.....	131
5.4.1 - Evolución de la ciudad y problemas en el drenaje pluvial.....	131
5.4.2 - Experiencias en el control del escurrimiento pluvial urbano de la ciudad	133
5.5 - Caracterización de superficies urbanas susceptibles de influenciar en el escurrimiento.....	138
5.5.1 - Estimaciones del porcentaje de áreas urbanas impermeables en Argentina	138
5.5.2 - Caracterización de las urbanizaciones.....	139
5.5.3 - Criterios para caracterizar las superficies urbanas	140
5.5.4 - Clasificación de las superficies urbanas	142
5.5.5 - Metodologías de clasificación empleadas	143
5.5.6 - Síntesis de los resultados obtenidos	148
5.5.7 - Comparación con informaciones de otros países	150

CAPITULO 6.....155
URBANIZACION E INUNDACIONES EN SISTEMAS HIDRICOS
DEL CENTRO DE LA REGION PATAGONICA

Juan José Serra

6.1 - Inundaciones en el contexto regional.....	155
6.2 - Crecidas e Inundaciones en Cuencas Cordilleranas.....	156
6.2.1 - Urbanizaciones vulnerables y acciones encaradas	156
6.2.2 - Caudales máximos en cuencas pluvionivales del sistema O. Pacífico.....	159
6.2.3 - Caudales máximos en cuencas pluvionivales sin registros hidrométricos.....	161
6.3 - Crecidas torrenciales en Paisaje Hídrico de Meseta Patagónica (PHMP)	165
6.3.1 - Aspectos Generales.....	165
6.3.2 - Aspectos climáticos.....	167
6.3.3 - Aspectos geológicos de la región del VIRCh y su zona costera.....	167
6.3.4 - Rasgos de cubierta vegetal	169
6.3.5 - Erosión y Rasgos Geomorfológicos	169
6.3.6 - Sistemas Hidrológicos Mixtos en PHMP.....	171
6.3.7 - Urbanización e infraestructura.....	175
6.4 - Estudio de Caso: Caracterización de crecidas y riesgo aluvional en el Valle	
Inferior del Río Chubut, VIRCh.....	177
6.4.1 - Características generales del VIRCh.....	177
6.4.2 - Génesis de las crecidas Urbanas y rurales del VIRCh.....	179
6.4.3 - Crecidas de Embalse (desde el Dique Florentino Ameghino)	181
6.4.4 - Crecidas Aluvionales (Por tormentas en el área del cuenco aluvional Dique	
a Boca Toma)	185
6.4.5 - Consideraciones finales sobre la problemática de crecidas en el VIRCh ..	189
6.5 - Estudio de caso: Presas de Laminación de Crecidas en el Cañadón del Parque	
Industrial de Trelew	190

CAPITULO 7.....197
INUNDACIONES EN AREAS URBANAS DE LAS REGIONES
ANDINAS

Jorge Adolfo Maza

7.1 - Problemática de las urbanizaciones en laderas y pedemontes.....	197
7.2 - Estudio de caso: Area pedemontana de Mendoza	198
7.2.1 - El Gran Mendoza.....	198
7.2.2 - Descripción del proceso.....	198
7.3 - Medidas de control recomendables.....	201
7.3.1 - Consideraciones generales	201
7.3.2 - Pautas para la urbanización del pedemonte.....	203

CAPITULO 8.....	205
INUNDACIONES REPENTINAS EN AREAS SERRANAS DE CORDOBA	
Osvaldo Barbeito y Silvio Ambrosino	
8.1 - Estudio de caso: Ciudad de Mina Clavero.....	205
8.1.1 - Introducción.....	205
8.1.2 - Zonificación geomorfológica: carta de amenaza por inundaciones	206
8.1.3 - Interpretación de resultados	207
8.2 - Estudio de caso: localidades de Villa Anizacate y Costa Azul	211
8.2.1 - Introducción.....	211
8.2.2 - Zonificación geomorfológica: carta de amenaza por inundaciones	212
8.2.3 - Conclusiones y Recomendaciones.....	215
CAPITULO 9.....	217
INUNDACIONES SEVERAS POR CRECIDAS EXTREMAS	
Osvaldo Barbeito, Silvio Ambrosino, Juan C. Bertoni y Carlos Ubaldo Paoli	
9.1 - Introducción.....	217
9.2 - Estudio de Caso: San Carlos Minas (Pcia. de Córdoba).....	217
9.2.1 - Introducción.....	217
9.2.2 - Descripción del evento.....	219
9.2.3 - Estudios geomorfológicos e hidrológicos realizados.....	220
9.2.4 - Soluciones encaradas.....	225
9.2.5 - Conclusiones	227
9.3 - Estudio de Caso: Cañada de Gómez (Pcia. de Santa Fe).....	229
9.3.1 - Introducción.....	229
9.3.2 - Descripción sintética del evento	230
9.3.3 - Medidas encaradas.....	232
CAPITULO 10	235
EVALUACION FINAL Y RECOMENDACIONES	
Jorge Adolfo Maza y Juan Carlos Bertoni	
10.1 - Urbanización y problemas sociales en América Latina.....	235
10.2 - Situación de los grandes conglomerados urbanos de la Argentina	236
10.3 - Planificación para el Futuro	238
10.4 - Consideraciones y criterios sobre el almacenamiento en el drenaje pluvial....	239
10.4.1 - Soluciones estructurales	239
10.4.2 - Soluciones no estructurales.....	240
10.5 - Experiencias en sistemas de alerta hidrológica en tiempo real	242
10.6 - Conceptos básicos recomendados	246
CAPITULO 11	249
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	

CAPITULO 1

INTRODUCCION GENERAL

Juan Carlos Bertoni y Jorge Adolfo Maza

1.1 - Introducción

El saneamiento urbano en su concepción tradicional es considerado como el conjunto de acciones que objetivan la evacuación rápida de las aguas pluviales y de los desechos industriales y domésticos. Esta visión mecanicista de la circulación del agua urbana no es más aceptable en una época donde se proponen acciones respetando el medio ambiente.

Según el grupo Eurydice 92 (Chocat, 1997b), "la distinción entre la hidrología urbana y la hidrología rural resulta cada vez más difícil de establecer dado la evolución actual de los modos de ocupación del suelo urbano (desarrollos de zonas periurbanas) y la modificación de los modos de vida. La noción de hidrología urbana podrá evolucionar progresivamente hacia aquella de la hidrología humana o de la hidrología de medios bajo fuerte impacto antrópico, interesándose por la parte del ciclo del agua perturbado por las actividades humanas o susceptibles de ser perturbadas o modificadas de acuerdo a las necesidades de la sociedad".

Los procesos que han conducido a esta idea avanzada del saneamiento pluvial urbano son el resultado de una serie de estudios y de investigaciones científicas que han dado lugar al nacimiento de una de las manifestaciones más significativas de la actividad humana: la urbanización.

1.2 - Tratamiento típico del problema de las inundaciones urbanas

La urbanización es creciente en el mundo y particularmente en Sud América. Esta tendencia, que también se registra en la Argentina, genera continuas presiones para la ocupación del espacio urbano. La rápida expansión de los sectores más carenciados torna difícil el control de todos los aspectos asociados al crecimiento.

Dentro de este contexto la atención a los problemas del drenaje urbano generalmente se realiza solo inmediatamente después de su ocurrencia, resultando en obras cuya vida útil es efímera. El problema de las inundaciones urbanas muchas veces es olvidado con el pasar del tiempo, máxime durante períodos de sequía.

En los municipios de mayor porte, que poseen áreas dedicadas a la planificación, las inundaciones urbanas no siempre son relacionadas con la política de ocupación del espacio urbano y ello dificulta la formulación de medidas eficaces. En las localidades más pequeñas, de menores recursos, la imposibilidad de contar con especialistas resulta en soluciones que no contemplan la integralidad del problema. Como resultado, en la mayoría de los casos, el problema termina exigiendo en forma recurrente un esfuerzo apreciable de las áreas de Defensa Civil y Asistencia.

Conforme a lo citado por varios autores, la evolución típica del proceso se inicia a partir de pequeñas áreas en el marco de un proceso de aprobación de loteos. Cuando un loteo es proyectado los municipios solamente exigen que el proyecto de drenaje pluvial asegure el drenaje eficiente del sector, sin considerar el impacto del aumento del caudal máximo hacia aguas abajo. Una característica causante del descontrol observado en la mayoría de las ciudades es que quien impermeabiliza no sufre las consecuencias; los efectos hidrológicos solo se verifican hacia aguas abajo. Cuando las municipalidades no controlan la urbanización o no amplían la capacidad del sistema de drenaje la ocurrencia de crecidas urbanas aumenta, con pérdidas sociales y económicas para toda la comunidad.

Otros problemas derivan de las interferencias entre los diversos sistemas que coexisten en el ámbito urbano. Estos conflictos han aumentado en los últimos años como resultado del incremento de las obras de infraestructura básica y complementaria. A veces se observa un cierto descuido en las soluciones, no siendo evaluadas las consecuencias hidráulicas de las alteraciones realizadas. El aspecto sobresaliente a ser contemplado en el análisis de condicionantes es que el flujo pluvial escurre por acción de la gravedad. Las consecuencias de las modificaciones introducidas sobre el sistema de drenaje solo se aprecian con posterioridad, durante la ocurrencia de tormentas severas. En algunos casos la combinación de efectos resulta en inundaciones inesperadas sobre áreas urbanizadas, aún bajo lluvias no muy intensas.

Lamentablemente, tampoco la creciente concientización por la preservación del medio ambiente ha generado aún acciones prácticas significativas con relación al drenaje urbano. En este sentido es de esperar que la divulgación de conceptos ligados al proceso de generación de las inundaciones urbanas ayude a un mayor grado de concientización de la población en general y, en particular, al accionar de los grupos ambientalistas. En síntesis, puede afirmarse que a medida que aumenta el porte de las ciudades se agravan las consecuencias de la falta de planificación y reglamentación. Después que el espacio es totalmente ocupado, las soluciones disponibles resultan extremadamente caras y más complejas técnicamente. El poder público pasa a invertir una parte significativa de su presupuesto para proteger algunos sectores de la ciudad que sufren debido a la falta de previsión en la ocupación del suelo. Estos fondos provienen, en última instancia, de toda la población del municipio, del estado provincial o nacional (en función de la importancia de la ciudad y de la gravedad de la situación), por lo que surge el interrogante sobre quién realmente debería pagar.

La respuesta técnica al problema es disciplinar la ocupación urbana a través de una densificación compatible con los riesgos de inundación. El objetivo es minimizar, y de ser posible impedir, el aumento sistemático del hidrograma de áreas urbanas. Para ello es necesario cuantificar el impacto de las diferentes condiciones de urbanización sobre el escurrimiento y establecer una reglamentación del uso del suelo.

1.3 - Urbanización, impacto hidrológico e inundaciones urbanas

La extensión de las fronteras de las ciudades es un hecho natural asociado al desarrollo urbano, que posibilita el ordenamiento e incremento de las relaciones socio-culturales, económicas, legales, etc. Conforme citado en varios capítulos de este libro, los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua son numerosos. Chocat (1997a) destaca cinco:

- (a) la impermeabilización del suelo,
- (b) la aceleración de los escurrimientos,
- (c) la construcción de obstáculos al escurrimiento,
- (d) la "*artificialización*" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas y,
- (e) la contaminación de los medios receptores.

Los tres primeros tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos.

El desarrollo urbano, la pavimentación y la proporción cada vez menor de espacios verdes en relación con las zonas edificadas trae como consecuencia un aumento notable de los escurrimientos pluviales en las ciudades. En las ciudades más chicas con pocas calles pavimentadas, terrenos baldíos intercalados y con casas generalmente provistas de fondos de tierra o jardines, la lluvia encuentra una gran proporción de zonas de infiltración (tierra, jardines) con relación a las zonas impermeables (techos, pavimentos). El agua que escurre como resultado de la lluvia de determinada intensidad sobre un área en esas condiciones es muy inferior a la que se produce sobre una ciudad densamente urbanizada donde prácticamente el 100% de su superficie es impermeable.

La urbanización en una cuenca tiende a llenar las áreas bajas (las cuales previamente proveían almacenamiento) y a pavimentar áreas permeables (que proveían infiltración). La suma de un sistema de alcantarillado pluvial con cordones y cunetas colecta más escurrimiento y lo dirige a cauces, lagos o humedales. Esta acción produce un gran volumen de escurrimiento con altos y frecuentes caudales picos. Esto produce importantes daños a la integridad física y biológica del cauce receptor. Varias comunidades han adoptado ordenanzas intentando controlar las inundaciones crecientes asociadas con la urbanización pero pocas se han dirigido hacia el impacto de la calidad del agua producida por pequeños eventos de escurrimiento.

Típicamente son los pequeños escurrimientos los que recogen y desparraman la mayoría de los contaminantes en un curso de agua urbano. Estos contaminantes incluyen sedimentos, metales, aceites, etc. los cuales son lavados desde las áreas impermeables hacia el sistema de alcantarillado y dirigido hacia el cauce. Capturando estos pequeños eventos de escurrimiento y deteniéndolos por un período de tiempo es posible detener alguno de los contaminantes sedimentados antes de que descarguen en el cauce. En EEUU se ha recomendado capturar y tratar el escurrimiento que varía de 5,8 mm por hectárea impermeable hasta el correspondiente al tiempo de retorno de 2 años y duración 24 hrs.

UNESCO (1987) ejemplifica a través de algunas situaciones medias el impacto que la urbanización produce en las áreas urbanizadas:

- 0,1 ha de área rural se convierte en urbana per cápita de incremento poblacional;

- Un aumento de la impermeabilidad de 40% produce una disminución del 50% en los tiempos de distribución del escurrimiento y un aumento del 90% del caudal máximo de las crecidas;
- Cuando la densidad poblacional pasa de 0,4 hab/ha a 50 hab/ha los tiempos de distribución de los escurrimientos se reducen a la décima parte y los volúmenes escurridos aumentan diez veces;
- La evapotranspiración se reduce en un 38 %;
- El escurrimiento superficial aumenta en un 88 %.

La literatura especializada cita algunos valores que permiten dimensionar la magnitud de este impacto. Para una cuenca de 260 has Leopold (1968) estimó que su urbanización total junto a la ejecución de conductos de drenaje puede aumentar el caudal pico hasta seis veces con relación a la situación natural. Cabe consignar que en algunos casos el impacto hidrológico ha superado estos porcentajes. Desbordes (1989) cita que a causa de obras derivadas de la urbanización, algunas cuencas francesas han visto su tiempo de respuesta dividido por un factor del orden de 5 a 15 y, en consecuencia, la multiplicación del caudal de punta específico ha sido afectado por un factor variando entre 5 y 50. Tucci (1994) analizó la variación del coeficiente de escurrimiento entre áreas rurales y urbanas, concluyendo que para sectores con urbanización media esta variación puede llegar a valores del orden del 200 %. Para la ciudad de Rafaela Bertoni (2001) determinó, en base a datos hidrológicos y de urbanización, que un crecimiento del 15 % en el porcentaje de urbanización representó 140 % de reducción del tiempo de concentración y 100 % de aumento del caudal de punta específico.

Según UNESCO (1987) se han identificado los siguientes impactos a cauces producidos por el incremento de la urbanización:

- Caudales máximos se incrementan de 2 a 5 veces sobre los de la preurbanización
- La frecuencia de eventos de inundaciones puede incrementar desde 1 cada dos años a 3-5 veces cada año. Un cauce que a través de los años ha adaptado su planicie inundable será ahora reformado debido al incremento de la cantidad y velocidad del agua. Habrá deslizamientos de márgenes y ampliaciones del lecho, erosión del lecho y caídas de árboles.
- El escurrimiento alcanzará el cauce receptor mucho más rápido (hasta un 50 %).
- Se reducirá el caudal base debido a una menor infiltración.

- La sedimentación producida por un incremento de la erosión llenará tramos de remanso en los cauces, impactando directamente la vida acuática y el número y tipos de organismos que se encuentran.
- La cantidad de contaminantes que entran al sistema fluvial durante y después de la urbanización se incrementan por un orden de magnitud.
- La temperatura de un cauce urbano puede incrementarse 0,08°C por 1 % de incremento de la impermeabilidad.
- La temperatura de un cauce urbano puede incrementarse 0,83°C por 30 m cuando fluye a través de áreas sin sombra.

Precisamente, la evaluación de los efectos de desarrollos urbanos e industriales en el ciclo hidrológico es uno de los más importantes, aunque menos comprendidos, problemas de la hidrología científica y aplicada. Es por esto que, desde hace aproximadamente 30 años, en el ámbito de la subdisciplina que se ha denominado "hidrología urbana", se vienen desarrollando métodos y técnicas con características regionales para la planificación, diseño y operación de sistemas de drenaje urbanos. También se ha acentuado la investigación para determinar, no solo cualitativamente, sino cuantitativamente, los efectos hidrológicos de la urbanización, aspecto esencial para poder desarrollar medidas para contrarrestar los efectos adversos del escurrimiento urbano.

1.4 - Tipos de inundaciones y subsistemas urbano

1.4.1 - Tipo de inundaciones y recurrencias

Aunque todas las inundaciones urbanas parezcan muy similares, es pertinente distinguir dos tipos básicos:

- inundaciones *ribereñas*, generalmente asociadas a la urbanización indebida de áreas inundables aledañas a los cursos de agua;
- inundaciones *provocadas por el crecimiento urbano tradicional*.

En realidad en muchos casos se observan combinaciones de ambos tipos básicos. Las inundaciones ribereñas más críticas se asocian a eventos severos. Diversos autores clasifican a las crecidas de los cursos como *ordinarias* si su período de retorno no excede 10 años; *extraordinarias* cuando está entre dicho valor y 100 años y *excepcionales* para recurrencias mayores. Se reserva la denominación *episódicas* para aquellas crecidas generalmente asociadas a tiempos de retorno superiores a 100 años, de

las cuales existen rasgos en el paisaje, advertibles a través del análisis geológico y geomorfológico.

1.4.2 - Subsistemas del drenaje urbano

La diferenciación en el tipo de inundaciones antes indicada se corresponde con los subsistemas básicos que componen el sistema de drenaje pluvial urbano de una ciudad.

En efecto, de acuerdo a una tendencia cada vez más marcada en la literatura especializada, para la planificación, proyecto y operación de un sistema de drenaje urbano corresponde distinguir en él dos niveles o subsistemas diferentes: el *macro* y el *micro* drenaje.

El subsistema de macro drenaje incluye todos los cursos del escurrimiento definidos por las depresiones topográficas naturales de la cuenca, aún siendo efímeros. Por lo general drena áreas mayores a 5 km², dependiendo del tamaño de la ciudad y relieve de la región. Una característica fundamental de este componente es que siempre existe, aún cuando no se ejecuten obras específicas de drenaje. A los fines del proyecto este subsistema debe ser capaz de eliminar o reducir los daños provocados por lluvias excepcionales, convenientemente entre 25 y 100 años de tiempo de recurrencia (o más).

Por su parte, el subsistema de micro drenaje abarca todas las obras de drenaje realizadas en áreas donde el escurrimiento natural suele no estar bien definido, siendo determinado por la ocupación del suelo. En un área urbana el subsistema de micro drenaje típicamente incluye al trazado de las calles, los sistemas de cordón-cuneta y/o alcantarillas, las bocas de tormentas y los sistemas de conducción subterránea hasta el macro drenaje. Este subsistema debe estar proyectado para operar sin inconvenientes ante tormentas con períodos de retorno entre 2 y 25 años, dependiendo del tipo de ocupación del sector.

1.5 - Necesidad de un cambio de visión

La filosofía básica del manejo del agua pluvial en residencias y toda clase de urbanización, está abierto actualmente a discusión y revisión. La experiencia en la región indica que bajo limitadas e inadecuadas filosofías en prácticas pasadas, el agua pluvial ha sido raramente bien manejada. De hecho, frecuentemente ha sido no manejada.

Las anteriores filosofías establecían simplemente la conveniencia de actuar en un sitio con la máxima rapidez posible para eliminar el exceso de escurrimiento pluvial. El efecto de las técnicas basadas en dichas filosofías, acumulado a través de los distintos sectores urbanos, ha sido una de las principales causas del incremento de la frecuencia con que se verifican inundaciones aguas abajo. Ello ha generado en la mayoría de los casos, la necesidad del desarrollo masivo de obras de ingeniería para evitar los daños por inundación. Frecuentemente también se ha registrado como efecto de la urbanización tradicional una disminución del aporte de agua subterránea.

Los problemas de inundaciones urbanas se han tornado críticos durante los últimos 30 años, al mismo ritmo de crecimiento de las comunidades y de la construcción de canales revestidos en nuevas y viejas áreas urbanas, donde antes se retardaba el escurrimiento en acequias o zanjas linderas a los caminos. Los resultados desafortunados de las mejoras en las antiguas urbanizaciones requieren de grandes inversiones para construir obras de control de crecidas adicionales.

El proceso de manejo del escurrimiento pluvial está actualmente sufriendo un significativo redireccionamiento, que hasta puede ser considerado una verdadera revolución. Esto está evidenciado por un nuevo énfasis en el deseo de detener o almacenar la lluvia donde ella cae, lo cual a veces produce inconvenientes localizados a corto plazo. Esta clase de soluciones aplicadas a urbanizaciones tiene frecuentemente efectos benéficos acumulados por la atenuación del caudal pico y del escurrimiento total. Si se aplicara integralmente en una cuenca se reducirían las principales inversiones de obras requeridas para la protección contra los peligros de inundación en las zonas bajas.

En las urbanizaciones se ha tratado que el sistema de drenaje evacue el escurrimiento tan rápidamente como sea posible, para restablecer la máxima comodidad en el menor período de tiempo posible. Al mismo tiempo el peligro de pérdidas de vida y de daños a las propiedades ha llevado a realizar obras para dar un 100% de protección contra la peor tormenta que la naturaleza puede generar. Aquí se quiere resaltar que estos dos objetivos no son mutuamente realizables sin costos extremadamente altos.

Cuando se quiere elegir como primer opción la máxima comodidad, se crea un sistema no balanceado en los tramos superior y medio de la cuenca, y se incrementa el peligro y riesgo de daños en el tramo inferior. La solución es obvia: se debe realizar un balance entre

eliminación de inconvenientes y protección contra peligro. Las prácticas antiguas no siempre realizaron tal balance, de hecho, lo más frecuente fue la aceleración de tal desbalance al producirse la urbanización de las áreas.

CAPITULO 2

RASGOS FISICOS CARACTERISTICOS DE ARGENTINA

Juan Carlos Bertoni

2.1 - Aspectos fisicos generales

El territorio argentino posee una superficie total de 3.761.274 km², del cual el 73 % corresponde a la porción continental. Dentro del mismo se observa una gran variación del relieve. En el país se distinguen zonas de alta montaña en el Oeste, mesetas en el Sur, sierras en el Centro-Norte y llanuras que ocupan más de la tercera parte del país (Figura 2.1).

La variación no es un rasgo exclusivo del relieve, sino también del clima, que incluye desde los cálidos tropicales al Norte hasta los fríos polares en el extremo Sur. Las dos terceras partes del territorio sufren acentuados problemas de aridez, siendo el país sudamericano que posee mayor concentración de este tipo de regiones.

Las características físico-geográficas del país inciden en la gran variabilidad espacial que presentan las precipitaciones medias anuales. Devoto (2002) destaca a los siguientes factores como responsables de este comportamiento:

- el gran desarrollo longitudinal del país;
- el emplazamiento del mismo como cuña entre los dos océanos;
- la presencia de la cordillera de los Andes, que impide el proceso eficaz de advección de vapor de agua desde el Pacífico en la zona de los vientos del Oeste, y
- la procedencia del Atlántico, y en menor grado de la parte Noreste del continente Sudamericano, del agua precipitada sobre el Centro y Norte de Argentina.

Sólo el 9 % del territorio nacional recibe precipitaciones de 1.000 mm, el 52 % menos de 500 mm, y el 30 % menos de 200 mm, situación que se agrava por el alto nivel de irregularidad de la distribución anual (Lara, 1995).

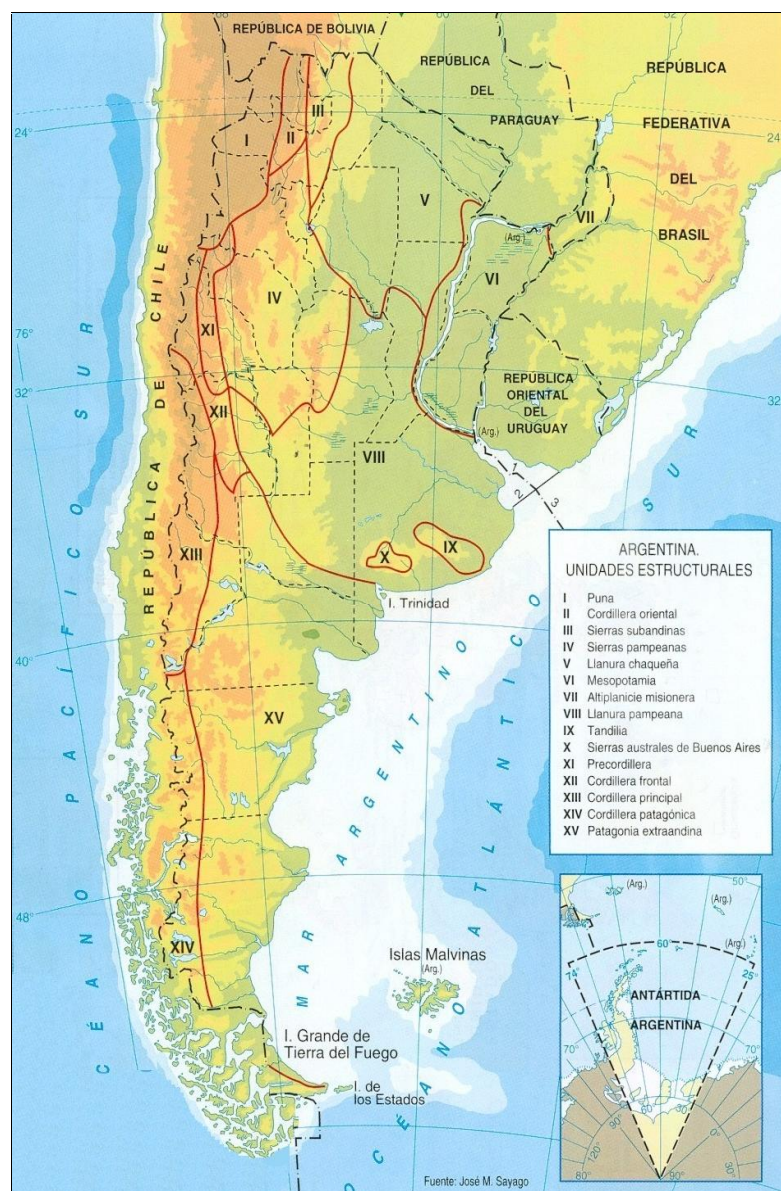


Figura 2.1. Relieve y unidades estructurales del territorio argentino.
(Fuente: Ciccolella et al., 1995)

La mesopotamia y la pampa húmeda presentan excedentes hídricos considerables. El territorio nacional se divide en tres regiones climáticas

características: húmeda, semiárida y árida (Figura 2.2). La traza de las isohietas anuales de 500 y 800 mm establecen los límites interiores de esas tres regiones climáticas: húmeda (mayor de 800 mm), semiárida (500 a 800 mm) y árida (menor de 500 mm).

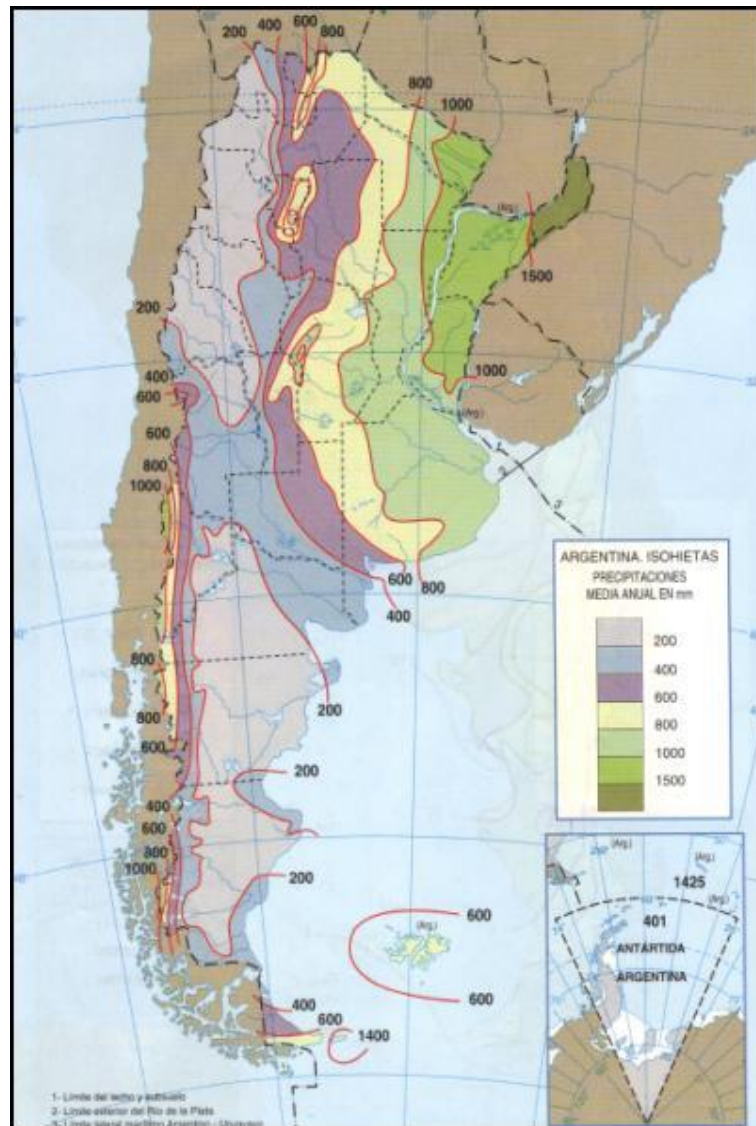


Figura 2.2. Precipitaciones medias anuales en Argentina.
(Fuente: Ciccolella et al., 1995)

Ello brinda una síntesis, a escala global nacional, de la variedad de climas que resultan de la gran extensión y ubicación del territorio, la diversidad de relieves y las consecuentes variaciones de humedad y temperatura. El rango de lluvias medias anuales varía desde menos de 50 mm en ciertas regiones de las provincias de San Juan y La Rioja, supera los 2.000 mm en la región subandina del Noroeste y en la región de la Selva Misionera y llega hasta los extremos excepcionales de 5.000 mm en los bosques andino-patagónicos (Calcagno, 2001). En la región cordillerana se registran algunos sectores donde por efecto orográfico se generan fuertes gradientes pluviométricos, pasando de 50 mm a más de 1.500 mm en pocos kilómetros.

La interacción de frentes fríos provenientes del Sur con las masas de aire húmedo que ingresan desde la región del Atlántico al Este del País, determina básicamente el régimen de precipitaciones en la región Pampeana y Nordeste. La presencia de varios sistemas orográficos determina el régimen de precipitaciones en las otras zonas del Noroeste y Sur del País. Las barreras orográficas también intervienen en la acumulación y posterior fusión del almacenamiento nival, determinando el régimen pluvionival característico de los ríos de la zona cordillerana. También corresponde destacar las influencias que sobre el escurrimiento superficial ejercen las extensas superficies lacustres de muchas cuencas patagónicas. Por su gran capacidad de almacenamiento, las mismas atenúan las irregularidades de las descargas.

A la variación estacional muy pronunciada en algunas áreas, que concentra un alto porcentaje de la precipitación en unos pocos meses, se suma una alta variabilidad interanual, en muchos casos incrementada por los fenómenos climáticos globales como el de la Corriente de “El Niño”, que provoca problemas de sequías e inundaciones según las regiones.

En diversas regiones del país se han registrado inundaciones urbanas provocadas por lluvias ocurridas sobre áreas rurales aledañas, fuertemente alteradas por el hombre. Las alteraciones se refieren generalmente al inapropiado uso de los recursos naturales, tales como suelo y vegetación. A continuación se indican sintéticamente las principales características edáficas y bióticas de Argentina.

Los suelos del territorio nacional presentan características diversas, desde los más secos y estériles hasta los más húmedos y fértiles. En la Figura 2.3 se presenta una síntesis de su distribución geográfica. Cabe señalar que en cada una de las regiones indicadas existen variaciones en el tipo de suelo e, incluso, pueden encontrarse suelos típicos de otras

regiones. A escala global del país dichos detalles pierden significancia. En la Tabla 2.1 se presenta una caracterización de los tipos de suelos indicados en la Figura 2.3.



Figura 2.3. Principales tipos de suelos de Argentina
(Fuente: www.oni.esuelas.edu.ar/2002)

Tabla 2.1. Caracterización de los principales tipos de suelo de Argentina

Tipo de suelo	Características destacadas
Ardisoles	Típicos de las zonas con escasas lluvias. Contienen poca materia orgánica. Pueden ser profundos y presentar niveles ricos en sales como yeso o carbonatos. Pueden ser pedregosos.
Alfisoles	No presentan horizonte húmico y tienen un alto contenido de arcilla. Son típicos de climas cálidos y húmedos. Sostienen una vegetación arbórea o arbustiva. Su espesor puede superar el metro.
Entisoles	Muy poco evolucionados. Son materiales sedimentarios inmovilizados sobre los cuales aún no han alcanzado a actuar los factores formadores del suelo.
Andisoles e Inceptisoles	Son típicos del área andina. Sostienen el bosque andino patagónico. Se forman a partir de las acumulaciones de cenizas volcánicas. A pesar de que poseen un horizonte orgánico son poco fértiles.
Ultisoles y Oxisoles	Suelos derivados de una intensa alteración química de la roca original. Típicos de climas áridos o húmedos. Pueden presentar color rojo por la presencia de hierro. Son poco fértiles y tienen poca materia orgánica. Típicos en la zona de Misiones.
Molisoles	Tienen un horizonte superficial potente con alto contenido de materia orgánica. Sostienen la vegetación de la pradera. Son los típicos suelos de la pampa húmeda.

(Fuente: www.oni.escuelas.edu.ar/2002)

Gran parte del territorio presenta procesos de erosión hídrica superficial como, por ejemplo, importantes áreas de la Selva misionera y Tucumano-Oranense, Bosques subtropicales (Chaco) y Selva austral, así como de la Pampa y Parques Sabanas subtropicales. En algunas regiones (por ejemplo, la región agrícola central de Córdoba), estos procesos están provocados por prácticas de manejo no sustentables en relación a los recursos naturales disponibles.

En lo que se refiere a las macrorregiones bióticas, en el país se observan ciertos tipos, como las de dominancia arbórea, que presentan una dispersión geográfica importante. Ello las lleva a ocupar áreas muy distantes entre sí y muy heterogéneas (Figura 2.4). Por su parte, otras aparecen confinadas a espacios bien delimitados.

Las regiones de dominancia herbácea presentan también un alto grado de dispersión geográfica. La región de dominancia arbustiva se asocia al área de clima semiárido. El área abarcada por la región de codominancia de arbustos y hierbas coincide con la zona más seca de la diagonal semiárida, desde la Puna hasta la costa atlántica austral. El clima frío de altura o templado frío de llanura es siempre de lluvias escasas, pero las bajas temperaturas de la zona austral al reducir la magnitud de la evaporación crean condiciones propicias para un mayor desarrollo del pastizal. Por último, el ecotono se desarrolla en la zona de tránsito de los climas cálidos a los templados con precipitaciones concentradas en el periodo estival que es también el de máxima evaporación.

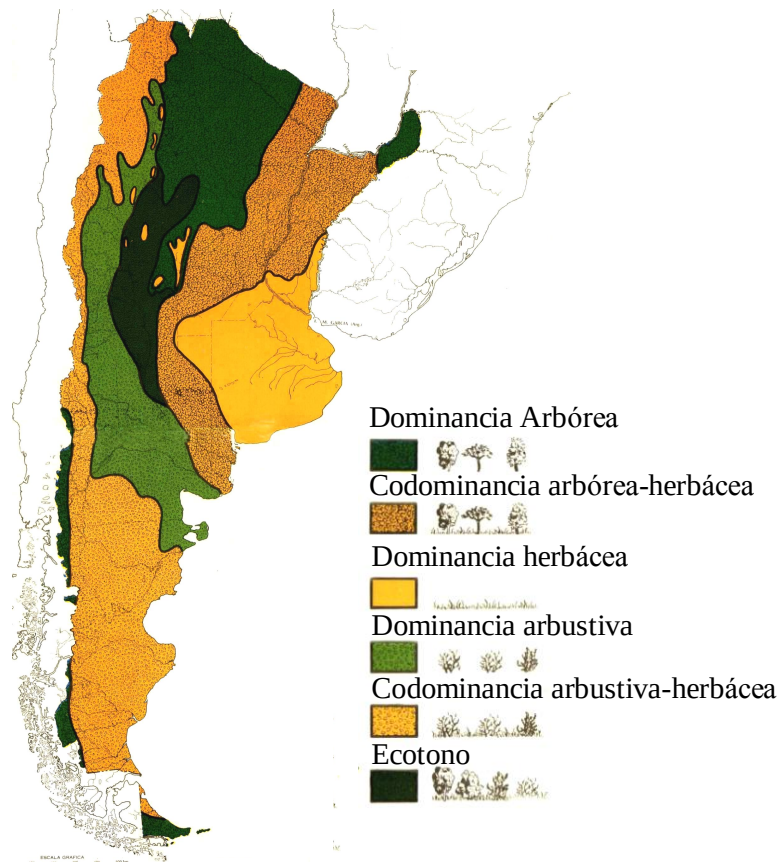


Figura 2.4. Macrorregiones bióticas del país
(Fuente: Atlas Total de la República Argentina, C.E.A.L., 1982).

2.2 - Aspectos hidrográficos

La porción continental del país dispone de un caudal medio de $22.500 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua superficial de buena calidad y una disponibilidad media anual de $22.000 \text{ m}^3/\text{habitante/año}$. La característica más relevante del agua superficial es su fuerte desequilibrio en relación a su distribución espacial ya que dos tercios de la superficie del país se encuentra bajo condiciones climáticas áridas o semiáridas.

El escurrimiento superficial se organiza según tres vertientes: Atlántica, Pacífica y Endorreica (Figura 2.5). La vertiente Atlántica es la más caudalosa y extensa ya que, además de la Cuenca del Plata, incorpora a los ríos patagónicos. Las áreas endorreicas corresponden a las cuencas de la Laguna de Mar Chiquita (Mar de Anzenusa), de las regiones serranas, pampeanas y a sectores independientes.

El 84,7 % del agua superficial del país corresponde a los territorios argentinos de la Cuenca del Plata (más de un tercio de la superficie continental del país). Esta región posee una disponibilidad media anual de $22.000 \text{ m}^3/\text{s}$, provista en su mayor parte por los ríos Bermejo, Paraguay, Uruguay y Paraná. También presenta la mayor concentración de población y de actividad productiva.

Por su parte, los ríos restantes de la vertiente Atlántica concentran el 10,8 % del agua superficial del país mientras que los de la vertiente Pacífica el 3,7 %. El aporte de caudal de los ríos sin derrame al mar es sólo del 0,8 %.

Si se considera el potencial de la cuenca, es decir los litros por segundo y por kilómetro cuadrado, las disparidades subsisten. El potencial de los ríos de la vertiente Pacífica es de $21,2 \text{ l/s/km}^2$ y el de la cuenca del Plata es de $19,8 \text{ l/s/km}^2$. Los ríos de la vertiente Atlántica poseen un potencial de sólo $2,21 \text{ l/s/km}^2$. Los ríos sin derrame al mar alcanzan un potencial de $0,2 \text{ l/s/km}^2$.

La gran disparidad en la disponibilidad del agua superficial hace que algunas provincias localizadas en las áreas áridas y semiáridas dispongan menos del 1% del total nacional. Provincias como Tucumán, Córdoba y San Luis, presentan disponibilidades per cápita inferiores al umbral de penuria (stress) adoptado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el cual es de $1.000 \text{ m}^3/\text{hab./año}$.

Los cursos que descienden del sector andino central, abastecidos por la nieve acumulada en la Cordillera, presentan crecidas durante la primavera y el verano. Los ríos patagónicos tienen una alimentación mixta: dependen tanto de las lluvias invernales originadas en las corrientes del Pacífico como del aporte nival. Esto hace que su régimen muestre dos ondas de crecida, una de invierno y otra de primavera - verano. La excepción es el río Santa Cruz, cuya alimentación dominante es de ablación glaciaria, presentando en consecuencia una sola onda en verano - otoño y estiajes en invierno - primavera.

2.3 - Características de las precipitaciones intensas

2.3.1 - Introducción

Por lo general los estudios sobre precipitaciones intensas se orientan alternativamente a la estimación de: (i) curvas intensidad-duración-frecuencia (i-d-f) o (ii) de tormentas máximas probables (PMP). Para estudios ligados a cuencas urbanas, obras viales y obras hidráulicas menores la característica habitual es el empleo de curvas i-d-f. El enfoque de PMP se asocia a proyectos de ingeniería de grandes obras, donde el riesgo de falla debe ser minimizado.

Como es conocido, la falta de toma de datos hidrometeorológicos y, más aún, de su adecuado tratamiento posterior, es una constante en Argentina. El resultado de este panorama es que un importante número de centros urbanos argentinos no disponen de curvas i-d-f.

Pese a que Argentina se caracteriza por presentar una gran variabilidad espacial en sus precipitaciones anuales, los fenómenos atmosféricos extremos de corta duración que dan origen a las precipitaciones intensas presentan mayor homogeneidad territorial. La razón de este comportamiento está dada por la incidencia sobre este tipo de procesos de factores físicos y estocásticos, tales como la capacidad de la atmósfera de producir precipitaciones severas en breves lapsos. Como consecuencia de ello, los valores que resultan son menos dependientes de la localización y de consideraciones climatológicas particulares, lo cual favorece su regionalización (Devoto, 2002). Por lo tanto, una solución ante la falta de curvas i-d-f es el empleo de métodos de regionalización hidrológica. Lamentablemente, el nivel alcanzado hasta la actualidad por este tipo de estudios en el país no es totalmente satisfactorio. A

continuación se revisan sintéticamente estos métodos y se presenta un análisis comparativo preliminar sobre dos de ellos.

2.3.2 - Revisión de métodos para la estimación de curvas i-d-f

Los métodos empleados para estimar curvas i-d-f en el territorio nacional pueden ser clasificados en dos grandes grupos que se dividen, a su vez, en sendos subgrupos (Figura 2.6). Con excepción de los métodos basados en los registros pluviográficos del lugar de interés, los restantes corresponden a procedimientos de regionalización hidrológica. En estos métodos la tendencia general es al aumento de la incertidumbre de sus estimaciones a medida que disminuye la disponibilidad de datos de la región de interés. A continuación se presenta un breve comentario sobre cada método.

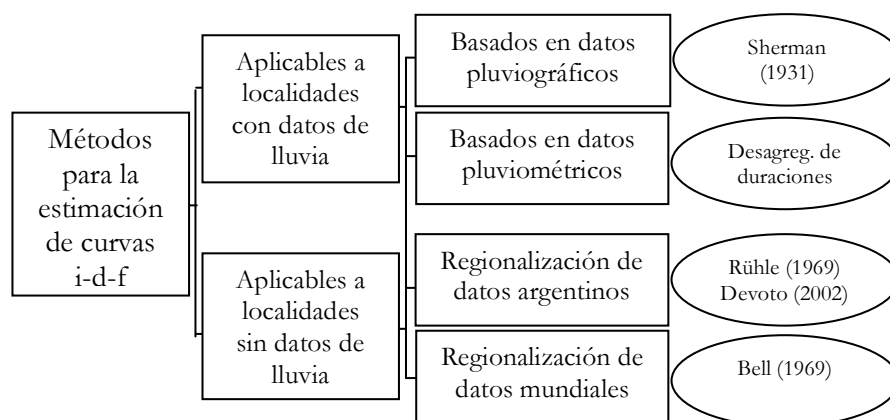


Figura 2.6. Clasificación de los métodos para la estimación de curvas i-d-f.

- Métodos aplicables a localidades con datos de lluvia:

En general se trata de los métodos más confiables, por el hecho de hacer uso de informaciones del propio lugar de interés.

(a.1) métodos basados en informaciones pluviográficas:

Representan la determinación clásica de las curvas i-d-f y constituyen el procedimiento más confiable. Al requerir un gran esfuerzo de tratamiento resultan, en contrapartida, muy demorados. Se basan en

el análisis estadístico del conjunto de fajas pluviográficas disponibles correspondientes a las tormentas intensas registradas en la localidad. Por lo general se recomienda contar con al menos 20 años de datos.

(a.2) métodos basados en informaciones pluviométricas.

Este método, denominado también de “desagregación de lluvias intensas diarias” (Bertoni y Tucci, 1993), se basa en la característica presentada por las precipitaciones intensas de poseer relaciones relativamente constantes entre las intensidades correspondientes a distintas duraciones. El método exige el análisis estadístico de lluvias diarias, el cual generalmente se realiza siguiendo el enfoque de series anuales. Se trata de un método que combina rapidez de tratamiento, simplicidad de análisis y aceptable grado de confiabilidad al basarse en datos del propio lugar de interés.

En la Tabla 2.2 se presentan los valores medios correspondientes a los factores adimensionales de desagregación de lluvias diarias, los cuales permiten arribar a estimaciones de curvas i-d-f entre 5 min y 24 h a partir de los datos diarios. Cabe señalar que:

- el factor 1,13 significa que las lluvias intensas correspondientes a 24 h de duración ininterrumpidas son, en promedio, un 13 % más intensas que los valores pluviométricos (la razón es que estos últimos pueden fraccionar a los montos correspondientes a una tormenta intensa de acuerdo al horario sistemático de medición, asignándolos a dos días diferentes).
- se ha observado que los factores poseen tendencia de variación en función del tiempo de retorno. De todos modos, a los efectos prácticos pueden ser considerados constantes, máxime para estudios de drenaje urbano que envuelven bajos tiempos de retorno y obras hidráulicas menores.

Tabla 2.2. Factores adimensionales de relación de intensidades correspondientes a distintas duraciones, aplicables al método de desagregación de datos diarios.

Relación	24h/1d	12h/24h	10h/24h	8h/24h	6h/24h	1h/24h
Factor	1,13	0,85	0,82	0,78	0,71	0,41

Relación	30min/1h	20min/30min	15min/30min	10min/30min	5min/30min
Factor	0,75	0,82	0,72	0,57	0,37

(Fuente: Bertoni y Tucci, 1993)

-Métodos aplicables a localidades sin datos de lluvia

Se trata de métodos expeditivos, basados en regionalización hidrológica. Permiten contar con una primera estimación de la curvas i-d-f del lugar de interés.

(b.1) informaciones referidas a Argentina:

Entre estos métodos se destacan el de Rühle (1966), propuesto para su empleo en el Método Racional Generalizado (MRG) y el de Devoto (2002).

- Método de Rühle (1966):

Propone la estimación de la intensidad media de la lluvia, en mm/h, correspondiente a 25 años de tiempo de retorno según la expresión:

$$R_{25} = \frac{a}{t^b} + c \quad (1)$$

donde t es la duración de la tormenta expresada en min y a , b y c son parámetros estimados de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$a = 31 \cdot R_h + 0,023 \cdot R_h^{2,295} \quad (2)$$

$$b = 0,82 \quad (3)$$

$$c = 2,29 + 0,023 \cdot R_h^{1,293} \quad (4)$$

siendo R_h la intensidad de precipitación horaria, en mm/h, correspondiente a una recurrencia o tiempo de retorno, T_r , de 25 años. El método implica el empleo de un mapa de isohietas horarias correspondiente a todo el país, que permite estimar el valor de R_h . El autor sugiere que para duraciones mayores a 2 h el valor de R_{25} puede estimarse como:

$$R_{25} = \frac{a}{t^b} \quad (5)$$

Para obtener la intensidad, en mm/h, correspondientes a otros tiempos de retorno expresados en años, R_T , la expresión propuesta es la siguiente:

$$R_T = R_{25} \cdot \left[1 + 0,44 \cdot \left(\frac{50}{50 + R_{25}^{0,3}} \right) \right] \cdot \log \left(\frac{T_r}{25} \right) \quad (6)$$

- *Método de Devoto (2002)*:

El autor propone la representación estadística de la intensidad máxima asociada a diferentes duraciones a través del modelo doble exponencial de Gumbel según la expresión:

$$X = \bar{X} \cdot \left\{ 1 - \frac{0,5772}{1,282} \cdot C_v - \frac{1}{1,282} \cdot C_v \cdot \text{Ln} \left[-\text{Ln} \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right] \right\} \quad (7)$$

donde $\bar{X}$ representa la intensidad media, C_v es el coeficiente de variación y T_r el tiempo de retorno. El autor regionalizó los valores de $\bar{X}$ y C_v para todo el territorio nacional, correspondiente a duraciones de 1 y 12 h. En la Figura 2.7 y en la Figura 2.8 se reproduce la regionalización correspondiente a 1 h. Para la expresión matemática de las curvas i-d-f el autor propuso dos modelos clásicos de tipo hiperbólico de 2 y 3 parámetros. Luego del análisis del desempeño de ambos recomendó el modelo de 3 parámetros dado por la expresión:

$$R = \frac{a}{t^b} + c \quad (8)$$

Las expresiones de los parámetros resultan en este caso:

$$a = i_1 \cdot (t_1^b + c) \quad (9)$$

$$b = 0,80 \quad (10)$$

$$c = (i_{12} \cdot t_{12}^b - i_1 \cdot t_1^b) / (i_{12} - i_1) \quad (11)$$

donde los subíndices 1 y 12 corresponden a duraciones de 1 y 12 h. En el modelo, la intensidad de lluvia, R , se expresa en [mm/h] y la duración de la tormenta, t , en [min].



Figura 2.7. Regionalización del parámetro $\bar{X}$ para el territorio nacional.
(Fuente: Devoto, 2002; adaptado).



Figura 2.8. Regionalización del parámetro C_v para el territorio nacional.
(Fuente: Devoto, 2002; adaptado).

2.3.3 - Comparación del desempeño de los métodos de Rühle y Devoto

Con el objeto de comparar preliminarmente el desempeño de los métodos de regionalización de Rühle (1966) y Devoto (2002), Bertoni et

al. (2004) recopilaron los valores correspondientes a las curvas i-d-f de diversas ciudades del territorio nacional. La mayor parte de dichas curvas fueron estimadas a partir de análisis pluviográficos. El error medio fue calculado en relación al valor de intensidad determinado a partir de la curva i-d-f de base pluviográfica.

Para el análisis, las ciudades fueron clasificadas según dos grupos:

- grupo “A”: aquellas consideradas en la regionalización de Devoto (2002)
- grupo “B”: aquellas no incluidas en dicho estudio.

Un mapa con la ubicación de las principales ciudades de Argentina se presenta en la Figura 2.9.

En la Tabla 2.3 y en la Tabla 2.4 se indica el error medio obtenido a partir de la aplicación del método de Devoto sobre las once ciudades analizadas. Cabe remarcar que las ciudades del grupo “B” son aquellas que reúnen mayor interés, al no encerrar tendenciosidad en el análisis. El análisis se centró sobre duraciones de 10, 30, 60, 180 y 360 min y recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 250 años.

Tabla 2.3. Errores medios en la estimación de intensidades asociadas a diferentes duraciones, independientemente de la recurrencia (ciudades del grupo “A”).

Durac [min]	Ciudades					
	Córdoba	Mendoza	Rosario	Resistencia	Las Peñas Sur (Cba.)	San Luis
10	55	21	50	52	44	28
30	7	3	2	4	5	1
60	4	3	4	5	5	4
180	5	6	7	18	14	24
360	6	24	3	23	15	12

Tabla 2.4. Errores medios en la estimación de intensidades asociadas a diferentes duraciones, independientemente de la recurrencia (ciudades del grupo “B”).

Duración [min]	Ciudades				
	La Suela	Villa Dolores	Rafaela	Río Tercero	Laboulaye
10	51	26	47	51	21
30	3	5	17	1	5
60	26	8	11	13	14
180	35	24	27	24	22
360	34	42	27	25	25



Figura 2.9. Ubicación de las principales ciudades de Argentina.

Del análisis realizado los autores obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La aplicación de ambas fórmulas del método de Rühle arrojó diferencias del orden del 8 al 30%. Dichas diferencias crecieron a medida que aumentó la duración de la lluvia. Existe, por lo tanto,

cierta contradicción en relación a lo sugerido por el método, que recomienda el empleo de la ecuación simplificada a partir de 2 h.

- Para duraciones de hasta 10 min los errores del método de Rühle fueron considerables, superando en la mayoría de los casos el 60% (máximos del orden de 150%). Para duraciones mayores el error medio fue del orden de 15%. El error medio para las diferentes recurrencias, independientemente de la duración considerada, fue del 30%.
- El método de Devoto presentó, en términos generales, mejor desempeño en relación al de Rühle. Se observó, sin embargo, una tendencia generalizada del mismo a producir subestimaciones de los valores de intensidad de lluvia. Los mejores resultados con este método se obtuvieron para duraciones entre 30 y 60 min, con un error medio del orden del 10%. Para cortas duraciones, de hasta 10 min, el método presentó las mayores diferencias en relación a las curvas i-d-f locales, alcanzando un error medio del orden del 40%.
- Para duraciones superiores a 1 h el error producido por el método de Devoto siguió un comportamiento diferenciado según el grupo de ciudades consideradas. Para las ciudades del grupo “A” el error medio fue del orden de 13%; para las del grupo “B” el mismo se elevó a 28%.
- Para las ciudades del grupo “A” el error medio del método de Devoto para recurrencias entre 2 y 250 años fue del orden del 15%, con leve tendencia a la disminución a medida que aumentó T_r . Para las ciudades del grupo “B” dicho error ascendió al 25%. Dentro de este grupo los errores mayores se verificaron para la estación La Suela, que corresponde a la región serrana de Córdoba, con errores medios oscilando entre 30 y 55%. Para este grupo de ciudades se evidenció una tendencia al aumento del error con el aumento de T_r .

En síntesis, con la aplicación del Método de Devoto a ciudades sin datos pluviométricos sería esperable que se comentan errores medios del orden del 10% para duraciones entre 30 y 60 min y del 30 al 40 % para duraciones fuera de dicho rango. Estos errores podrían aumentar si el puesto de interés es afectado por fenómenos locales, tales como presencia de sierras o montañas. Duraciones de lluvia entre 30 y 60 min son habitualmente empleadas para fines de proyecto en la mayoría de las ciudades.

CAPITULO 3

URBANIZACIÓN Y DRENAJE URBANO EN ARGENTINA

Juan Carlos Bertoni

3.1 - El proceso de urbanización en el mundo

La urbanización representa una de las manifestaciones más significativas de la actividad humana. A lo largo de la historia el proceso de urbanización reconoce tres grandes etapas: (i) preindustrial, (ii) industrial y (iii) actual o de las comunicaciones (también denominada por algunos autores como de “tercerización de las decisiones”).

La “explosiva” urbanización del mundo y los problemas que trae aparejada esta situación en los grandes conglomerados urbanos constituye una de las temáticas más importantes de nuestro tiempo. La universalización de la urbanización es un fenómeno reciente en la historia del planeta.

En el año 1800 solo el 1 % de la población vivía en ciudades. Desde mediados del siglo XVIII, donde se expandiera como efecto asociado a la revolución industrial, la urbanización se ha incrementado a nivel mundial a un ritmo cada vez más acelerado. Lo ocurrido en el siglo XX es un ejemplo de ello.

Según Guglielmo (1996), durante la primera mitad del siglo XX la población total del mundo se incrementó en el 49 % y la población urbana en el 240 %. En la segunda mitad del siglo esta evolución se aceleró: la población urbana pasó de 1.520 millones de habitantes en 1974 a 1.970 millones en 1982. La Tabla 3.1 ilustra acerca del crecimiento constante tanto observado como previsto para el período 1955-2015.

En la actualidad la población mundial es de aproximadamente 6.100 millones y la población urbana alcanza a 2.850 millones, es decir, el 46,7 %. En poco tiempo más, por primera vez en la historia el número de habitantes de las ciudades habrá superado al de las zonas rurales.

En lo que se refiere a la distribución geográfica de la población urbana en el mundo, América del Sur encabeza esta tendencia (Tabla 3.2).

En nuestro continente, la concentración urbana en las principales ciudades tiene el ritmo de crecimiento más alto entre las regiones del mundo y el mayor de todos los tiempos, con una marcada tendencia de concentración de funciones socioeconómicas y administrativas en pocas ciudades importantes por país. Esta propensión metropolitana está ocurriendo en el marco de un lento ritmo de crecimiento económico y con una estructura de distribución del ingreso crecientemente desigual, que conduce a un proceso de urbanización de la pobreza.

En 1950, ocho aglomeraciones alcanzaban o sobrepasaban 5 millones de habitantes (Nueva York, Londres, la Ruhr, Tokio, Shanghai, París, Buenos Aires y Moscú); ellas constituían alrededor del 7 % de la población urbana mundial. Según estimaciones de UNESCO, en el año 2000 el 15 % de la población urbana del planeta se concentró en metrópolis de al menos 10 millones de habitantes.

Tabla 3.1. Crecimiento anual de la población urbana (período 1955-2015).

Crecimiento anual de la población urbana				
Año	1955	1975	1995	2015
[%]	32	38	45	54

(Fuente: Fondo de las Naciones Unidas de Asistencia de Población, FNUAP).

Tabla 3.2. Distribución de la población urbana por continentes.

Distribución de la población urbana en el mundo							
Continente	América del Sur	América del Norte	Oceanía	Europa	América Central	África	Asia
[%]	77	76	75	74	53	35	35

(Fuente: Fondo de las Naciones Unidas de Asistencia de Población, FNUAP).

3.2 - Diferencias en la urbanización entre los países industrializados y el resto del mundo

El proceso de urbanización muestra algunas diferencias entre los países desarrollados, localizados fundamentalmente en el Hemisferio Norte y los países emergentes o subdesarrollados del Hemisferio Sur.

Durante la etapa preindustrial las grandes metrópolis de América Latina crecieron a un ritmo sostenido como resultado del gran comercio colonial. Ya en la fase de industrialización se registró un desfase en el crecimiento entre las ciudades de esta región y aquellas de los países desarrollados.

Según Guglielmo (1996), en la segunda mitad del siglo XIX o según el caso, en la primer mitad del XX, las metrópolis de los países desarrollados registraron una brusca aceleración en su crecimiento demográfico ligado a la industrialización. Por el contrario, el desarrollo industrial en los países menos desarrollados ha sido más fuerte durante la segunda mitad del siglo XX. En efecto, en 1950 seis de las ocho grandes metrópolis del mundo pertenecían a los países desarrollados.

Según el autor, sobre las 37 ciudades de más de 5 millones de habitantes censados en 1990, sólo 12 pertenecían a los países industrializados del Hemisferio Norte. Resulta sugerente señalar además que, de las 15 urbes más pobladas del mundo, 4 se localizan en América Latina (San Pablo, Ciudad de México, Buenos Aires y Río de Janeiro).

Pelletier y Delfante (2000) remarcan estas diferencias, resaltando que las ciudades del tercer mundo han conocido a partir de mediados del siglo XX un crecimiento explosivo. Durante este período las tasas de crecimiento anual han sido superiores al 3 % en casi todas las grandes metrópolis del tercer mundo, alcanzando en ciertos casos 5 o 6 %. Este ritmo de crecimiento ha comenzado a disminuir a partir de 1980. La Figura 3.1 ilustra esta evolución sobre ciudades de Europa y de América.

Del punto de vista demográfico el crecimiento de las ciudades de los países emergentes y subdesarrollados del mundo es debido a dos factores:

1. Sostenido aumento del crecimiento natural de su población;
2. Fuerte inmigración provocada por el éxodo rural.

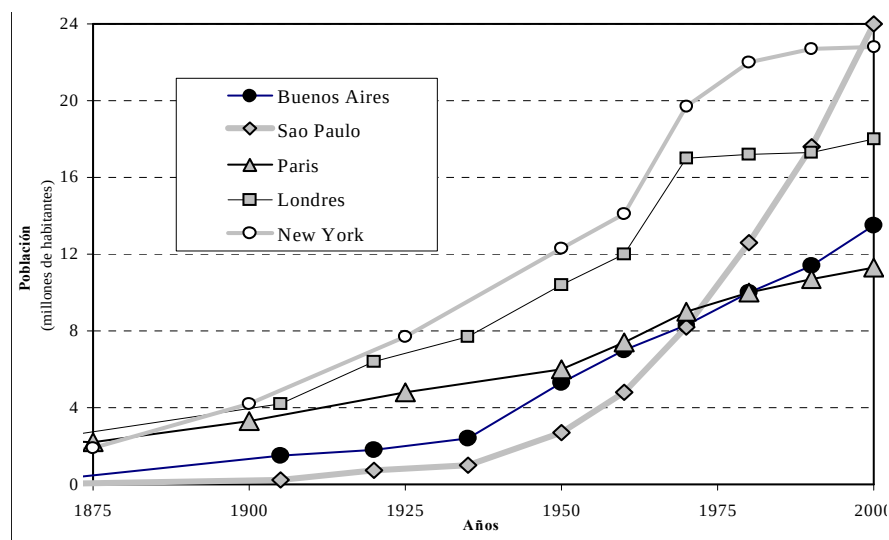


Figura 3.1. Evolución de la población de grandes metrópolis de Europa y de América. (Fuentes: Guglielmo, 1996 ; INDEC, 1999).

El aumento del crecimiento natural se debe a una baja en la mortalidad y a una reducción muy lenta de la mortalidad. Guglielmo (1996) destaca el resultado de este proceso: la juventud de la población de las ciudades es también una característica de los países subdesarrollados. Por el contrario, como lo refleja la Tabla 3.3, en las ciudades del Hemisferio Norte el crecimiento demográfico es débil. La Figura 3.2 permite observar la evolución de la población urbana en varios países de América del Sur, donde se advierte el claro proceso de expansión de las aglomeraciones urbanas.

3.3 - Tendencias de migración hacia las periferias de las ciudades

En todos los casos el crecimiento demográfico de las ciudades es acompañado de una extensión espacial. Actualmente existe una tendencia general a la disminución de la población en los centros de las ciudades. La industria no es más el principal factor de crecimiento de las ciudades, particularmente en las grandes metrópolis.

Tabla 3.3. Índices demográficos de países de América y de Europa.

Continente	País	Superficie [Km ²]	Población x 10 ⁶ [Hab.]	Densidad de Población [hab./km ²]	Tasa de Crecimiento Anual	Población Urbana [%]
América	Argentina	2.791.810	35,4	12,67	1,79	90
	Venezuela	912050	21,2	23,24	1,87	87
	Chile	756950	13,9	18,36	1,2	86
	Brasil	8.457.000	159,2	18,83	2,29	79
	E.Unidos	9.159.000	262,8	28,70	1,21	76
	México	1958200	88,543	45,22	1,90	75
	Colombia	1138910	36,33	31,90	1,66	74
Europa	Francia	550	58,0	105,54	0,26	75
	Reino Unido	242	58,5	242,0	0,33	89
	Alemania	349	81,7	234,0	0,72	87

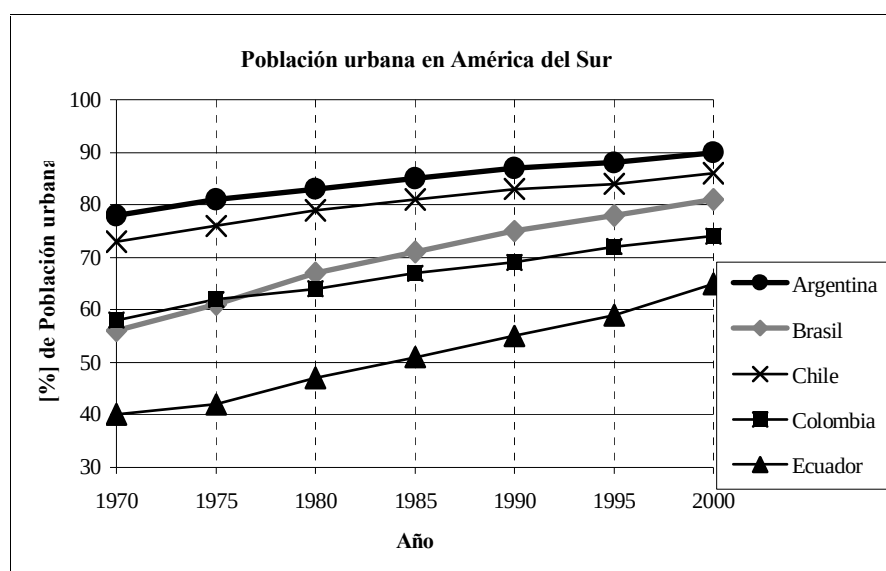


Figura 3.2. Evolución de la población urbana en América del Sur (período 1970-2000).
(Fuente: World Development Indicators. World Bank, 1998).

A nivel mundial la primera causa de la baja del empleo industrial sobre el conjunto de las ciudades es la política de descentralización industrial, que concierne a casi todas las metrópolis del mundo. Hacia inicios de los años 90 las grandes metrópolis de América Latina han igualmente adoptado una política de descentralización industrial. Este proceso se realiza a expensas de la urbanización de las áreas periféricas de estas ciudades.

Las principales actividades en las ciudades son ligadas actualmente a las comunicaciones, a los mercados económicos y financieros y a los servicios; en los países del Hemisferio Norte también a los polos tecnológicos. Para las grandes metrópolis, los parámetros de su potencialidad están asociadas a la inserción en una red mundial de comunicaciones. Paradójicamente, durante la última década estas actividades han contribuido a reducir la mano de obra.

En los países de América Latina, el aumento de los barrios periféricos y las ciudades satélites es evidente. La fractura entre los barrios ricos y las regiones marginales pobres tiende a agravarse de año en año. Los barrios de las regiones marginales más pobres son de carácter desordenado, con construcciones no reglamentadas. En la mayoría de los casos son barrios no integrados o sub-integrados desde el punto de vista socio-económico, con carencia de sistemas de servicios urbanos colectivos.

3.4 - Aspectos del proceso de urbanización en Argentina

Argentina está compuesta por 23 provincias y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Con una población de 37 millones de habitantes (según censo de 2001) es un país escasamente poblado. La densidad poblacional promedio es de 13 hab/km². Una de sus características más marcada es su alta concentración de población urbana, que supera al 89 % de la población total. El crecimiento más reciente de su población es lento (estimado en el año 2002 igual a 1,4 % anual) como consecuencia de la baja tasa bruta de natalidad (19,8 ‰) y de la disminución de las migraciones.

En la conformación territorial de la población tres factores han influenciado de manera preponderante: (i) migraciones externas; (ii) migraciones internas y (iii) crecimiento vegetativo diferencial. Hasta 1950 el factor predominante estuvo constituido por las migraciones externas.

Entre 1950 y 1970, fueron las migraciones internas quienes marcaron la conformación territorial de la población. Entre 1970 y 1980 se observó una disminución de las migraciones internas y un aumento del crecimiento vegetativo de la población. En la Figura 3.3 se observa la distribución geográfica actual de la población. Conforme fue ilustrado previamente, la concentración de esta población en áreas urbanas es una de las características marcantes del país.

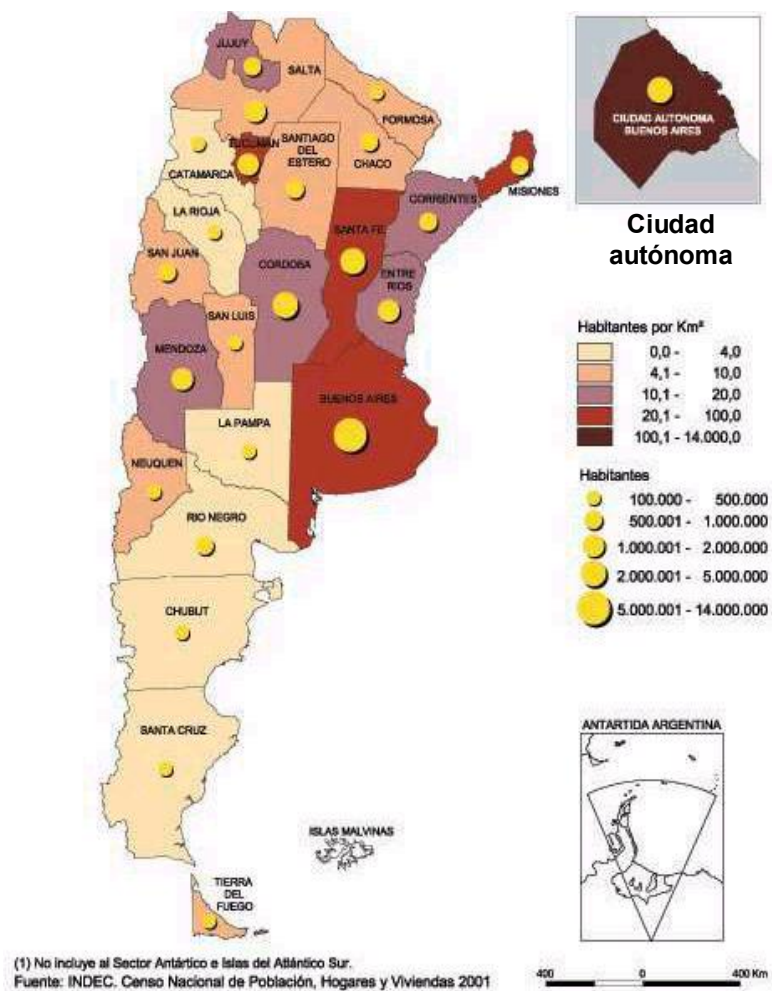


Figura 3.3. Distribución geográfica de la población argentina
(Fuente: INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2001)

En 1950 la población urbana alcanzaba al 62 %; en 1980 alcanzó el 82%. Según BIRF (1999), en 1997 el 89 % de sus habitantes residían en localidades urbanas y más del 50 % de esta población residía en aglomerados de más de 500 mil habitantes. Estos porcentajes evidencian la tendencia al despoblamiento del campo en beneficio de los centros urbanos.

Las grandes concentraciones urbanas como el Area Metropolitana de Buenos Aires, el Gran Córdoba y el Gran Rosario, reflejan un estancamiento de su crecimiento a partir del proceso de desindustrialización y la consecuente disminución de su fuerza atractiva como áreas preferenciales de los flujos migratorios, que hoy se orientan hacia otros puntos, en particular a las capitales provinciales y ciudades intermedias (Guitarrá de Maguitman, 1993).

En los últimos años la densidad demográfica media ha aumentado hasta alcanzar los 13 hab/km², mostrando una tendencia leve al equilibrio a expensas de las áreas más pobladas (BIRF, 1999).

En el proceso de urbanización argentino de las últimas décadas existen dos aspectos que merecen destacarse:

- (a) La preponderancia de la ciudad de Buenos Aires y su región metropolitana sobre el resto del país, y
- (b) El crecimiento y la multiplicación de las ciudades intermedias, localizadas mayormente en la región central del país.

El conjunto de estas características contribuye al alto porcentaje que caracteriza a la población urbana argentina.

- (a) – *Preponderancia de la ciudad de Buenos Aires y de su región metropolitana:*

Buenos Aires y su conurbano (17 partidos que conforman el denominado “Conurbano Bonaerense”) concentra una población que se aproxima a 12,5 millones de habitantes, diez veces superior a las poblaciones de Rosario y de Córdoba (las dos ciudades que le siguen en términos de concentración urbana). La región de más alta densidad es obviamente el área metropolitana que comprende a la Ciudad de Buenos Aires, en donde por cada kilómetro cuadrado hay casi 15.000 habitantes.

El Conurbano Bonaerense alberga al 24,5% de la población del país y al 63,3% de la provincia de Buenos Aires. Si se lo considera en conjunto con la ciudad de Buenos Aires, concentra el 41% de la población total del país, con una densidad media de población de 2.165,6 hab/km², conformando la tercer aglomeración urbana de Latinoamérica. La misma posee un efecto dominante sobre todo el país.

El fenómeno supera incluso la concentración observada en otras regiones del mundo (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Peso de las grandes metrópolis en la población urbana y la población total de cada país, para el año 1990.

Ciudad	Porcentaje sobre la población urbana del país	Porcentaje sobre la población total del país
Buenos Aires (Argentina)	41	36
Seul (Corea del Sur)	35	26
México (México)	33	24
El Cairo (Egipto)	39	17
Tokio (Japón)	19	15
París (Francia)	21	15
Manila (Filipinas)	29	14
Londres (Reino Unido)	14	13
Bruxelas (Bélgica)	10	10
Lagos (Nigeria)	23	8

(Fuente: World Bank Indicators, 1995).

Ya antes de su desarrollo industrial la capital argentina ha ejercido una fuerte influencia en la región. El contacto permanente con los países europeos y de condiciones económicas favorables explican el desarrollo de la mayor parte de sus infraestructuras, que coinciden con aquello ocurrido en los países desarrollados: en 1913 ya existían en Buenos Aires redes de subterráneos, de tranvías y de ferrocarriles metropolitanos. Durante las primeras décadas del siglo XX la ciudad tuvo la influencia de arquitectos franceses que le dieron su fisonomía de ciudad de estilo *haussmanniano*, con importantes boulevares y avenidas.

Buenos Aires produce actualmente el 26% del PBI del país. Su PBI supera actualmente aquellos de Paraguay y de Uruguay reunidos y se asemeja al de Chile (*Clarín*, 27-7-2000). A partir de 1985 la aglomeración de Buenos Aires ha conocido una disminución en su ritmo de expansión urbana, sin que ello implique la pérdida de su rol protagónico. Esta situación se refleja en el hecho de ser el sector de la construcción aquel que menos contribuye actualmente al PBI de la ciudad (3,2%).

En la Figura 3.4, se observa la expansión geográfica de Buenos Aires y de su entorno. Actualmente la densidad media de población en la capital argentina es de 150 hab/ha y las zonas verdes alcanzan a 0,6 m²/hab contra los 15 m²/hab recomendados por la Organización Mundial de la Salud (*Clarín*, 23-09-00).

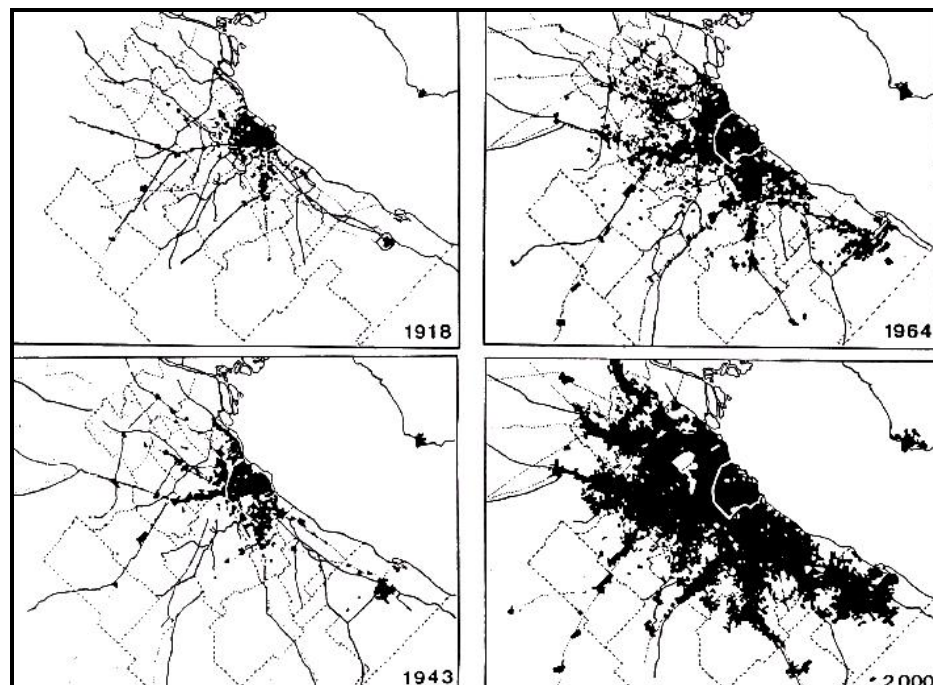


Figura 3.4. Crecimiento de Buenos Aires y del conurbano bonaerense.
(Fuente: Guglielmo, 1996).

El proceso de "tercerización" de la Capital Federal queda evidenciado si se compara el tránsito de personas desde la periferia a las áreas centrales: de las 70 mil personas/día de 1980 ha ascendido a la preocupante cifra de más de 800 mil que diariamente ingresan y egresan de la ciudad con un sistema de transporte cada vez más exigido.

(b) – Crecimiento y multiplicación de las ciudades intermedias:

El desarrollo de las ciudades de tamaño intermedio se debe a dos fenómenos diferentes: (i) la disminución del éxodo desde el interior hacia

Buenos Aires y el conurbano bonaerense y (ii) la disminución de la población concentrada en torno a pequeñas ciudades del interior. La disminución del ritmo de crecimiento de Buenos Aires es el resultado de su pérdida de capacidad de absorción de mano de obra, fundamentalmente en el sector industrial. Por otro lado, la disminución de la población diseminada o agrupada en las pequeñas ciudades del interior se debe al éxodo rural. Este proceso es el resultado de dificultades económicas en las actividades agro-industriales regionales. La Figura 3.5 ilustra acerca de las tendencias antes citadas.

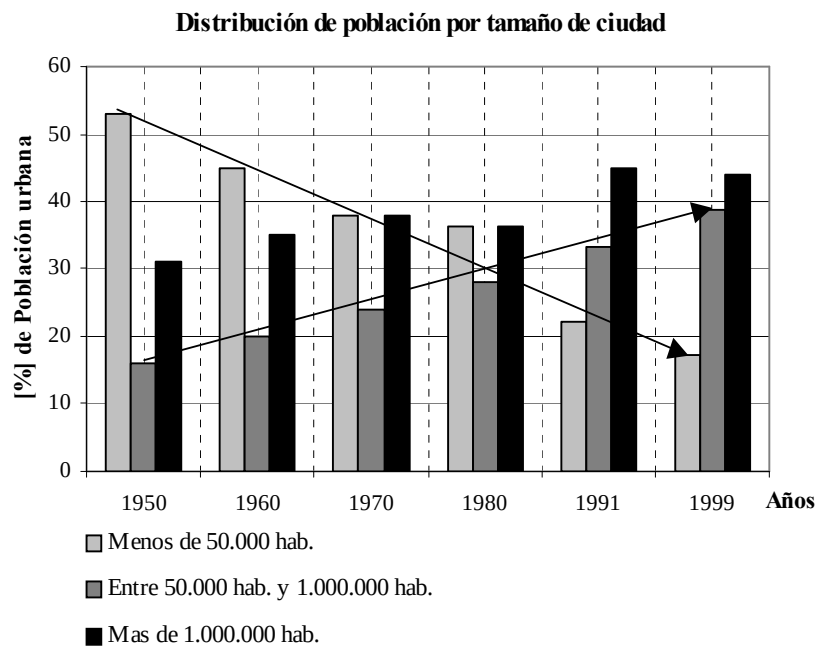


Figura 3.5. Tendencia del proceso de urbanización argentino a partir de la segunda mitad del siglo XX. (Fuentes de datos: Bertoncello et al., 1997; INDEC, 2001).

Se observa el sostenido incremento de la población en las ciudades intermedias. El mismo resulta a expensas de un fuerte decrecimiento de la población en ciudades pequeñas, como también del menor crecimiento de las principales metrópolis del país (Buenos Aires, Rosario y Córdoba).

Desde el punto de vista geográfico este proceso presenta cierta heterogeneidad, con mayor concentración de ciudades intermedias en la región central del país (Figura 3.6).

Esta heterogeneidad se opone, por ejemplo, a la homogeneidad típica de algunos países europeos como Francia. Como consecuencia de estos dos aspectos que caracterizan al sistema urbano argentino de los últimos años, las condiciones de vida de la población urbana presentan también algunos indicadores heterogéneos. En Buenos Aires, la totalidad de las viviendas poseen servicios de agua potable y cloacas. La proporción cae al 68 % cuando se incluye a los 17 *partidos* del conurbano bonaerense. En el resto del país las redes de saneamiento urbano alcanzan al 55% de la población.

3.5 - Aspectos urbanísticos de las ciudades argentinas

Aún cuando todas las ciudades del mundo son diferentes entre sí, existen características que permiten tipificar sus aspectos urbanísticos fundamentales. Para tal fin Pelletier y Delfante (2000) proponen como criterio considerar tres ítems fundamentales:

1. El cuadro geográfico de la ciudad, esquematizado por las nociones de “situación” y de “sitio” (ideas asociadas a las escalas regional y local respectivamente).
2. La distribución en planta (o plano) de la ciudad .
3. El relieve (o paisaje urbano) creado por la misma ciudad.

La situación y los sitios de una gran parte de las ciudades argentinas reflejan una interacción muy estrecha entre el proceso de asentamiento urbano y las redes hidrográficas del país. En efecto, los cursos de agua han sido en muchos casos el nexo fundamental para el emplazamiento de las ciudades en sus márgenes, fundamentalmente de aquellas creadas durante la colonización europea.

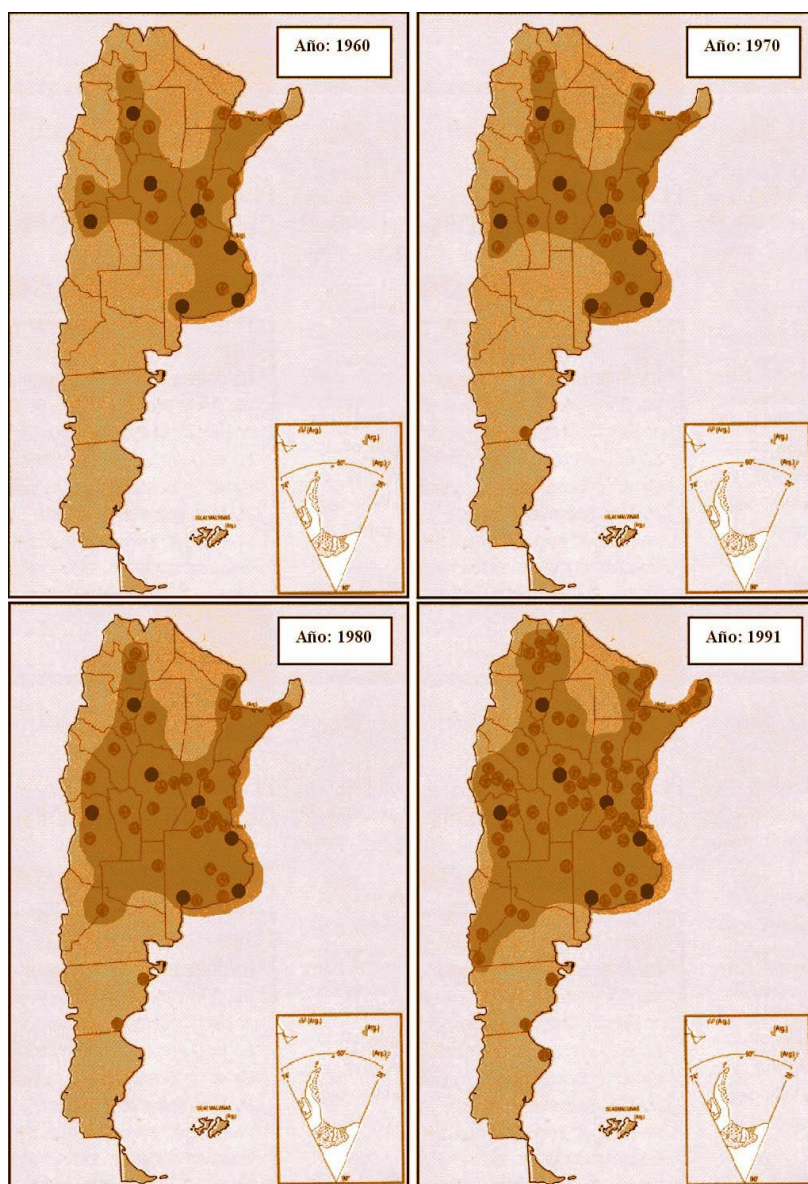


Figura 3.6. Evolución de la distribución geográfica de las ciudades intermedias y grandes en Argentina (período 1950-1995).
(Fuente: Ciccolella et al., 1995)

Con el paso de los años la relación hidrografía-urbanismo se ha ido transformando de manera radical. En efecto, como consecuencia de la

expansión urbana sin planificación y de la débil conciencia ambientalista el concepto de "*ciudades que se desarrollan a la vera de los cursos de agua*" se transformó hacia el de "*cursos de agua que atraviesan las ciudades*".

Esta concepción errónea ligada a la urbanización se explica por diversas falencias que involucra, además de las apuntadas, a la especulación inmobiliaria, a fallas de formación de los profesionales urbanistas y a los permanentes problemas socio-económicos de la población. Ello explica la instalación de barrios en zonas naturalmente inundables, hecho típico de diversas localidades argentinas y que atañe a barrios de diferentes estratos socio-económicos, fundamentalmente humildes.

En lo que respecta a los planos de las ciudades, en Argentina la característica general ha sido la adopción de tramas regulares (rectangulares o cuadradas), típicas de las ciudades coloniales y de influencia europea.

Finalmente, en cuanto al "*relieve*" o "*paisaje*" urbano, existen dos tendencias básicas en función del tamaño de las ciudades en Argentina: para las áreas comerciales y centrales de las ciudades grandes e intermedias el esquema urbano presenta un fuerte desarrollo vertical. En las zonas restantes de estas ciudades así como también para aquellas de menor tamaño el esquema sigue fundamentalmente un desarrollo horizontal. En la mayoría de los casos las construcciones apareadas constituyen también una característica típica, particularmente en los barrios más viejos.

La Figura 3.7, presentada por Pelletier y Delfante (2000), caracteriza a los paisajes típicos de las ciudades (norte)americanas y europeas y se adapta a las dos tendencias observadas en Argentina.

3.6 - Evolución del drenaje urbano en Argentina

3.6.1 - Introducción

A lo largo de la historia la hidrología y el drenaje de medios urbanos han pasado por diferentes etapas. En efecto, desde sus orígenes el proceso de urbanización debió hacer frente a graves problemas epidemiológicos resultantes de la concentración de la población. Ello explica la concepción *sanitarista* inicial de la hidrología urbana.

Desbordes (1987) identifica tres períodos esenciales de la hidrología urbana en los países desarrollados:

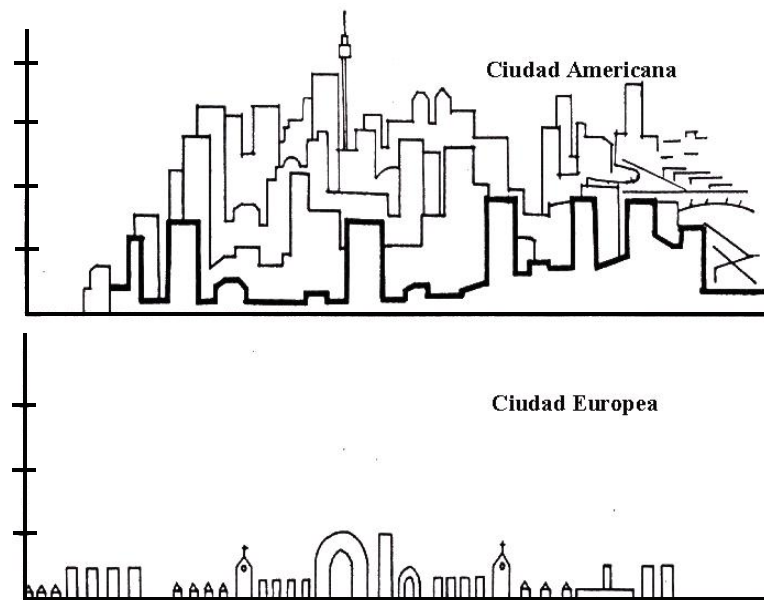


Figura 3.7. "Paisajes" urbanos típicos (Fuente: Pelletier y Delfante, 2000).

- Una etapa inicial ligada al concepto *sanitarista* del drenaje de las ciudades.
- Una etapa transitoria caracterizada por la racionalización del cálculo hidrológico-hidráulico y la normatización de estudios y proyectos.
- La etapa actual ligada al enfoque científico y ambientalista del drenaje urbano.

Según Lopes da Silveira (1998), las características de las dos primeras etapas han facilitado la transferencia tanto de los métodos de cálculo como de la concepción de obras desde los países desarrollados hacia los países más pobres. Siendo una antigua colonia europea, Argentina ha recibido desde la segunda mitad del siglo XIX la influencia del progreso registrado en los países desarrollados. De manera sorprendente, el país inició su etapa *sanitarista* con un retardo muy reducido en relación a Europa, sobretodo si se considera la distancia y la calidad de las comunicaciones de la época. A lo largo del siglo XX este defasaje temporal lamentablemente se ha tornando cada vez mayor.

La situación Argentina actual es el resultado de una mezcla de acciones no coordinadas, donde coexisten algunos objetivos inalcanzados de la etapa de normatización de los cálculos y de esfuerzos, mayormente aislados, que se inscriben en la tercera etapa del enfoque científico y ambientalista.

3.6.2 - Etapas del drenaje pluvial urbano en Argentina

Es difícil afirmar si Argentina ha accedido efectivamente a las tres etapas identificadas por Desbordes (1987) para los países industrializados. La deficiencia más importante está asociada a la tercera etapa, concerniente al enfoque científico y ambientalista. Entre otras causas, la falta crucial de datos hidrológicos en áreas urbanas ha conducido a una limitación notable de los progresos de las investigaciones científicas en el país. La Figura 3.8 ilustra acerca de la evolución de la población en Argentina e identifica los períodos que se asociarían a las principales etapas históricas del drenaje urbano.

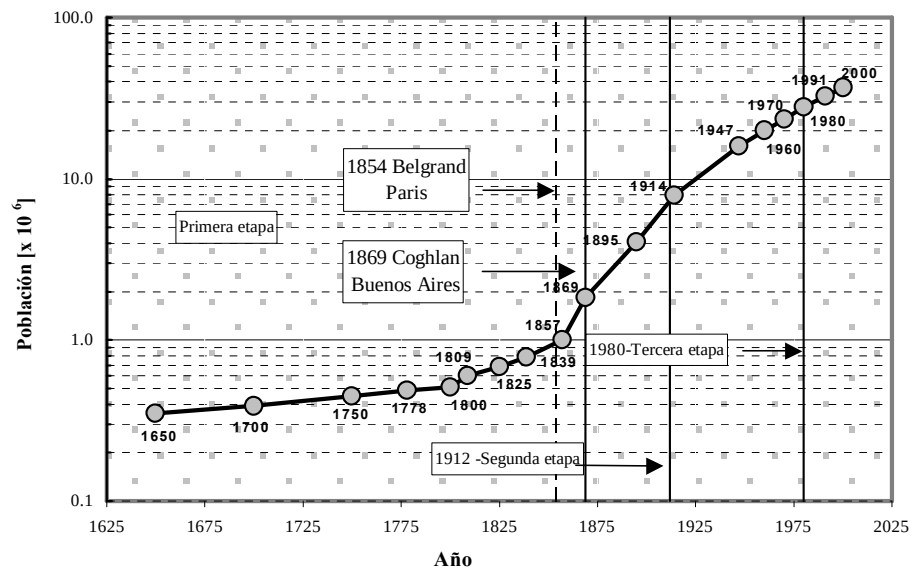


Figura 3.8. Evolución de la población e identificación de las etapas históricas del drenaje urbano en Argentina. (Fuente: Bertoni y Chevallier, 2001).

A continuación se analiza la secuencia de acciones que desde 1850 han contribuido al avance del drenaje urbano en el país siguiendo para ello el esquema de las tres fases antes citadas.

- Etapa del concepto sanitarista:

La primera red "moderna" de drenaje urbano fue construida en Hamburgo, en 1843, en ocasión de la reconstrucción de la ciudad luego de un gran incendio (Chocat, 1997a). En Buenos Aires la primer persona en difundir hacia 1830 los primeros ensayos de la idea sanitarista fue el ingeniero italiano Carlos Pellegrini. El mismo propuso en 1853 la construcción de obras de captación desde el río de la Plata (Figura 3.9). Radovanovic y Tartarini (1999) destacan que en aquella época Buenos Aires era una ciudad sucia, de calles estrechas, con pocos jardines públicos y con frecuentes problemas epidemiológicos (Foto 3.1).

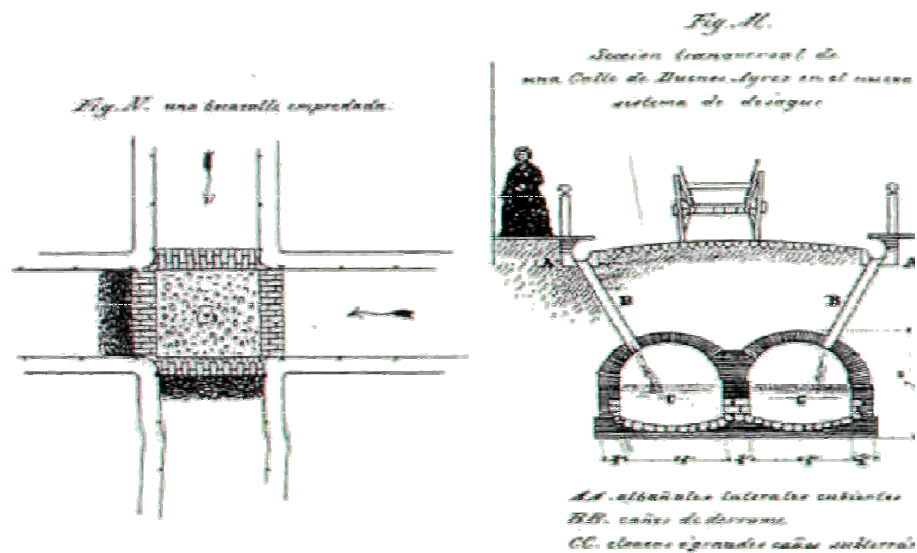


Figura 3.9. Primeros proyectos de obras de drenaje pluvial en el año 1853 en Buenos Aires
 (Fuente: Radovanovic y Tartarini, 1999).

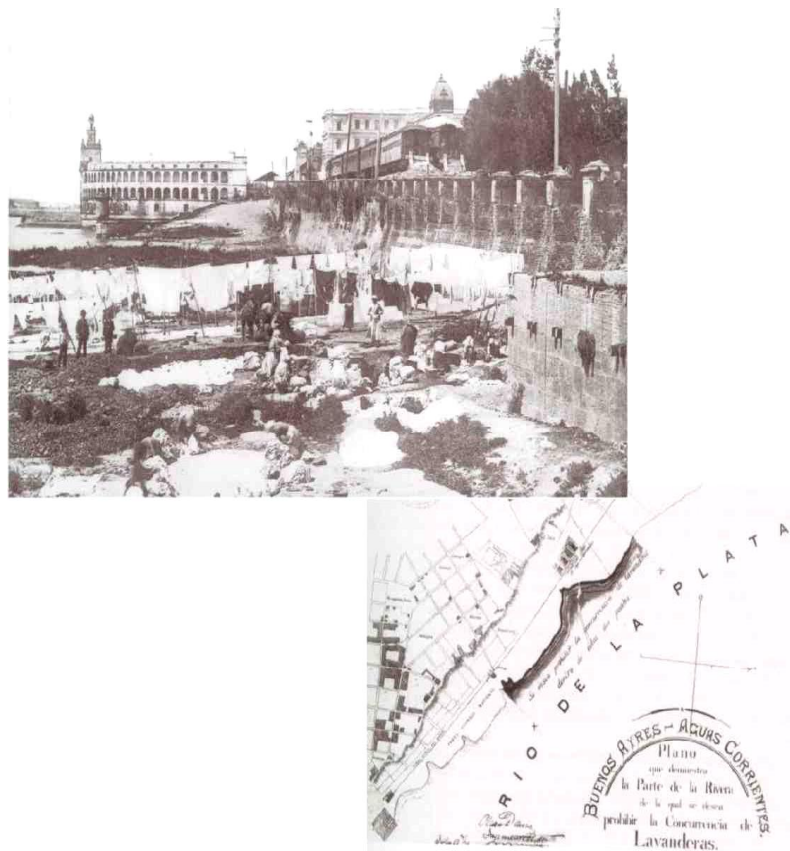


Foto 3.1. Primeras medidas sanitarias adoptadas para proteger las fuentes de agua en el Río de la Plata, luego de una epidemia de cólera, en 1867 (prohibición del lavado de ropas en las márgenes, sector próximo a la actual Casa Rosada)..
(Fuente : Radovanovic y Tartarini, 1999).

En los inicios de la segunda mitad del siglo XIX fue el ingeniero francés Eugène Belgrand quien creó en París el concepto del drenaje moderno. Chocat (1997b) destaca que Belgrand inició en 1854 la construcción de aproximadamente 400 km de alcantarillado sanitario de concepción totalmente novedosa. Para ello, él mismo desarrolló los materiales y las técnicas de explotación y mantenimiento. El nuevo sistema implicaba el escurrimiento conjunto (unitario) de las aguas pluviales y de las aguas negras.

Designado por la expresión francesa "*tout à l'égout*", este método continuo de circulación ocupó rápidamente un espacio en toda Europa.

Bajo la supervisión del Ing. Joseph Bazalgette las obras correspondientes a este concepto fueron realizadas en Londres entre los años 1859 y 1873.

En Buenos Aires el Ing. Sourdeaux presenta en 1861 el primer plan general de alcantarillado pluvial de la capital argentina. Este Plan no comprendía, sin embargo, más que la colecta y el transporte de las aguas de origen pluvial pues su creador no consideró prioritario la evacuación de las aguas servidas y remitió esta obra para el futuro (Radovanovic y Tartarini, 1999). En 1867 el cólera provocó el pánico en la población de Buenos Aires. Este evento fue fundamental para la incitación a los estudios definitivos de carácter sanitarista que habían sido defendidos algunos años antes por Carlos Pellegrini.

En 1869 el ingeniero inglés John Coghlan presenta el primer proyecto de drenaje urbano de la ciudad de Buenos Aires; él se inspiró en los modelos "unitarios" implantados en las principales ciudades europeas. El proyecto proponía el aprovisionamiento de agua filtrada, la construcción de un sistema de alcantarillado y la pavimentación de las calles.

El plan original incluía la colecta de las materias fecales y también de las aguas usadas y pluviales hacia conductos contruídos a lo largo de las calles, con su utilización posterior para riego. El proyecto consideraba que los excesos de origen pluvial serían desviados hacia los arroyos y ríos más cercanos (Buenos Aires, 1869). Esta vasta red subterránea era completada por canales y bocas de tormentas que permitirían la captación del agua de lluvia (a razón de dos en todas las intersecciones de las calles), como así también de cámaras de inspección que permitirían la inspección y ventilación de los conductos (Foto 3.2). Ya en aquella época el destino final de los efluentes era motivo de fuertes discusiones técnicas (Radovanovic y Tartarini, 1999).

En 1871 el ingeniero inglés John Bateman amplía la zona servida y define las descargas finales hacia el río de la Plata. En 1872 se crea la Oficina Meteorológica Argentina, una de las primeras del mundo, que más tarde se transformaría en el Servicio Meteorológico Nacional.

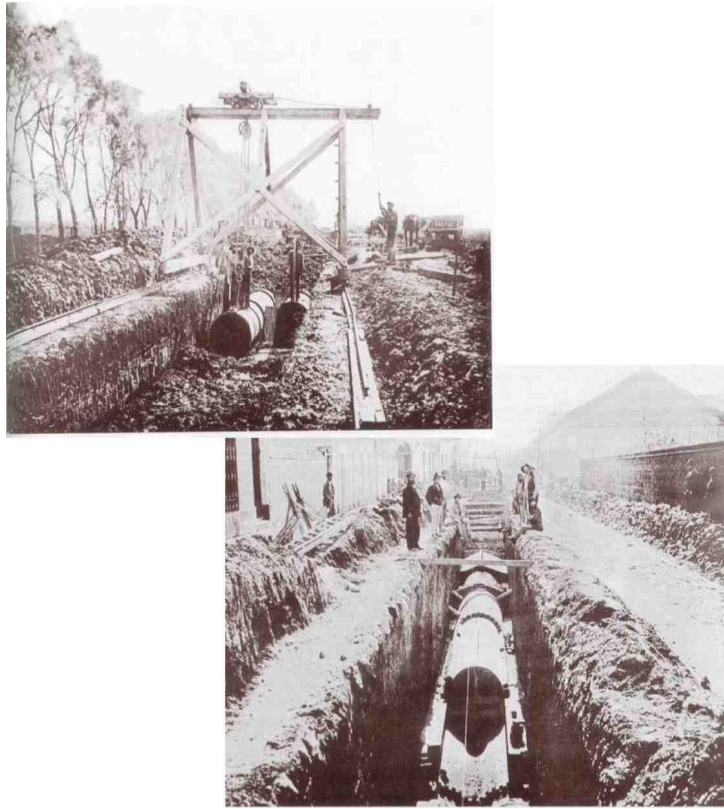


Foto 3.2. Trabajos en la ciudad de Buenos Aires, en el año 1884; *sistema unitario* (Fuente: Radovanovic y Tartarini, 1999).

Daniele (2001) cita que en 1888 la ciudad de Rosario concede los servicios de drenaje a empresas privadas (Consolidated Waterwork Company of Rosario y Rosario Drainage Company Ltd). La concesión incluye los servicios de agua, cloacas y desagües pluviales. Se ejecutan 13 túneles. Las obras (sistema unitario, del radio antiguo) fueron parcialmente habilitadas en 1899.

Los problemas derivados de la expansión espacial de Buenos Aires y de la insuficiencia de su red de alcantarillado se hacen sentir rápidamente: por un lado la ciudad recibe una gran cantidad de inmigrantes y por otro lado sufre con los retardos en la construcción de las obras. El plan Bateman, concebido para 400.000 habitantes es concluido recién en 1905, mediante la participación del Ing. Guillermo

Villanueva. En ese entonces la ciudad ya contaba con 1.000.000 de habitantes. Los problemas asociados al crecimiento de la ciudad continuarían incrementándose con el tiempo.

El cambio de concepción del sistema "*unitario*" al sistema "*separativo*" se instaló definitivamente en Buenos Aires en 1908, con la aprobación de la ley que preveía las reglas de alcantarillado para toda la extensión del territorio federal. Las mismas fueron redactadas por el Ing. Agustín González y contemplaron una población para la ciudad de 6.000.000 de habitantes. Las aguas de lluvia ya no serían captadas hacia los conductos cloacales sino que se redireccionarían por el sistema de cordón-cuneta y conductos específicos hacia el río de la Plata o sus afluentes más cercanos (Vela Huergo, 1937). Diversos materiales necesarios para la construcción de las obras fueron importados de Londres y de Nueva York. Los principales objetivos del plan de 1908 fueron recién alcanzados en 1922.

Dentro de las acciones encaradas por la Dirección General de Obras de Salubridad de la Nación se proyectan en 1904 los primeros desagües pluviales para la ciudad de Córdoba. Los mismos contaron también con la dirección del Ing. Agustín González y se ejecutaron según cuatro ramales principales con descargas al río Primero (actual río Suquía). Los proyectos contemplaron conductos circulares de hormigón de 0.50 a 0.90 m de diámetro y modelos especiales (bóvedas) para las secciones de mayores dimensiones.

- *Etapas de "racionalización" de los cálculos y de "normatización" de los estudios y proyectos:*

La creación en 1912 de Obras Sanitarias de la Nación (OSN) constituye el primer paso hacia la racionalización de los cálculos y la normatización de los proyectos de drenaje urbano en todo el país. Este organismo del Estado coordinó en forma efectiva los proyectos y las obras de drenaje urbano hasta la década de los años 60. Entre los grandes proyectos fundadores cabe destacar el de 1923, dirigido por el ingeniero Antonio Paitoví, quien previó la extensión y generalización de los servicios de aprovisionamiento de agua y cloacas para Buenos Aires, incluyendo un proyecto de desagües pluviales para todo el municipio (OSN, 1924).

En 1924 el Ing. Paitoví dirige también el proyecto de saneamiento pluvial de la región central de la ciudad de Córdoba, extendiendo la red inicial hacia las actuales avenidas San Juan e Hipólito Yrigoyen. En 1929 OSN desarrolla para Córdoba el proyecto de ampliación de los

sumideros existentes en la región central de las redes existentes. Desde entonces y en forma paulatina las obras de drenaje urbano se fueron desarrollando en las restantes ciudades del interior del país.

En 1930 se concluyen en Rosario las obras del sistema unitario del radio antiguo, que siguen en servicio en la actualidad. En 1924 Rosario contaba con 356.000 habitantes. El 80 % de la población contaba ya con servicios de desagüe. A partir de entonces la ciudad se expande significativamente y comienza a sufrir con las insuficiencias del servicio. El Municipio ejecuta obras en los barrios, para paliar el déficit. En 1948 se firma el convenio de venta entre las compañías concesionarias y la Administración General de OSN. Desde allí OSN se hace cargo de los desagües pluvio-cloacales dentro del radio antiguo, pero no asume compromisos respecto de los demás sectores de la ciudad.

A pesar de la existencia desde 1872 de la Oficina Meteorológica Argentina, la utilización de la información pluviográfica a través de curvas intensidad-duración-frecuencia (i-d-f) sólo se concreta varias décadas después. En efecto, todo pareciera indicar que en la década de los años 40 se adopta en el país el enfoque “razonado” de la Fórmula Racional. Los trabajos de los ingenieros Inglese (1940) y Soubie (1940) son testimonios de esa etapa. El primero aconsejaba la utilización de las curvas i-d-f, aunque lo hacía empleando la base de datos de la ciudad de Louis-Ville (Kentucky-USA). El segundo utilizaba el Método Racional con un coeficiente de escurrimiento constante igual a 0,50 combinado a una lluvia de 60mm/h durante 30 min. Estos parámetros fueron empleados para dimensionar las obras de drenaje pluvial de Buenos Aires.

El trabajo de Agostini (1942), que implicó la determinación de la relación intensidad-duración ligada a los caudales máximos de Buenos Aires, parece ser uno de los primeros donde el concepto de tiempo de concentración (asociado al Método Racional) fue llevado en consideración. El mismo fue estimado como la relación entre la longitud del canal principal de la cuenca y una velocidad media definida mediante ponderación de las distintas partes del sistema de drenaje.

Lopes da Silveira (1996) describe para la misma época la puesta en marcha de la Fórmula Racional en Brasil. Las condiciones de aplicación del Método Racional mejoraron progresivamente sobre las ciudades brasileñas en base a un fuerte esfuerzo encarado desde 1957 por el Ing. Otto Pfafstetter, del Departamento Nacional de Obras de Saneamiento de Brasil (DNOS). En contrapartida, el retardo en el tratamiento y

difusión de las curvas i-d-f correspondientes al territorio argentino fomentan la utilización de la Fórmula Racional a partir de la extrapolación geográfica de los valores de intensidad de lluvia. A falta de datos hidrológicos esta extrapolación se torna abusiva y contribuye además para generar otro exceso: el uso de la fórmula Racional se extiende a las estimaciones de caudales correspondientes a cuencas hidrográficas de varias decenas de km².

En Rosario OSN elabora en 1960 el proyecto ejecutivo del Emisario Sur, que cubre con los requerimientos del sector ubicado inmediatamente al Sur del radio antiguo. El mismo año, la municipalidad encomienda al Ing. León Miglierini, la elaboración de un estudio integral del saneamiento pluvial. La versión inicial del Plan Integral (1961), asumía las instalaciones del radio antiguo y del flamante proyecto del Emisario Sur, y proponía otros 10 emisarios, conforme la delimitación de cuencas derivada de los estudios. El Plan propiciaba la adopción del sistema separativo. Se priorizaron las respuestas correspondientes a los emisarios 1, 9 y 10. La municipalidad inicia la ejecución del Emisario Sur en 1961, del emisario 10 en 1968 y del emisario 9 en 1971.

OSN mantuvo la uniformidad de criterios en todo el país hasta fines de la década de los años 60. A partir de entonces los problemas económicos del país redujeron progresivamente el accionar e influencia de OSN. En 1969 OSN transfirió las instalaciones de desagües pluviales de la ciudad de Córdoba al municipio. Un proceso similar se siguió en otras ciudades. Los municipios comenzaron así con la iniciativa de resolver por sí mismos sus problemas de drenaje urbano. Se siguió en todos los casos el concepto "*separativo*", dado que el mismo ofrecía costos de ejecución más bajos.

Aislados y con técnicos de formación profesional muy variable, los municipios resolvieron sus problemas sin tener en cuenta el impacto sobre el medio ambiente más allá de sus límites territoriales. Las administraciones provinciales y nacionales generalmente no fueron asociadas a la discusión de los problemas. En todos los casos imperó el proceso repetitivo de aplicación del concepto *sanitarista* de evacuación rápida de las aguas de lluvia.

Según Chocat (1997a y b), los países desarrollados han experimentado también hasta la mitad de los años 70 los problemas derivados del crecimiento de la urbanización y de la utilización sistemática del concepto *sanitarista*. Sin embargo, los frecuentes desbordes de las redes impuso la puesta en marcha de un nuevo

concepto para la gestión del drenaje pluvial urbano. Este último, calificado por el grupo *Eurydice 92* (Chocat, 1997 b) de "*hidráulico*", posee como objetivo el retardo del flujo a fin de reducir la magnitud de los caudales de punta del escurrimiento superficial. En Francia, la "*Instrucción Técnica Interministerial*" de 1977, que es ejemplo de la existencia de una política nacional en materia de planificación y drenaje urbano, propuso por primera vez una alternativa a la red de conductos: *los reservorios reguladores y retardadores de flujo*. En Argentina este concepto *hidráulico* opuesto al concepto *sanitarista* tradicional iniciaría su difusión quince años más tarde.

Después de la mitad de la década de los años 70 se registran en el país los primeros intentos en la aplicación de algunos modelos matemáticos hidrológicos, sobretodo en cuencas rurales. Este proceso se desarrolla con un desfase muy reducido en relación a los países desarrollados (más específicamente, en relación a los Estados Unidos). Progresivamente son introducidos en el país nuevos métodos, principalmente de origen norteamericano, que se extienden a la hidrología urbana. Los progresos de la informática permiten una difusión rápida de los mismos. A pesar de ello, la ausencia de datos hidrológicos impide la realización de una validación y/o adaptación a las condiciones locales. En consecuencia, tampoco se genera una reflexión técnica sobre eventuales modificaciones.

- *La etapa del enfoque científico y ambientalista del drenaje urbano:*

En los países desarrollados esta etapa es caracterizada por el vigor de la conciencia ambientalista. En consecuencia de ello se intensifican:

1. Los estudios de modelación matemática que tienen por objetivo cuantificar los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua.
2. Los aspectos ligados a la calidad del conjunto de desechos urbanos.
3. El desarrollo de técnicas alternativas.
4. Los aspectos legales relativos al escurrimiento pluvial en los documentos de urbanismo. La mayor parte de estos estudios se basan en un desarrollo destacado de la metrología hidrológica e hidráulica en áreas urbanas.

En Argentina se están difundiendo poco a poco ideas innovadoras en relación al manejo del drenaje pluvial. Las mismas se basan fundamentalmente en el empleo de medidas estructurales y no estructurales que tienden a minimizar el impacto hidrológico de la urbanización.

En lo que respecta a las obras de amortiguación basadas en el concepto de reservorios de retención, los estudios se han multiplicado en diversos centros urbanos a partir de 1992. Entre las ciudades argentinas pioneras en la aplicación de estas técnicas de retención se destaca Córdoba. En esta ciudad desde 1993 se están encarando obras de amortiguación y retardo ligadas a plazas y paseos. También se ha incorporado la exigencia de minimizar el impacto hidrológico por la impermeabilización del suelo urbano a industrias y comercios de grandes dimensiones. Por su parte, la ciudad de Rafaela ha avanzado en esta concepción adquiriendo terrenos urbanos susceptibles de inundación con el fin de desarrollar obras de regulación del flujo.

Sin embargo, cabe resaltar que cuando se propone este tipo de obras a nivel general de los loteos (captación de toda una cuenca urbana), la concreción de este tipo de obras debe enfrentar un obstáculo importante: la necesidad de expropiación de terrenos en el marco de una política inmobiliaria liberal no propensa a reconocer límites. A propósito de ello Guglielmo (1996) observa que: *"en Argentina la propiedad privada se transforma en un elemento sensible, máxime dentro de un contexto donde la expropiación se limita generalmente a los proyectos viales"*.

La ciudad de Buenos Aires también ha encarado dentro de su actual Plan Director de drenaje pluvial el estudio de este tipo de obras a nivel de loteos, fundamentalmente en zonas altamente urbanizadas. Secchi et al. (2001) han analizado el empleo de reservorios ligados a bocas de tormentas en las ciudades de Santa Fe y Rosario. Los autores han previsto su aplicación también en áreas pilotos de la ciudad de Buenos Aires. Depettris y Pilar (2001) han analizado el uso de medidas no estructurales para el control del aumento de las áreas impermeables de la ciudad de Resistencia. Maza y Nanía Escobar (2001) han analizado medidas para lograr la sustentabilidad hidrológica en el desarrollo urbano pedemontano próximo a Mendoza.

Todas estas acciones tienden de una u otra forma a lograr el denominado "impacto hidrológico cero" de la urbanización. Estas acciones muestran una incipiente tendencia a la aplicación de ideas innovadoras en el territorio nacional. Sin embargo, la falencia casi total de datos de tipo lluvia-caudal que penaliza a la hidrología urbana argentina ha impuesto fuertes limitaciones a las investigaciones técnico-científicas. Comparada con el panorama reinante en los países más avanzados, la situación nacional está lejos de generar condiciones para acompañar el desarrollo de técnicas y experiencias científicas que

caracteriza a la etapa actual en el mundo. Entre los esfuerzos destinados a revertir esta tendencia se destacan los trabajos realizados desde 1994 por Pedraza et al. (1997) sobre una cuenca urbana de la ciudad de Santa Fe y los encarados desde 1996 por Bertoni (2001) sobre dos cuencas urbanas de la ciudad de Rafaela (Pcia. de Santa Fe) y una tercera de la ciudad de Villa Carlos Paz (Pcia. de Córdoba).

3.7 - Caracterización general de las inundaciones urbanas en Argentina

3.7.1 - Panorama actual de las inundaciones rurales y urbanas en Argentina

De acuerdo al Banco Mundial (2000), Argentina, dentro del contexto mundial, se encuentra entre los 14 países más afectados por catástrofes de inundaciones rurales y/o urbanas, alcanzando pérdidas superiores al 1,1 % del PIB nacional.

La frecuencia de ocurrencia de afectaciones importantes por inundaciones de todo tipo es elevada, siendo superior a un evento importante cada diez años. Desde 1957 han ocurrido 12 episodios severos (uno cada cuatro años), ocasionando muertes y elevadas pérdidas en infraestructura, producción agropecuaria, bienes privados y actividades económicas.

El Banco Mundial (2000) clasificó a la inundaciones que ocurren en el territorio argentino de acuerdo a cuatro tipos básicos:

- i. en los valles de los grandes ríos (o inundaciones *ribereñas*);
- ii. en el piedemonte andino (por rápido deshielo de nieves y/o lluvias concentradas);
- iii. inundaciones relámpago ("*flash floods*") ocurridas en ciudades y zonas rurales (generadas a partir de fuertes tormentas); e
- iv. inundaciones en áreas de llanuras, generadas por fuertes tormentas y originadas a partir del inadecuado drenaje y manejo del suelo rural, incluyendo en ello el tratamiento dado a la red vial de caminos secundarios rurales.

Por su duración y grado de afectación a nivel nacional se destacan las inundaciones ribereñas ligadas a los valles de los grandes ríos del Plata, ya que en dicha región se genera más del 76 % del PIB nacional y se ubica el 70 % de la población del país. De acuerdo a lo relatado posteriormente en el capítulo respectivo, el Banco Mundial proporcionó asistencia para reparar los daños ocasionados por las crecidas de 1982-83

y 1997-98 en el Litoral y la Mesopotamia. Estas acciones fueron coordinadas a nivel nacional con las provincias involucradas por la SubUnidad Central de Coordinación para la Emergencia, SUCCE (Levit y Pérez de Odriozola, 2001).

También se destacan a nivel nacional las inundaciones ocurridas en la región central del país (Sur de las provincias de Córdoba y Santa Fe, Noroeste y Sudoeste de la provincia de Buenos Aires y Norte de la provincia de La Pampa). Estas han alcanzado niveles extraordinarios durante los últimos años húmedos, siendo el reflejo de un uso inadecuado del suelo en áreas rurales con fines agrícolas, del cambio drástico de cultivos, de la ocupación de áreas naturalmente inundables y del desarrollo de una infraestructura vial no siempre compatible con las características del escurrimiento superficial.

Siguiendo tendencias a nivel mundial, los programas que se han encarado a nivel nacional tienden a combinar las soluciones tradicionales con base en estructuras ingenieriles (medidas “estructurales”), con aquellas “no estructurales” tendientes a mejorar la convivencia de la población con el problema de las inundaciones. Tal ha sido el caso del plan encarado en la región litoral asociado a los créditos del Banco Mundial y el JEXIM (Levit y Pérez de Odriozola, 2001).

Sin embargo, pese a que a nivel internacional varios ejemplos dramáticos han demostrado la falta de efectividad de los programas basados únicamente en la implementación de medidas estructurales de control (tal como las severas inundaciones de las áreas ribereñas al río Mississippi en 1992), en la práctica en Argentina aún resta mucho para alcanzar el equilibrio y compatibilización entre medidas estructurales y no estructurales. Por ejemplo, durante la inundación catastrófica que afectó a la ciudad de Santa Fe en abril-mayo de 2003 se evidenció la falta de medidas no estructurales básicas, tales como el desarrollo de acciones relacionadas a la Gestión Local de Riesgo (GLR) y a la implementación de un Plan de Alerta Temprana ante Inundaciones. Ambas acciones poseen actualmente un notable desarrollo en países latinoamericanos de menores recursos en relación a Argentina, tales como algunos de la región Centroamericana.

3.7.2 - Inundaciones urbanas en Argentina

Las inundaciones urbanas provocan con frecuencia cada vez mayor perjuicios que aumentan sistemáticamente. A su vez, la mayor

parte de la pérdida de vidas humanas ocurridas durante inundaciones se verifican en los centros urbanos.

En el Capítulo 1 fueron identificados dos tipos básicos de inundaciones urbanas: *ribereñas* y *provocadas por el desarrollo urbano tradicional*. En Argentina cabe distinguir un tercer tipo: las inundaciones urbanas *generadas a partir de fuertes alteraciones del ambiente rural* con fines agrícolas, como también por el desarrollo de la infraestructura vial principal y secundaria. Este tipo de inundaciones afectan a centros urbanos de mediano y pequeño porte y son típicas de la región agrícola central del país. Conforme citado previamente, las mismas se evidenciaron durante el último período de años húmedos.

A continuación se identifican problemas típicos correspondientes a las diversas regiones del país. Un tratamiento más detallado de los mismos se aborda en los capítulos posteriores.

- Ciudades localizadas sobre las márgenes del río Paraná

El río Paraná constituye el mayor curso de agua que recorre el territorio argentino. Desde la época de la colonización española se asentaron junto a él diversas ciudades, varias de las cuales actualmente gravitan fuertemente sobre las actividades socio-económicas del país (Posadas, Resistencia, Corrientes, Paraná, Santa Fe y Rosario). Las precipitaciones anuales promedio en la región son del orden de 1300 mm, presentando mayor concentración sobre el semestre octubre-marzo.

En las últimas décadas la presencia del fenómeno “El Niño” ha puesto de manifiesto el conjunto de problemas existentes en las áreas urbanas. En la mayoría de ellas se han registrado inundaciones derivadas de la ocurrencia de crecidas del río Paraná, independientemente de la ocurrencia de lluvias locales. Como consecuencia, en casi todas estas ciudades se han encarado desde 1990 y hasta la fecha estudios y obras tendientes a minimizar los efectos de este tipo de inundaciones (ejecución de terraplenes de defensas, casas de bombas, etc.). Sin embargo, aún remanecen diversos problemas, fundamentalmente aquellos ligados al crecimiento urbano, a la falta de planificación urbana, a la interacción de infraestructuras diversas con los cursos fluviales y al empleo de obras de conducción como única solución al drenaje pluvial.

Conforme citado previamente, la catástrofe de la ciudad de Santa Fe ocurrida en abril-mayo de 2003, no sólo evidenció la vulnerabilidad de dicha ciudad a las inundaciones ribereñas, sino que puso de manifiesto serias falencias de planificación asociada al desarrollo de la

infraestructura vial y urbana y a la inexistencia de medidas no estructurales.

Otro ejemplo de vulnerabilidad, en este caso a las precipitaciones, lo constituye la ciudad de Resistencia. De acuerdo a Pilar y Depettris (2000), en la actualidad lluvias de 25mm en media hora producen anegamientos de calles céntricas, inclusive de las que circundan el edificio municipal. El origen de este problema tal vez se encuentre en el crecimiento explosivo, pero desordenado que sufrió la ciudad en el último cuarto de siglo. Los problemas actuales requieren, sin lugar a dudas, la elaboración de importantes obras enmarcadas en un Plan Director de Drenaje Urbano.

Sin embargo, sería muy difícil garantizar que estas costosas obras sean eficaces si no se congela la situación actual en lo que respecta al grado de impermeabilización. Con esta finalidad, de acuerdo a lo citado por Pilar y Depettris (2000), el Concejo Municipal de la ciudad de Resistencia aprobó una modificación a la Ordenanza N° 4542, donde en esta nueva Ordenanza N° 5403, introdujo dos nuevos indicadores: el FIS (factor de impermeabilización del suelo) y el FIT (factor de impermeabilización total). Además, según esta nueva ordenanza, todo proyecto nuevo de edificación, debe verificar el “impacto cero”, entendiendo en este concepto que el pico del caudal generado no se incremente con el aumento de la impermeabilidad del terreno.

- Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense

En toda la extensión del Area Metropolitana de Buenos Aires y su conurbano el paisaje natural se encuentra seriamente afectado por la mano del hombre. La morfología de la región se halla fuertemente enmascarada y en gran parte modificada por la gran urbanización, alternando las redes originales de drenaje con la canalización y entubamiento de los diversos cursos de agua. Estas alteraciones han modificado totalmente el funcionamiento natural de las cuencas hídricas superficiales. Los problemas de inundaciones urbanas se asocian a los dos tipos básicos identificados en el Capítulo 1.

Se destacan los efectos derivados de la ocupación de áreas ribereñas a ríos y arroyos y los producidos por la fuerte expansión urbana. Son importantes también los problemas derivados de la ascensión de las capas acuíferas (“freáticas”), resultantes de la combinación de efectos derivados de la extensión de las redes de agua potable, la eliminación del bombeo domiciliario del agua subterránea, la falta de redes cloacales y las características geológicas del subsuelo

regional. Estos aspectos se han tornado más evidentes en la última década como resultado del desequilibrado desarrollo de los servicios de agua potable y de alcantarillado cloacal.

Entre los problemas que provoca la existencia de un nivel freático alto se destacan: el anegamiento de las construcciones subsuperficiales, problemas en la evacuación de excretas domiciliarias, colmatación continua de los pozos absorbentes, subpresión sobre las estructuras de las construcciones, agresión de aguas salinas sobre las construcciones, deterioro de las obras de infraestructura urbana y riesgos hacia la población en lo que respecta al aumento de la probabilidad de contraer enfermedades de vehiculación hídrica (cólera, hepatitis B, diarrea, parasitosis, meningitis, etc.).

En el capítulo referido a grandes centros urbanos se abordan aspectos de esta problemática.

- Área central del país

Con excepción de Córdoba capital (1.400.000 hab), las ciudades de esta región son de mediano y pequeño porte, aunque se destaca el elevado número de ellas. La mayoría de los centros urbanos sufre la problemática de las inundaciones derivadas de las causas básicas citadas al inicio de este ítem. En esta región se han registrado importantes inundaciones urbanas derivadas de los aportes hídricos provenientes de áreas rurales aledañas. En muchos casos estos últimos se incrementaron como consecuencia del desmonte y empleo posterior de prácticas agronómicas no adaptadas a la región. También se han observado problemas de calidad del agua escurrida asociados al lavado de agroquímicos aplicados sobre los suelos agrícolas. En la ciudad de Córdoba y en otras de la región Este de la provincia de Córdoba y Oeste de la provincia de Santa Fe (Marcos Juárez, San Francisco, Rafaela, etc.) se registran, a su vez, problemas de elevación de los niveles freáticos similares a los descriptos para el caso del conurbano bonaerense. Estos problemas permanecen en los meses inmediatos posteriores al período húmedo (efecto retardado de la respuesta subterránea). En varios de estos casos el problema de ascenso de los niveles subterráneos se asocia al manejo de las cuencas hídricas rurales aledañas.

Por otro lado, durante la última década las tormentas estivales de tipo convectivo han desencadenado verdaderas catástrofes en áreas urbanas. Debido al pasaje repentino de ondas de crecidas fueron arrasados barrios ribereños de diversas poblaciones, entre ellas San Carlos Minas, La Calera y Cañada de Gómez (provincias de Córdoba y

Santa Fe respectivamente). Estos eventos han producido la pérdida de vidas humanas y daños de consideración.

- Región árida y semiárida

En toda la región árida y semiárida del país la mayoría de los conglomerados urbanos están radicados en áreas expuestas al régimen hidrológico de los escasos cursos de agua que existen.

La abrupta conformación de la topografía del pedemonte de nuestra precordillera, conjuntamente con las intensas precipitaciones convectivas en la temporada estival vuelven extremadamente peligrosas las crecidas conducidas por los cauces secos, a la vera de los cuales se desarrollan diversas infraestructuras. Los problemas derivados de la urbanización progresiva de las áreas pedemontanas es uno de los problemas más serios que enfrenta, por ejemplo, la ciudad de Mendoza, el principal centro urbano del área cordillerana argentina. Un segundo aspecto distintivo de Mendoza lo constituye el impacto negativo de la calidad del escurrimiento pluvial sobre el área cultivada aledaña. La problemática del área urbana pedemontana de Mendoza es abordada en el capítulo respectivo.

El acarreo de sedimentos desde las zonas rurales, con la consiguiente colmatación de canales y conductos, es otro de los aspectos distintivos de la mayoría de las ciudades localizadas sobre las áreas cordilleranas y serranas.

- Resto del país

En el resto del país se verifican combinaciones de los problemas citados previamente, con predominancia de inundaciones ribereñas o debidas al desarrollo urbano tradicional según las características geográficas y climáticas regionales. Por ejemplo, en la ciudad de Trelew (Pcia. del Chubut), también se registran problemas ligados al ascenso freático, la contaminación de fosas (pozos) sépticas y la inundación de áreas urbanizadas sobre las riberas del río Chubut.

Algunos aspectos de la problemática de la ciudad de Trelew y sus zonas aledañas se abordan en el capítulo respectivo.

CAPITULO 4

INUNDACIONES RIBEREÑAS EN EL TRAMO DEL PARANA MEDIO

Carlos Ubaldo Paoli

4.1 - Características de la cuenca de aporte y del tramo argentino

La cuenca del Plata posee una superficie de 3.100.000 km², siendo la quinta en el mundo por su dimensión. Su área de aporte es aproximadamente un tercio del área total de los EEUU y casi igual al área de todos los países que componen la Unión Europea. Esta cuenca integra gran parte del territorio de Brasil, Argentina, Bolivia y Uruguay, en tanto el territorio de Paraguay está completamente incluido en ella (Figura 4.1).

Los tres ríos principales que la conforman, el Paraná (4.352 km), el Paraguay (2.459 km) y el Uruguay (1.600 km) se encuentran entre los más extensos del globo. Los tres poseen un régimen que difiere sustancialmente del de sus afluentes, no sólo por su magnitud sino también por sus características propias.

Los derrames de estos tres ríos en territorio argentino, están gobernados por los aportes que se producen aguas arriba, fuera del territorio nacional, hecho que indica la relativa incidencia de los afluentes en la conformación del escurrimiento de los mismos. La génesis de sus aportes indican que las lluvias que se producen en las cuencas de aporte del Alto Paraná, río Iguazú y río Paraguay, son las causantes directas de los derrames en los tramos medios e inferior, presentando una baja incidencia los aportes propios de dichos tramos.

Esto se debe fundamentalmente al régimen de precipitaciones en los tramos medio e inferior, con fuerte decrecimiento de Este a Oeste, y a la menor escorrentía, característica de zonas llanas. Las isohietas anuales en el área de aportes al Paraná - aguas de abajo de la confluencia con el río Paraguay - se encuentran comprendidas entre 700-1.200 mm/año, en tanto en territorio brasileño alcanzan valores entre 1.400-1.800 mm y en parte de la cuenca del río Iguazú las precipitaciones superan los 2.400 mm/año.

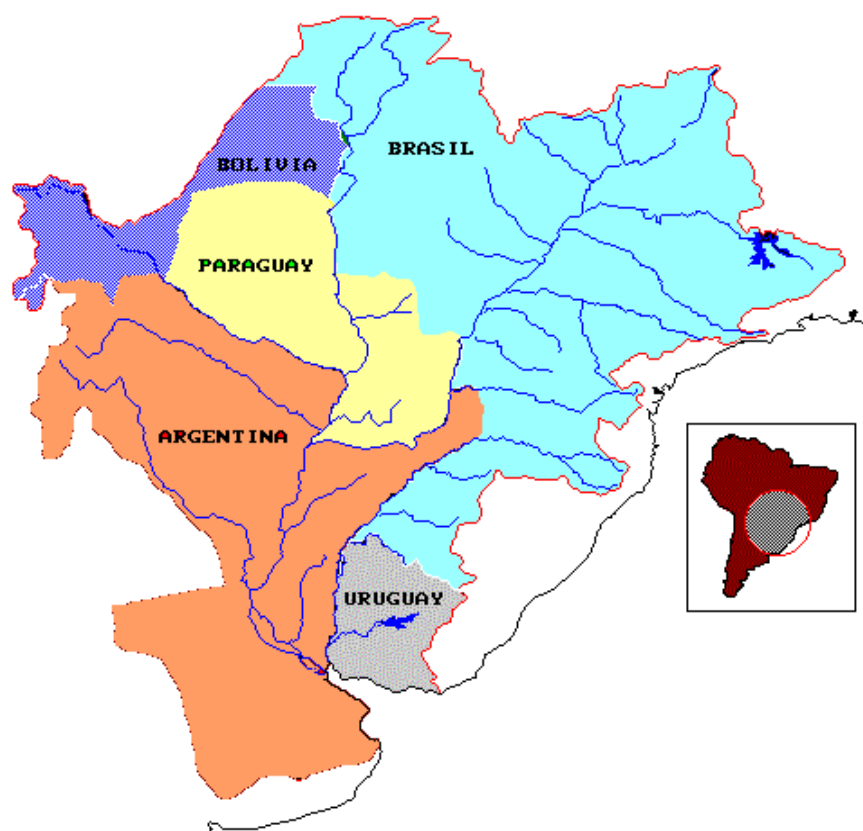


Figura 4.1. Cuenca del Plata
(Fuente: www.ina.gov.ar)

A título indicativo, la Tabla 4.1 revela el contraste que presentan los caudales específicos del curso principal del río Paraná y los ríos Paraguay e Iguazú en relación a los aportes laterales entre Corrientes y Rosario.

De dichas magnitudes se desprende que la conformación de los aportes que ingresan a territorio argentino están dadas por los del propio río Paraná en territorio brasileño y los del río Iguazú.

Tabla 4.1. Caudales específicos del río Paraná y de sus afluentes.

Cuenca	Estación	Áreas de aportes (km ²)	Q específicos (lts/s-km ²)
Paraná	Posadas	933.360	13
Paraná	Corrientes	1.950.000	9
Iguazú	Capanema	64.430	21
Paraguay	P. Bermejo	1.100.000	3.5
Aportes margen derecha	S Fe-Chaco	366.862	1
Aportes margen izquierda	Ctes- E. Ríos	77.887	6

Estas características se hacen aún más notorias en situaciones de grandes crecidas, donde la incidencia de los tributarios como aporte al caudal pico es aún menor. No obstante, la concurrencia de crecidas propias de éstos afluentes con la correspondiente al curso principal puede influir en la onda de crecida de éste último, explicando variaciones de alturas adicionales a la propagación sin aportes laterales.

Por otra parte la concurrencia de situaciones extremas en el curso principal y afluente tiene sí una enorme influencia sobre este último, provocando una curva de remanso que según los casos pueden tener una incidencia decisiva en las áreas inundables ribereñas.

Los aportes provenientes de la margen izquierda del Paraná en las provincias de Corrientes y Entre Ríos presentan divisorias bien definidas que permiten identificar y evaluar en forma separada los aportes hídricos superficiales. Los aportes de margen derecha en las provincias de Chaco y Santa Fe, presentan en muchos casos, divisorias indefinidas a nivel de subcuencas, con particularidades en la dinámica según el estado hídrico de las mismas.

En estado de aguas bajas existe un escurrimiento con un grado de independencia muy distinto al de aguas altas en que se produce la interconexión de áreas de aportes. Las áreas de aporte por cada margen son de 80.000 y 370.000 km² respectivamente.

4.2 - Características generales del régimen hidrológico del río Paraná

El río Paraná en Corrientes tiene un módulo de 17.000 m³/s, producto de los aportes del propio Paraná y el río Paraguay. A partir de la confluencia con este último y en todo el tramo medio incorpora un área de 445.000 km², en tanto los aportes en términos de caudales anuales medidos y estimados son del orden de 1.000 m³/s. Los máximos absolutos registrados son del orden de 60.000 m³/s, es decir 3,5 veces el módulo. De estos valores de caudales, 466 m³/s corresponden a los aportes medios de margen izquierda cuya superficie es de 78.000 km² y 326 m³/s a los derrames medidos de margen derecha cuya superficie es de 367.000 km².

Esta asimetría es producto de las características físicas diferenciadas que presentan las áreas de aportes de ambas márgenes. En términos de caudales específicos, por el Paraná en Posadas escurren 13 lts/s-km², en tanto en todo el tramo los aportes de margen derecha e izquierda son de 6 y 1 lts/s-km² respectivamente.

Es evidente que el régimen del Paraná es gobernado por los aportes provenientes aguas arriba ya que en todo el tramo los afluentes laterales incrementan solo un 5 % el caudal total.

Los caudales medios anuales para el período 1905-97 muestran, a partir de los años 1971/72, una secuencia de valores con magnitudes superiores a la media histórica. Ello se manifiesta tanto en el Río Paraná como Paraguay. El módulo para el período 1971/72-96/97 en relación al módulo de toda la serie presenta un incremento en términos de caudales entre 15 y 24 %. Considerando las series de caudales anuales de las estaciones Corrientes, Túnel y Timbúes sobre el río Paraná y Bermejo en el Paraguay, a partir del año 1971 se inicia un período en que en la mayoría de los años se registran valores con magnitudes superior a la media de la serie. Ello resulta claramente visible de analizar los caudales cronológicos anuales, las medias deslizantes y medias móviles. En dichos análisis se observa la tendencia incremental positiva de la media a partir de 1971 con un brusco salto en 1983, año en que se produjo una crecida extraordinaria. En todas las estaciones se evidencia una simetría en los cambios y tendencias. La magnitud de los cambios en el periodo 1971-97 en relación a la serie total es del orden del 15-20 %.

4.3 - Régimen de crecidas del río Paraná

La diversidad de características fisiográficas, hidrometeorológicas e hidrográficas existentes en la cuenca aguas arriba de Corrientes, hacen conveniente realizar una breve interpretación del funcionamiento de las principales subcuencas a los efectos de obtener una mejor comprensión de los procesos de crecidas. La subcuenca del Paraná Superior donde las áreas de aportes de los ríos Paranaíba, Grande y Paranapanema son las mayores tiene, hasta recibir los aportes del río Iguazú, una superficie de unos 900.000 km² y tiene gran influencia en el volumen y duración de las crecidas. Las precipitaciones se concentran por lo general en el período estival y a principios de otoño originando las crecidas de los meses de febrero y marzo. La subcuenca del río Iguazú con una superficie de 64.000 km², tiene características propias muy importantes en el desarrollo de las crecidas, ya que recibe precipitaciones significativas y con distribución prácticamente uniforme a lo largo del año sobre un relieve acentuado. Este hecho provoca crecidas menos voluminosas que las originadas en el Paraná Superior, pero muy importantes desde el punto de vista de los caudales pico, pudiendo superponerse con otros aportes importantes de la cuenca.

A las subcuencas mencionadas es necesario adicionar los aportes de la subcuenca del río Paraguay que, aunque posee gran tamaño (1.115.000 km²), presenta crecidas con características diferentes en relación a las del río Paraná propiamente dicho. Esto se debe a que en su cuenca alta se encuentra una gran zona deprimida, denominada "El Pantanal", que actúa como amortiguador natural de los derrames. Las precipitaciones son algo inferiores a las del Paraná Superior, de concentración estival, pero debido a la acción amortiguadora enunciada las crecidas presentan retardos y se extienden en el tiempo; o sea, presenta menores caudales pico dentro de un hidrograma aplanado. Los máximos se producen generalmente en invierno.

El 46% de los picos que superan los 25.000 m³/s se han presentado en los meses de febrero y marzo. Muy similar es también el porcentaje de crecidas que superan los 30.000 m³/s para este bimestre. En el trimestre mayo-junio-julio se presentan un 23% de los picos, la mitad de ellos específicamente en junio. En cuanto a la forma, se producen dos tipos de crecidas que podrían diferenciarse:

- A:** Aquellas de subida relativamente rápida, empuntadas, generalmente con un pico importante y de corta o media duración, aún cuando se hayan presentado picos precedentes.
- B:** Aquellas de mayor volumen y duración, con subidas más lentas, con uno o más picos importantes que se presentan sucesivamente.

Además ambas pueden presentarse con el pico máximo en febrero-marzo o en el trimestre mayo-junio-julio, por lo que en muchos casos es imposible realizar una separación de las mismas.

En relación a las posibles modificaciones que estaría sufriendo el régimen del río, la simple observación cronológica de los caudales máximos anuales muestra una tendencia a la aparición de montos relativamente mayores en los últimos 25 o 35 años (Figura 4.2), indicando un aumento de la frecuencia con que determinados valores son alcanzados o superados.

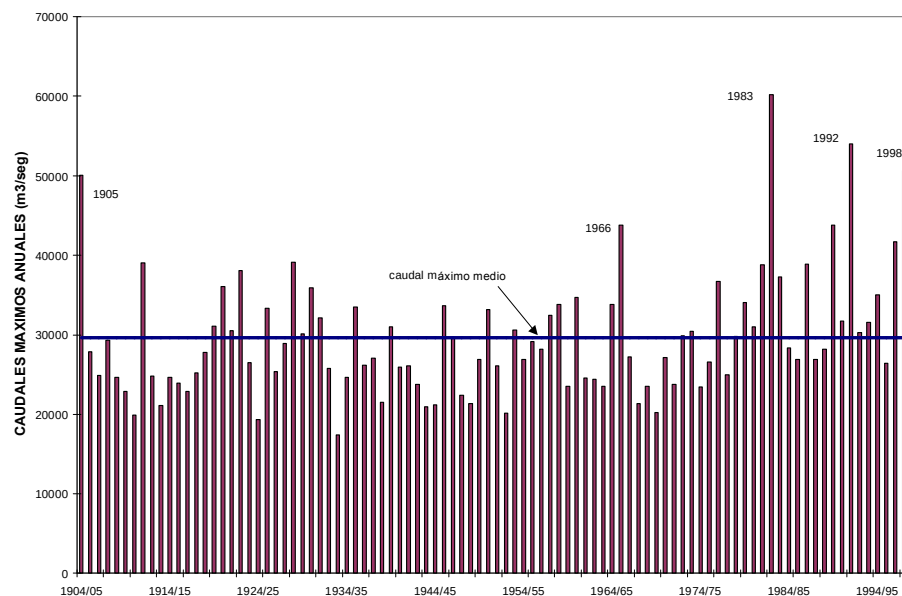


Figura 4.2. Caudales máximos anuales del río Paraná en la Estación Corrientes.

En el trabajo de Halcrow & Partners (1994), en su capítulo referido a hidrología y específicamente en el denominado "La no estacionalidad de la incidencia y la severidad de las crecidas en la Cuenca

del Plata ", hace referencia al estudio del Banco Mundial (Anderson et al., 1993) donde se pone de manifiesto que la incidencia y la severidad están en aumento.

En el mismo se indica que: *"a partir de la década del '60, ocurrieron por lo menos tres cambios importantes que podrían haber afectado la hidrometeorología de la cuenca:*

cambios en el uso de la tierra, en especial la deforestación, que pudieron haber aumentado los niveles de escurrimiento.

desarrollo hidroeléctrico, principalmente en el Alto Paraná en Brasil, que provocó una mayor regulación y un régimen de caudales bajos más alto.

las precipitaciones durante la estación húmeda, que han sido más altas por lo menos desde 1960, y nos hacen suponer que los cambios climáticos pueden estar inducidos por el hombre".

Anderson y otros llegaron a las siguientes conclusiones:

las inundaciones fueron más frecuentes y más severas en la segunda mitad de este siglo, y mucho más a partir de entre 1960 y 1970.

en el mismo período, los caudales bajos extremos han sido menos frecuentes y menos agudos.

el derrame anual total aumentó y la distribución estacional cambió.

las variaciones pluviales son las mayores responsables de los cambios en los caudales y en las inundaciones.

los cambios en la distribución estacional de los caudales también parecen estar relacionados con los cambios en el régimen pluvial, además del impacto del almacenamiento aguas arriba que afecta el régimen de caudales bajos.

no se encontró ninguna evidencia, ni estadística ni de otro tipo, de que los cambios en el uso de la tierra hayan influido significativamente en el aumento de la incidencia y la severidad de las crecidas.

En el trabajo de Halcrow & Partners (1994), tomando información de caudales mensuales en las subcuencas anteriores y posteriores a 1960, encuentran resultados significativos del cambio producido e indica: *"Tamaño consistencia en distintos puntos dentro de semejante cuenca sólo puede justificarse por un cambio sistemático del régimen pluvial regional, tanto en cantidad total como en el patrón de estacionalidad."*

"Desde el punto de vista de las crecidas y de su ocurrencia, una consecuencia fundamental es que, en promedio, los caudales extremos partirán de caudales iniciales más altos que antes. Por lo tanto, se espera que aumenten los picos de caudal y la duración de los eventos."

Es importante destacar un elemento referido a las grandes crecidas históricas ocurridas. Se tiene en Corrientes un valor máximo de 60.200

m³/s en 1983, al cual en orden de magnitud le seguiría un valor estimado de 58.000 m³/s en 1812, luego el valor de 54.000 m³/s en 1992 y el de 1998 con un valor de 50.600, similar a los 52.000 m³/s estimados para 1858, apenas mayores a los valores de 1905 y de 1878. Si bien los valores de vieja data no han sido medidos en forma directa, permiten tener una clara idea de la magnitud de la crecida.

Analizando estos resultados se debe destacar que la magnitud de las crecidas registradas en los últimos años no es excepcional, pero sí debe destacarse el aumento en la frecuencia de aparición de los caudales extremos, a partir aproximadamente de 1960.

También dentro de este contexto resulta muy interesante el trabajo de Tucci (1997), donde se indica que los principales desarrollos e impactos ambientales en la cuenca del Plata han sido:

- Desarrollos de reservorios con finalidades de producción energética en el Alto Paraná (entre 1960 - 1990).
- Deforestación en las cuencas (desde 1950).
- Introducción de prácticas de agricultura intensiva luego de 1970.
- Desarrollos urbanos.
- Navegación y conservación del Alto Paraguay.

Asimismo se destaca nuevamente que las series hidrológicas de precipitación y caudales han mostrado incrementos a partir de 1970.

Como ya se expresara, en una cuenca de este tamaño, las características hidrológicas varían de subcuenca a subcuenca. En el Alto Paraná, aguas arriba de la llegada del Río Iguazú, Tucci indica que el principal hecho hidrológico es el cambio en el uso del suelo, de selva natural a suelos arables para producción de soja. Este hecho se ve claramente en el Parque Nacional Iguazú en Argentina (en estado casi natural) y el límite del sector protegido brasileiro, a partir del cual se observa una importante producción agrícola.

Como otro ejemplo de evolución de la deforestación en el Estado de Paraná en Brasil indica una cobertura de vegetación autóctona del 83 % en 1890, llegándose luego de 100 años a valores de tan sólo 15%.

Las principales conclusiones del trabajo de Tucci (1997) son:

- Hay un incremento en los caudales en las cuencas del Paraná y Alto Paraguay .
- La precipitación y los cambios en el uso del suelo son las principales causas de este incremento.

- No hay evaluación ni respuesta cuantitativa de la influencia de cada factor.

Respecto a las represas para generación hidroeléctrica, la capacidad total de la cuenca del Plata está estimada en 92.000 MW, estando el 53% actualmente explotado o en construcción, siendo las principales áreas de explotación el Alto Paraná y el río Uruguay.

En muchas ocasiones se intentó "culpar" a estas obras de las inundaciones registradas aguas abajo, muchas veces desconociendo su funcionamiento. Dada la primordial función que en la práctica tales obras tienen (generación hidroeléctrica), existe la tendencia a que los operadores de las mismas pretendan tenerlas permanentemente "llenas", evitando en lo posible el derrame por vertedero (lo cual suele verse como pérdida económica). De por sí, la capacidad de almacenamiento del vaso de las mismas es pequeña comparado con el volumen de una crecida, y teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, la capacidad de laminación de los picos de crecida ha sido muy baja.

4.4 - Eventos históricos del río Paraná y sus impactos

Uno de los primeros análisis del proceso de crecida del río Paraná data de 1906 y se refiere a la Gran Creciente de 1905, siendo su autor el Ing. Oscar Wahlquist. En el mismo se comparan las oscilaciones de nivel en Asunción, Posadas, Corrientes, La Paz, Paraná y Baradero, indicando además el área de afectación a lo largo de todo el valle en escala 1:200.000 y de las ciudades de Santa Fe y Goya.

Se indica que en el Alto Paraná superior, la crecida se desarrolló con gran rapidez, bajando de la misma forma y resultando más baja que la de 1878 y algo inferior a la de 1891. En el río Paraguay la creciente superó a las anteriores conocidas y la misma situación se produjo desde Corrientes hacia aguas abajo.

El relevamiento efectuado indicó que 26.760 Km² se habían inundado a lo largo del valle de los ríos Paraguay y Paraná. La tercera parte de la ciudad de Santa Fe estuvo varios días bajo agua al igual que casi la mitad de la ciudad de Goya, mientras que Resistencia se salvó por la acción de los habitantes que construyeron rápidamente terraplenes, lo que evitó el avance de las aguas (se estima que las partes más altas del pueblo se hubieran cubierto con 20 cm de agua).

Posteriormente a dicha fecha se efectuaron numerosos estudios e informes en los que se trataba el régimen de crecidas de los ríos Paraná y Paraguay, entre ellos se destacan, por el tratamiento amplio y extensivo y por el análisis de impactos, los siguientes:

Trabajo encargado en 1979 por la Entidad Binacional Yacyretá a la firma Motor Columbus y Asociados denominado "*Estudio de Crecidas Ríos Paraná y Paraguay*". Luego de la crecida de 1992, el Gobierno nacional a través del Ministerio del Interior implementa un programa de Emergencia por inundaciones en cuyo marco la empresa Sir William Halcrow and Partners Ltd., realiza el "*Estudio del Valle aluvial de los Ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el control de las Inundaciones*", que finaliza en 1994.

A partir de 1990 la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad del Litoral comienza una serie de estudios sobre la hidrología y régimen de crecidas del Río Paraná, cuyos principales resultados y conclusiones están volcados en el libro FICH (2000).

No quedan dudas que la crecida de 1983 es la de mayor magnitud de todas las registradas pero su importancia varía según la característica analizada, ya que según el caudal pico le correspondería una recurrencia del orden de los 68 años que se aumentaría al triple si se considera el volumen y la duración. El orden para el resto de las crecidas se modifica notoriamente según la característica analizada, resultando que la crecida de 1992, segunda por su caudal máximo de recurrencia 37 años, sólo le corresponde una recurrencia del orden de los 12 años por su volumen y duración.

En ambos márgenes del tramo medio del Río Paraná se encuentran numerosos asentamientos humanos que dan lugar a zonas más o menos localizadas que conviven con la problemática de las periódicas inundaciones que producen las crecidas del río.

4.5 - Acciones y programas encarados para mitigar los efectos de las inundaciones en la región del Paraná Medio

Posteriormente a la devastadora inundación del año 1992 el estado nacional conjuntamente con las provincias de Buenos Aires, Corrientes, Chaco, Entre Ríos, Formosa, Misiones, Santa Fe, y la ciudad de Buenos Aires y con aportes externos del Banco Mundial, y luego del JEXIM

Bank, encararon un vasto Plan de acciones para prevención y mitigación de las futuras inundaciones.

Una síntesis de las acciones realizadas y en ejecución fueron presentadas por Levit y Pérez de Odriozola en las III^o Jornadas sobre Saneamiento Pluvial Urbano realizadas en el 2001 en la ciudad de Rosario (Prov. de Santa Fe), que se transcribe a continuación:

En la primera etapa se lanzó un Proyecto de Rehabilitación de Emergencia para las Inundaciones - PREI (Préstamo 3521-AR). El objetivo principal de dicho Proyecto era satisfacer las necesidades de reconstrucción de las provincias afectadas, y también el suministro de un marco institucional efectivo para la coordinación e implementación del programa de rehabilitación con el objeto de restaurar la actividad económica normal dentro del área. Las actividades del Proyecto fueron establecidas para rehabilitar la infraestructura esencial: transporte, energía, defensas, educación y salud, vivienda, suministro de agua y desagües.

El Sistema de Alerta Hidrológico del Instituto Nacional del Agua (INA) fue equipado con hardware y software, lo mismo que las siete oficinas asignadas a contactarse con el INA en las provincias del Proyecto.

Con relación a las viviendas se concretó mediante un subprograma, en seis de las siete provincias de la cuenca, la realización de 5.500 viviendas por auto construcción.

Además de llevar a cabo dichas actividades, se comenzó la preparación de medidas a largo plazo destinadas a mejorar en el futuro la protección contra las inundaciones, y el desarrollo sostenible de la cuenca. Se realizó el ya mencionado Estudio de Regulación del Valle Aluvial de los Ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el Control de las Inundaciones. Como resultado del Estudio de Regulación se contrataron los estudios de 12 Planes Directores tendientes a proteger los bienes económicos más importantes del área, 38 planes de Protección Hídrica y Cuencas Internas, así como estudios de adecuación de puentes y Estudios de Factibilidades Técnica, Económica y Ambiental.

En función de los estudios realizados en la primera etapa, los que resultaron en un cambio de filosofía, se pudo diseñar una nueva estrategia para enfrentar la problemática de las inundaciones en la cuenca. Dicha estrategia plantea:

- (a) Mejor administración de los principales recursos naturales de la cuenca a través de una mejor coordinación de las actividades relacionadas con las inundaciones dentro y entre las provincias;
- (b) “Medidas estructurales” consistentes en inversiones a largo plazo con el fin de defender los bienes más importantes del área, reemplazando las actuales reacciones de “emergencia”; y
- (c) “Medidas no estructurales” que consisten en una combinación de actividades para “convivir con las inundaciones”, incluyendo medidas de defensa civil, mapas de riesgo, modernización del alerta hidrológico y regulación del uso del suelo.

Medidas Estructurales:

Las obras están constituidas en líneas generales por:

- Defensas con las estructuras de control y de bombeo.
- Estabilización de barrancas y defensas.
- Drenajes por conductos, canales y obras de arte.
- Puentes.

Los criterios utilizados para el diseño no son uniformes y si bien de la evaluación económica surgían en general los estándares de diseño, durante el desarrollo de los proyectos ejecutivos se han producido modificaciones que permitieron, dentro de los montos asignados, ajustar los diseños a cada uno de los emplazamientos. Para los drenajes se han utilizado recurrencias de 10, 25 y 50 años. Incluso en determinadas circunstancias como en el caso del recinto del Área Metropolitana del Gran Resistencia (Chaco) se ha diseñado la estación de bombeo y obra de paso para la estructura de cierre del río Negro para una recurrencia de 100 años. Frente a eventos recientes se está encarando la revisión de los drenajes para 100 años a los efectos de determinar los niveles de daños que se producirían frente a sucesos de esa magnitud.

La preparación del proyecto permitió disponer de proyectos por un monto de casi el doble de la disponibilidad de financiamiento; motivo por el cual se generaron dos etapas que han permitido una flexibilización adecuada en el préstamo al permitir un intercambio de las obras entre ambas etapas.

Actualmente las obras ejecutadas, en ejecución y proyectadas consisten en:

- 20 obras de defensa.
- 45 obras de drenaje.
- 9 puentes.
- 4 obras de estabilización y defensa.

Medidas No Estructurales:

El análisis innovador utilizado en este Proyecto combina los controles físicos antes mencionados en algunas áreas con medidas no estructurales en otras, a lo que se hace referencia a veces como una estrategia de “convivir con las inundaciones”. Este último análisis nace del reconocimiento internacional en crecimiento de que la vulnerabilidad a daños provocados mayormente por las inundaciones es una consecuencia de las acciones y elecciones humanas más que por actos de la naturaleza.

Con este fundamento, el criterio no estructural es una estrategia que alienta a los residentes de áreas rurales y pequeñas comunidades a adaptarse a las inundaciones, y a percibir sus beneficios cuando sea posible. Las inundaciones también pueden beneficiar ciertas áreas. Se pueden encontrar ricos depósitos de nutrientes de gran capacidad para el suelo, que son vitales para la agricultura, y también nutrientes que estimulan el desarrollo de los peces.

Las medidas no estructurales proponen:

- Romper el esquema cerrado en zona de riesgo de: inversión – daños - protección estructural - nuevas inversiones.
- Establecer un plan integrado de manejo de la llanura de inundación mediante la combinación de medidas estructurales y no estructurales.
- Restringir la ocupación de áreas inundables mediante la preparación de mapas de riesgo.
- Combinar acciones para poder “convivir con las inundaciones”, incluyendo medidas de defensa civil y de advertencias a los efectos de alcanzar un alto grado de prevención y preparación ante el desastre.
- Coordinar esfuerzos y compartir costos equitativamente entre los que se benefician económicamente con el uso de la llanura de inundación y el resto de la provincia.
- Vincular las acciones de defensa con las políticas urbanas, regionales y ambientales.
- Sancionar una Ley de Uso del Suelo en la planicie de inundación.
- Crear una Unidad Responsable de Coordinación: Defensa Civil, advertencia inundaciones, provisión medidas de seguridad, mantenimiento de instalaciones e impacto ambiental.

- Elaborar Programas de Prevención y de Defensa Civil, en áreas sin obras de defensa
- Construir 155 refugios para evacuados.
- Autoconstrucción de 5.000 Viviendas para sectores de bajos recursos.
- Implementar un nuevo Sistema de Alerta Hidrológico:
 - Instalación de una red telemétrica.
 - Desarrollo de modelos de pronósticos, locales, regionales y generales.

Asimismo se propone modernizar el sistema de alerta hidrológico del INA y los programas mediante la telemetrización de estaciones existentes y mejorando el hardware y software del sistema.

A fin de asistir a la población de aquellas áreas carentes de obras de defensa, se construye una red de refugios que estarán equipados con los elementos necesarios en caso de emergencia. Son instalaciones con múltiples propósitos que se pueden utilizar durante períodos normales como centros comunitarios, anexos de escuelas o centros deportivos. El hecho de que dichas instalaciones sean utilizadas constantemente por las comunidades en períodos normales, contribuye a asegurar su mantenimiento.

Complementando la secuencia anterior está por comenzar la preparación de un proyecto de drenaje urbano para las principales ciudades del país con el objeto de solucionar los problemas ocasionados por las intensas lluvias locales con vista a un Proyecto futuro que constituiría la Tercera Etapa.

4.6 - Las crecidas de diseño para las obras y medidas no estructurales

Las crecidas de proyecto están en directa relación con el tipo de obra o medida no estructural a diseñar, requiriéndose en ciertos casos sólo el caudal pico, en otros el hidrograma completo y en otros casos valores de permanencia o duración de crecida sobre determinados umbrales, pero frecuentemente estas características son necesarias en conjunto. Ya sea que se analice una determinada característica o más de una, en todos los casos es necesario la asignación del nivel de riesgo que corresponde a la crecida de Proyecto lo que se logra a través del Análisis de Frecuencia de valores anuales.

En forma general, para la determinación de cotas de protección de defensas, para delimitación de áreas de riesgo y para los planes de alerta se requiere el análisis de niveles máximos asociados a diferentes permanencias. Para la determinación de las dimensiones de obras de paso y de conducción se requiere el caudal máximo a conducir, pero para prever los procesos erosivos y determinar protecciones y profundidades de fundación se necesita además el hidrograma de la crecida de proyecto (duraciones de caudales determinados).

En la zona referida las medidas estructurales de control y protección de crecidas en ejecución y proyectadas consisten fundamentalmente en terraplenes marginales de defensa, obras de paso y conducción de excedentes, mientras que las medidas no estructurales se refieren a la limitación del uso de zonas de riesgo (aunque con escasa aplicación práctica) y planes de evacuación de asentamientos humanos y de ganadería de islas.

En el tramo medio del río Paraná, donde se producen las principales afectaciones por inundación, la información hidrológica disponible se refiere a:

- Caudales medios diarios en la estación Corrientes.
- Alturas diarias en numerosos puertos del tramo.

Al encarar el frecuente problema de determinar la cota de coronamiento de una obra de retención o dique de contención en un proyecto de defensas contra inundaciones, surge de inmediato la cuestión con respecto a la seguridad de protección que brindan diferentes niveles, que podrían adoptarse a partir de curvas de Daños - Probabilidad o más simplemente de las relaciones entre niveles y consecuencias de ser superado.

Como ya se ha indicado, una misma crecida puede ser de distinta importancia según la variable con que se analiza y según el tramo del río que recorre. El río Paraná, a través de su dinámica fluvial erosiona y sedimenta permanentemente dentro de su valle aluvial, modificando la forma de su sección y varía también su rugosidad por evolución y cambio de vegetación y de formas emergentes. De tal forma, la curva de gasto que trata de vincular el caudal escurrido con el nivel que se produce en la sección, además de ser no lineal, es variable temporalmente.

Para el análisis de niveles máximos, existe una dificultad adicional, puesto que el ajuste que se pueda hacer a una muestra de datos, sólo tiene en cuenta la relación nivel/sección de escurrimiento en el rango

disponible, por lo cual no es posible extrapolar fuera de este rango, donde dicha relación nivel/sección de escurrimiento puede cambiar. Por tal razón, los análisis probabilísticos de caudales y niveles máximos en una misma sección, no son totalmente correspondientes.

Es también conocido, que el nivel alcanzado en una sección debido a un determinado caudal, es permanentemente afectado por otros fenómenos como lluvia local y viento, cuya influencia debe analizarse para cada sección o tramo del río.

En el Paraná Inferior y aproximadamente desde Rosario-Victoria hacia el Sur, la influencia de las sudestadas sobre los niveles (no permanentes pero frecuentes estacionalmente) y de las mareas (permanentes - periódicas) es cada vez mayor, dando lugar a relaciones H-Q no biunívocas.

En la zona de estudio las medidas estructurales y no estructurales de control y protección de crecidas realizadas hasta el momento se han efectuado en forma aislada utilizando la característica de la crecida que parecía más apropiada para cada caso en particular. Por lo tanto, no queda totalmente explicitado cuál es el verdadero nivel de riesgo a que están sometidas.

En general se ha asumido genéricamente la protección para una crecida de recurrencia igual a 100 años, maximizada en caudales y/o niveles, sin embargo las tres últimas grandes crecidas producidas en 1983, 1992 y 1998 han alcanzado niveles máximos de afectación muy similares, a pesar de ser muy diferentes en cuanto a su caudal pico y por ende de muy diferente recurrencia teórica.

4.7 - Inundaciones generadas por el río Paraná en la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas

Una de las zonas más extensas se encuentra en la margen derecha del río en la Provincia de Santa Fe, con el área más crítica en la sección Santa Fe – Paraná. El río Paraná ha labrado con sus sucesivos desplazamientos en tiempos geológicos, un gran valle aluvial que tiene un ancho del orden de 70 km a la altura de las localidades de San Javier (Provincia de Santa Fe) y la Paz (Provincia de Entre Ríos), comprendiendo desde las actuales barrancas en el lado entrerriano, hasta cerca del trazado de la Ruta Nacional N° 11 (RN 11) en territorio

santafesino, y estrechándose hacia aguas abajo a la altura de Santa Fe – Paraná.

Dentro del mismo se encuentra el denominado valle de inundación actual, que por el lado santafesino llega hasta el llamado “albardón costero”, por donde actualmente se desarrolla la Ruta Provincial N° 1 (RP 1). El valle de inundación actual ocupado periódicamente por las aguas en sus crecidas ordinarias y de un ancho de unos 30 km aproximadamente en la sección San Javier – La Paz, se estrecha a sólo 13 km (en sentido perpendicular al sentido del escurrimiento) en la sección Santa Fe – Paraná. Recorriendo esta última sección desde Paraná hacia el Oeste, se encuentra primeramente el cauce principal del río Paraná, a continuación una zona de islas frecuentemente inundadas, luego el río Colastiné que se conforma con los aportes del río San Javier y aportes del Paraná a través de numerosos cauces laterales, posteriormente se encuentra el llamado albardón costero, que en dirección SO – NO va bordeando el valle de inundación actual propiamente dicho, separándolo de las terrazas anteriores del valle aluvial, que se ubican hacia el Oeste. En esta última zona se desarrollan las lagunas Setúbal, Leyes, Capón y otras menores, alimentadas desde el Norte por los arroyos Saladillos y desde el Este por los arroyos Leyes, Potrero, Santa Rita, otros cruces menores y numerosos lugares de transfluencia no encauzados. En forma natural y en grandes crecidas el río Paraná supera su valle de inundación actual y tiende a ocupar todo su valle aluvial y a utilizar asimismo la Setúbal para descargar su caudal.

Debido a la complejidad de este sistema para su análisis de funcionamiento hidrológico se divide en:

Subsistema Colastiné-Paraná: está comprendido de Oeste a Este entre la RP 1 y la costa entrerriana, lindando al Sur con la RN 168. Los aportes y salidas son fundamentalmente a través del río Paraná, río Colastiné y en menor grado los aliviadores sobre la RN 168. Presenta transfluencias laterales hacia el subsistema Leyes-Setubal en margen derecha.

Subsistema Leyes-Setúbal: tiene por límite la Rta. No 1 al Este, RN 168 al Sur y ciudad de Santa Fe al Oeste. Es alimentado por los arroyos Saladillos desde el Norte y por los arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita que lo vinculan con el Subsistema Colastiné. En situación de grandes crecidas esta vinculación se produce adicionalmente a través de cortes y desbordes producidos en la RP 1. La salida se produce por la sección del puente Colgante y los aliviadores de la RN 168.

Subsistema Ruta Nacional 168-Alto Verde: ubicado aguas abajo de la RN 168 y comprendido entre la margen de Santa Fe y el Río Colastiné. Es el receptor de las salidas del Subsistema Leyes-Setúbal y de los desbordes del Subsistema Colastiné-Paraná.

Para crecidas mayores a los 30.000 m³/s comienzan a manifestarse los siguientes efectos:

- Dificultad del Subsistema Paraná-Colastiné para contener la tendencia a la transfluencia de aguas en forma generalizada hacia el Subsistema Leyes-Setúbal. Esto se traduce en almacenamiento al Este de la Rta. N° 1 y concentración con alto poder erosivo en los arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita.
- Almacenamiento en el subsistema Leyes-Setúbal por restricciones, condicionamiento o déficit en las vías de salida del agua en coincidencia con la RN 168.
- Interferencia y almacenamiento por efecto de líneas de defensa en el Subsistema RN 168-Alto Verde.

La necesidad de reparar los daños producidos por las sucesivas inundaciones que acontecieron en los últimos años y prevenir y mitigar los impactos futuros, llevaron a la realización de distintos estudios aplicados, de diagnóstico, planteo, desarrollo y evaluación de alternativas de medidas estructurales y no estructurales.

- La modificación del medio natural y el impacto de las crecidas

La evolución histórica de las obras de infraestructura en la zona que fueron modificando el sistema natural y las sucesivas crecidas que se producían, han sido expuestas en los trabajos de Paoli (1985, 1994) y de los mismos se resumen los hechos más importantes que se presentan a continuación.

Sobre el medio natural se fue produciendo una progresiva ocupación, con el atractivo especial que presentan las zonas altas del albardón, "buenas tierras y buenas aguas". El asentamiento de núcleos urbanos se efectuó en los puntos más altos, pero tratando de estar siempre cerca del río. Hacia el Oeste se fue incrementando la actividad ganadera y posteriormente la agropecuaria.

El natural crecimiento de las poblaciones y de la actividad económica trajo aparejada la impostergable necesidad de su vinculación terrestre (vial y ferroviaria) con los centros más importantes. En el extremo inferior del área considerada, la existencia de las ciudades de Santa Fe y Paraná, capitales de Provincias, imponía su vinculación, cruzando el valle de inundación justamente en su tramo más estrecho.

Según lo describe Cabral (1967), hasta el año 1885 el río escurría sin impedimento e interferencia alguna, utilizando en sus crecidas toda la sección que le fuera necesaria. La comunicación con la mesopotamia era totalmente por vía fluvial. En el año 1886 se construye la primera línea del ferrocarril desde Santa Fe hasta Colastiné Norte y San José del Rincón.

Entre los años 1904 y 1910 se construye el puerto de ultramar de Santa Fe con sus dos diques y el canal de acceso, que deja por el Norte y en zona de islas un terraplén donde posteriormente se desarrollaría el asentamiento urbano de Alto Verde. Durante la gran creciente de 1905, se verificó que el nivel de las aguas llegó a menos de una cuadra de lo que hoy es la arteria principal de la ciudad de Santa Fe. Toda esta zona fue elevada conjuntamente con la construcción del puerto. En el año 1924 se construye el Puente Colgante, en la desembocadura de la laguna Setúbal.

En el año 1936 se construye el camino Santa Fe-Colastiné sobreelevando la cota del terreno natural de las islas (actual trazado de la Ruta Nacional No 168). En el año 1942 se construye el llamado camino de la costa, Ruta Provincial 1 (RP 1), desde La Guardia hacia el NE siguiendo el albardón costero. En el año 1952 se continúa el avance hacia el Oeste, con la prolongación de la Ruta Nacional 168 (RN 168).

Durante este período de progresiva ocupación del valle aluvial, se produjeron crecidas que sin llegar a ser excepcionales, mostraron que estas obras interferían el normal escurrimiento de las aguas con las consecuencias que son previsibles.

Durante las crecientes de 1959 y 1961 (caudales picos del orden de los $30.000\text{m}^3/\text{s}$), al encontrar las aguas el incipiente terraplén de la RP 1 primeramente fueron retenidas, impidiendo su paso hacia el Oeste. Como es lógico, esto produjo una sobreelevación del nivel hasta vencer la resistencia de los terraplenes, que fueron cortados en varios puntos, especialmente y por su magnitud los de la zona de El Laurel y Vuelta del Dorado. En 1963 se terminó de reconstruir la RP 1 con cotas adecuadas a la crecida de 1961 y con defensas laterales en las zonas de bajos naturales. En el año 1965 se continúa sobre islas la RN 168 hasta el Túnel Subfluvial.

La creciente de 1966, culminó en Puerto Santa Fe con una altura de 6,94 m, correspondiéndole un caudal de aproximadamente $42.000\text{m}^3/\text{s}$. La RP 1 fue sobrepasada por el nivel de las aguas en largos trechos entre las localidades de Saladero Cabral y Helvecia, entre Cayastá y Santa

Rosa y cerca de San José del Rincón, produciéndose numerosos cortes. Asimismo se produjo una fuerte erosión en el sector de margen izquierda del puente sobre el arroyo Leyes y una profundización general del lecho. Se ha estimado que en los momentos pico pasaron hacia el Oeste de la RP 1 14.600 m³/s por los arroyos Leyes y Potreros y por los cortes y rebase del camino.

El enorme volumen de agua que pasó al Subsistema Setúbal se encontró con la barrera que le significaba la RN 168 sobrepasándola en algunos tramos, y cuando se temía por la estabilidad del Puente Colgante debido a la fuerte erosión que sufría la pila de la margen izquierda, se decidió la voladura de tramos de la RP 168, para permitir una más fácil evacuación de las aguas. La costanera santafesina sufrió también grandes deterioros por el efecto erosivo de la corriente. Los incipientes asentamientos de La Guardia y Alto Verde fueron totalmente inundados.

Entre los años 1976 y 1978 se realiza la elevación del terraplén de la RN 168 entre Santa Fe y La Guardia, y la habilitación de nuevos puentes, a mayor cota, pero de luces escasas. En 1977 se produce un pico de 33.000 m³/s. También se produjeron rebasamientos y cortes en la RP 1, aunque de menor magnitud y la RN 168 que estaba siendo reconstruida a mayor cota entre Santa Fe y La Guardia, también fue afectada. Alto Verde y La Guardia se inundaron en numerosos sectores. Luego de esta crecida, las defensas de la RP 1 fueron reforzadas a nivel de la crecida de 1966 más una revancha, para que la misma “no volviera a cortarse”. La crecida 1982/83 presentó entre diciembre de 1982 y agosto de 1983, cinco picos sucesivos con un máximo de 61.100 m³/s y nivel en Puerto Santa Fe de 7,33 m. Durante ese período la RP 1 y sus defensas fueron asediadas y se comportó como dique de contención, embalsando aguas al Este de la misma que sólo podían pasar hacia el Oeste por los puentes de los arroyos Leyes y Potrero. Con el cuarto pico de crecida se produce el rebasamiento de la RP 1 en un frente de unos 8 km, estimándose que pasaron unos 2.400 m³/s. Se estima que en los momentos pico pasaban hacia el Oeste de la RP 1 caudales del orden de 15.000 m³/s, que se acumulaban en el Subsistema de la Laguna Setúbal anegando unas 180.000 has (Figura 4.3).

La salida de todo este Subsistema se producía por la sección determinada por la RN 168 entre Santa Fe y La Guardia, donde en un recorrido de aproximadamente 5 km se disponía sólo de 300 m de puente en la sección de la laguna Setúbal y 340 m distribuidos en 6 puentes aliviadores sobre la planicie de inundación.

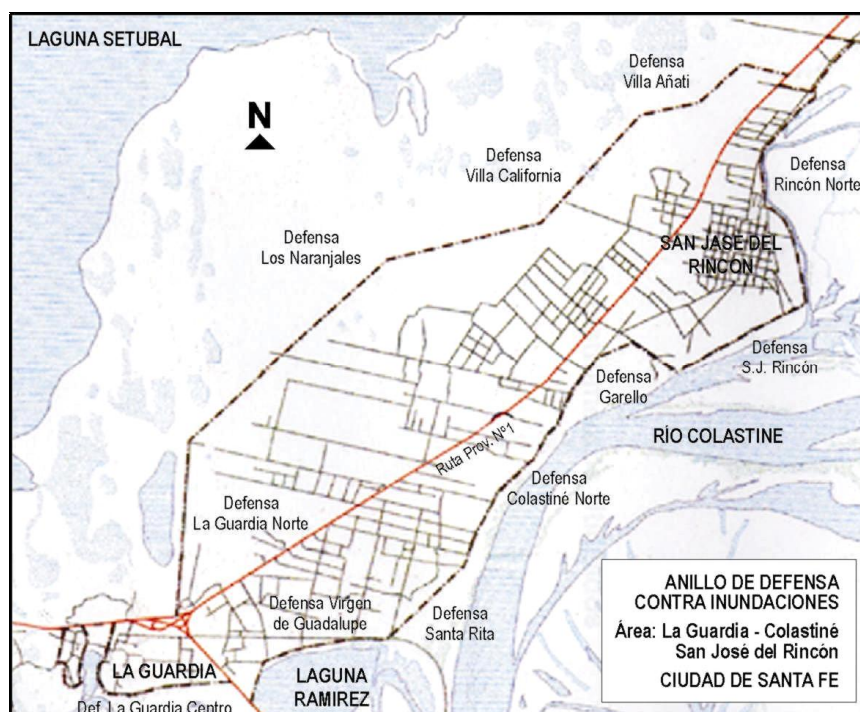


Figura 4.3. Obras de defensa para la ciudad de Santa Fe, Argentina.

La diferencia entre los caudales que ingresaban al Subsistema Setúbal y la capacidad de evacuación de la sección Santa Fe-La Guardia dio lugar a un importante efecto de embalse, con desniveles medidos entre aguas arriba y abajo de la RN 168 de hasta 70 cm. (Giacosa, 1983; Paoli, 1985). Esto produjo mayores niveles de inundación hacia aguas arriba y un aumento de las velocidades de paso cuyos principales efectos fueron:

- Una gran concentración de flujo en la sección del puente colgante, favorecida por los rellenos en la zona de El Pozo. Esto dio lugar a velocidades altamente erosivas que destruyeron la costanera santafesina y erosionaron la sección del puente colgante, cuya área de escurrimiento total aumentó casi en un 40%, hasta producir su derrumbe.
- En el tramo de los puentes aliviadores, la zona de mayor sollicitación correspondió a los puentes 4, 5 y 6. Las velocidades medias en la sección pasaron de 0,8 a 1 m/s en el pico de la

primera onda, a 2,5 – 2,6 m/s en las últimas ondas, con velocidades puntuales superiores a los 3 m/s. Esto, conjuntamente con las corrientes laterales de gran magnitud dieron lugar a procesos erosivos incontrolables que triplicaron y quintuplicaron las secciones de escurrimiento hasta provocar la caída de los puentes 4 y 6 cortando la comunicación con la mesopotamia. Con la caída de estos puentes se destruyó también la cañería de provisión de agua a la planta de tratamiento de Santa Fe y parcialmente el conducto de la cloaca máxima.

- Las defensas del barrio de viviendas del FONAVI y La Guardia fueron superadas y esta última totalmente inundada.
- En la zona de Alto Verde las defensas fueron superadas, produciéndose grandes cortes en sentido de la corriente NE - SO, que sólo dejaron emergentes algunas partes aisladas más altas.
- Luego de la crecida catastrófica de 1982/83 y a pesar de muchas reuniones realizadas y expresiones de deseos de encarar soluciones integrales, cada sector y organismo continuó o inició sus propios planes y soluciones parciales:
 - La RP 1 fue reparada y repavimentada reforzando las zonas más afectadas. Los arroyos Santa Rita, Leyes y Potreros siguieron presentando crecientes problemas de socavación en pilas y estribos al concentrarse en los mismos las posibilidades de paso de las crecidas hacia el Oeste.
 - En la RN 168 se construyeron tres nuevos puentes aliviadores con un total de 750 m de luz. Sin embargo, su eficiencia hidráulica actual es muy baja al encontrarse en zonas de planicie de inundación y no de cauces, y no disponer de canales de llamada. La zona de rellenos ubicada aguas arriba (Barrio del FONAVI, CONICET y Universidad) fueron elevados y reforzados, lo que dio lugar a una mayor concentración de flujo hacia la descarga de la Laguna Setúbal.
 - La costanera santafesina fue rellenada sin considerar protecciones especiales y en la desembocadura de la laguna Setúbal se registraba una profundización e incremento del poder erosivo. La pila izquierda del Puente Oroño debió ser fundada a mayor profundidad y se ejecutó el tratamiento y protección de la margen derecha.

- Los asentamientos suburbanos se extendieron en general, proliferando la construcción de terraplenes de protección de muy dudosa y diferentes condiciones de seguridad.
- La Cloaca Máxima permaneció ubicada aguas abajo de la RN 168.
- Se construye una defensa provisoria en la Guardia Norte, al Norte de la RN 168.

Bajo estas condiciones en 1992 se produce una nueva situación de crecida catastrófica que culmina en Santa Fe con un caudal pico de 54.000 m³/s y altura máxima de 7,43 m, nivel superior aún al máximo de 1983, a pesar del menor caudal pico.

La menor permanencia de esta crecida en sus valores máximos posibilitó un mayor éxito en la implementación de las medidas de emergencia y lucha contra la inundación. Así fue que la RP 1 fue defendida impidiendo su corte físico, aún cuando el tránsito debió ser suspendido por cuestiones de seguridad. Mientras varias de las defensas de la zona de Alto Verde, La Guardia, Colastiné y Rincón fueron sobrepasadas e inundados numerosos barrios, otras se mantuvieron sólo providencialmente. La costanera santafesina se vio fuertemente afectada con desmoronamientos y hundimientos que obligó a la clausura de una de sus manos.

Durante los años 1993 a 1996, a través del el Programa de Rehabilitación para la Emergencia de las Inundaciones (PREI) financiado por el BIRF (Banco Mundial), se proyectan y construyen numerosas defensas contra inundaciones, en el barrio FONAVI de El Pozo, en el Distrito Alto Verde y en La Guardia, además de las construidas a ambos lados de la RP1 que conforman el anillo de protección para Rincón y Colastiné Norte. Se reconstruye el acueducto Colastiné - Santa Fe y la cloaca máxima. Se reconstruye también la costanera santafesina con sistema mixto de tablestacas y conformación y protección de talud, según sectores.

En 1998 se produce una crecida cuyo caudal estimado para el pico fue del orden de los 47.000 m³/s y que alcanza en el Puerto de Santa Fe una altura máxima de 7,16 m (cota IGM 15,34), la cual resultó una prueba para las obras ejecutadas y/o en construcción. No se advirtieron afectaciones de importancia en los sitios donde se disponía de obras definitivas y consolidadas, pero nuevamente se vieron afectadas las zonas con defensas provisionales y fue muy grave la situación del puente Leyes,

mientras que las defensas provisionales de la RP 1 se mantuvieron pero con tramos críticos de alto riesgo de falla.

El conjunto de nuevas obras construidas han fijado otras restricciones y condicionantes para el manejo de las aguas, que pueden resumirse en:

- En La Guardia, un sector de las defensas perimetrales bordea la salida del aliviador N° 6.
- La cloaca máxima ha sido reconstruida a la misma cota por lo que las posibles obras de canalización deberán respetar la tapada mínima o prever protección adicional.
- En Alto Verde la defensa principal concluida (con cota de coronamiento media de 17,2 m IGM) impide todo paso del escurrimiento hacia aguas abajo hasta el denominado Corte Grande.
- En el Corte Grande se ubica un camino de vinculación que salva un tramo de aproximadamente 250 m con una cota media de 14,5 m IGM.
- Al Suroeste del Corte Grande se encuentra una serie de anillos de defensa a cota 15,5 m IGM separados por 3 "pasos" para el escurrimiento de unos 50 m de ancho cada uno, que actualmente se encuentran a cota media aproximada de 14 m IGM.

Con el conjunto de obras construidas y otras que se continúan proyectando y evaluando, se está intentando resolver los problemas de inundaciones y otras afectaciones derivadas de las crecidas depredatorias, dotando al área de un nivel de seguridad conceptual compatible con el riesgo hidrológico de una crecida centenaria.

Sin embargo pareciera que con cada nueva crecida importante que se presenta aparecen nuevas afectaciones o impactos no previstos y se comienza a dudar de la efectividad de ciertas obras y de la forma como evolucionará el sistema en su conjunto. Esto no es casual, las diferentes obras de defensa que se han realizado confieren un status diferente a las "zonas protegidas", anteriormente inundables, produciendo la expulsión de los ocupantes ilegales y de menores recursos hacia las áreas circundantes. Se crea indirectamente una falsa "sensación de seguridad" hacia las zonas no protegidas por la cercanía a "zonas seguras", por lo tanto toda la zona seguirá sufriendo la presión constante de ocupación y asentamientos marginales y el desarrollo de actividades de sostenimiento (pescadores, ladrilleros, criaderos de cerdos, etc.). De la misma manera se pretende el afianzamiento de actividades agropecuarias bajo el concepto de disminuir o

evitar el riesgo de inundación tanto en el subsistema Leyes Setúbal como en el San Javier-Leyes en áreas naturalmente inundables que nunca tuvieron protección. A la vez los estudios más actuales sobre el régimen de crecidas del río, han identificado una tendencia hacia un aumento de la frecuencia de crecidas importantes y se detectan en la zona ciertos cambios en la geomorfología del río y su valle de inundación, cuya evolución debe ser investigada e interpretada. Esta compleja situación de permanentes cambios (naturales y antrópicos) en el sistema en consideración, obliga a continuar en el futuro con la realización de profundas investigaciones y estudios con el fin de responder a las nuevas incógnitas que se plantean.

4.8 - La catástrofe de la ciudad de Santa Fe en abril de 2003

4.8.1 - Características generales de la cuenca del río Salado

Si bien no existe un límite definido, convencionalmente se considera como cuenca inferior del río Salado al área que se desarrolla en la provincia de Santa Fe a partir del punto en el cual el río ingresa a la misma, a la altura de la ciudad de Tostado (Figura 4.4). Dicha área posee una superficie de 30.000 km².

Desde allí el río escurre en dirección Noroeste - Sureste por un cauce con escasa capacidad de conducción hasta recibir los aportes del Río Calchaquí, el cual drena las aguas provenientes de los Bajos Submeridionales. A partir de este punto el cauce escurre en dirección Norte - Sur hasta su desembocadura en el Sistema Paraná entre las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé (Figura 4.5). En este tramo recibe los aportes de las subcuencas: Saladillo, Las Conchas, Palos Negros - La Cabral, San Antonio, Cululú, Vizcacheras, Pantanoso, Arizmendi y áreas de aportes directas al curso del río Salado (INCYTH, 1986).

Por lo tanto, el escurrimiento en la cuenca inferior se compone de los aportes provenientes de la cuenca media que son de baja significación, de los aportes del río Calchaquí y de los excesos de lluvia en las subcuencas de margen derecha. De los principales afluentes laterales (Las Conchas, San Antonio, Cululú) si bien no son tan significativos en términos relativos a los aportados por el Calchaquí se caracterizan por ser muy discontinuos e irregulares, concentrando en breves periodos de tiempo, picos de crecida de variada magnitud. La incidencia de éstos dependerán en definitiva del estado en que se encuentre el propio río Salado en el tramo en que recibe estos aportes.

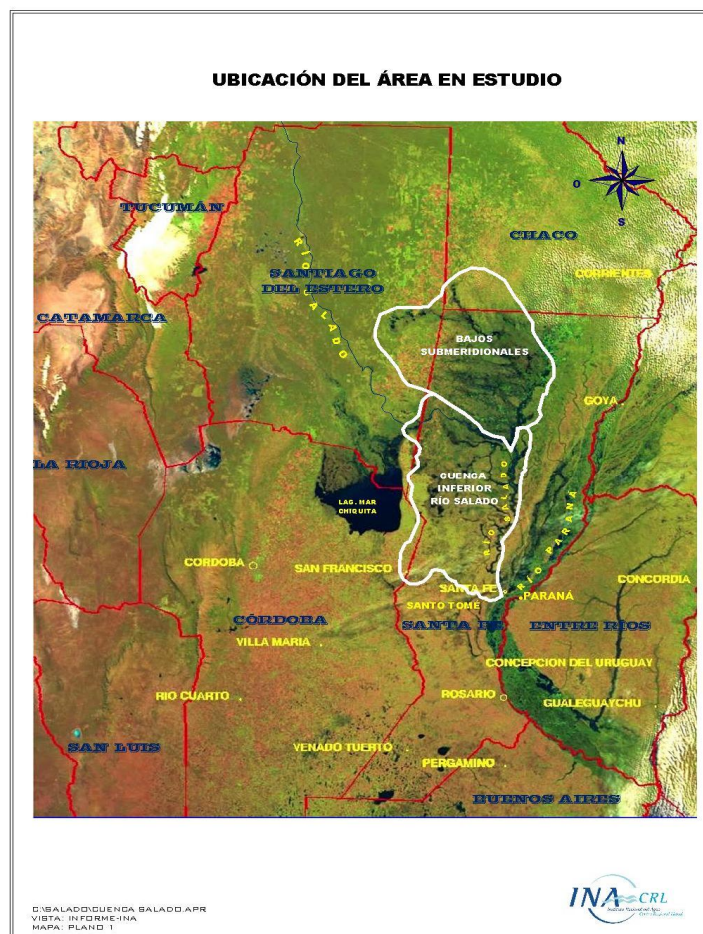


Figura 4.4. Cuenca inferior del río Salado, provincia de Santa Fe.

4.8.2 - Características de las precipitaciones en la región

Desde el punto de vista climático en el territorio santafesino se desarrolla una transición desde un clima sub húmedo en las zonas oriental y central a semiárido en el límite occidental. El gradiente de precipitaciones medias anuales en el sentido Este-Oeste se modificó en las últimas décadas, pasando de 1.100 mm a 800 mm para el período 1941/1970 a variaciones de 1.200 mm a 900 mm para el período 1971/2000.

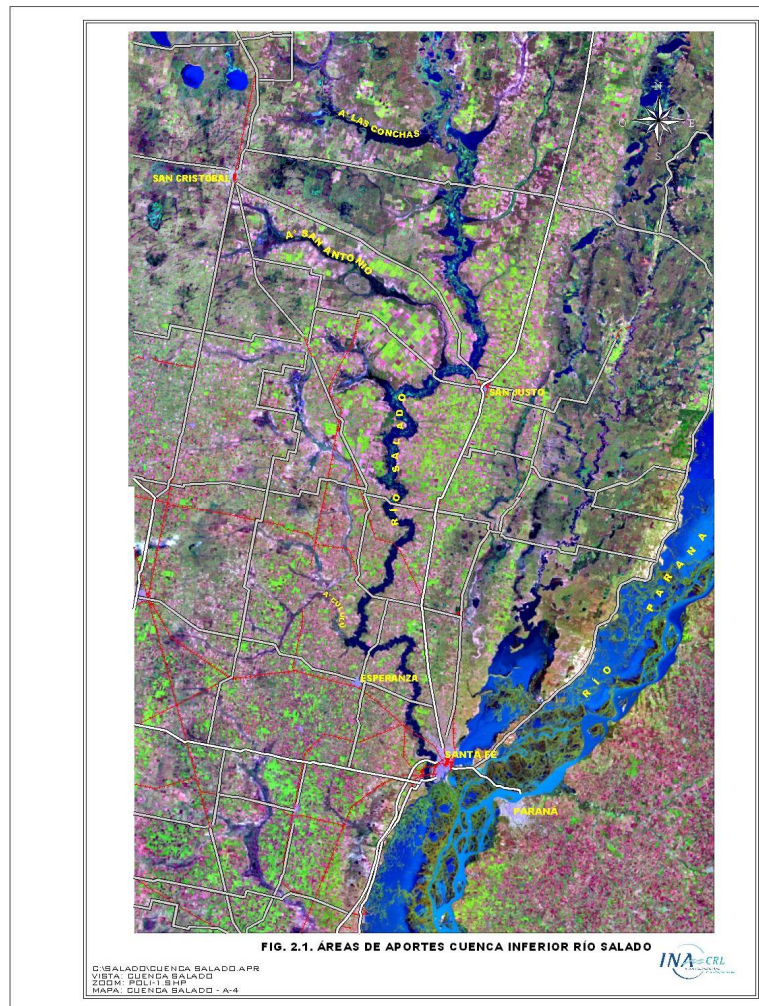


Figura 4.5. Afluentes y áreas de aporte en la cuenca inferior del río Salado. Provincia de Santa Fe.

Las precipitaciones, además, se caracterizan por presentar una importante irregularidad temporal, dando lugar a la alternancia de períodos hídricos secos, normales y húmedos. Durante parte de la década del '40 y la década del '50 se registró un período seco, mientras que a partir de la década del 70, se presenta un período húmedo prácticamente continuo hasta la actualidad. Esta persistencia de

condiciones húmedas en la región es debida al denominado “cambio climático”, caracterizado por la aparición, cada vez con mayor frecuencia, de eventos lluviosos muy intensos y arealmente concentrados.

4.8.3 - Las crecidas del río Salado

El caudal medio anual del río Salado en la Ruta Prov. N° 70 es de 133,7 m³/s para toda la serie disponible (1954-2002), pero aumenta a 176,4 m³/s si se toma la serie más reciente (1971-2002). La distribución de los caudales mensuales muestra que los máximos pueden ser entre 6 a 10 veces mayores que los promedios.

Desde el punto de vista de las crecidas, la situación más desfavorable se produce ante la superposición de ambos efectos, es decir, la coincidencia del paso de una onda de crecida aportada por el Calchaquí y ocurrencia de lluvias intensas en la zona de aportes próxima a la desembocadura. Ello genera bruscos empuntamientos de los hidrogramas de crecidas. Los caudales máximos anuales registrados a partir de 1954, muestran a partir de la década del 70 la aparición de picos muy importantes (Figura 4.6).

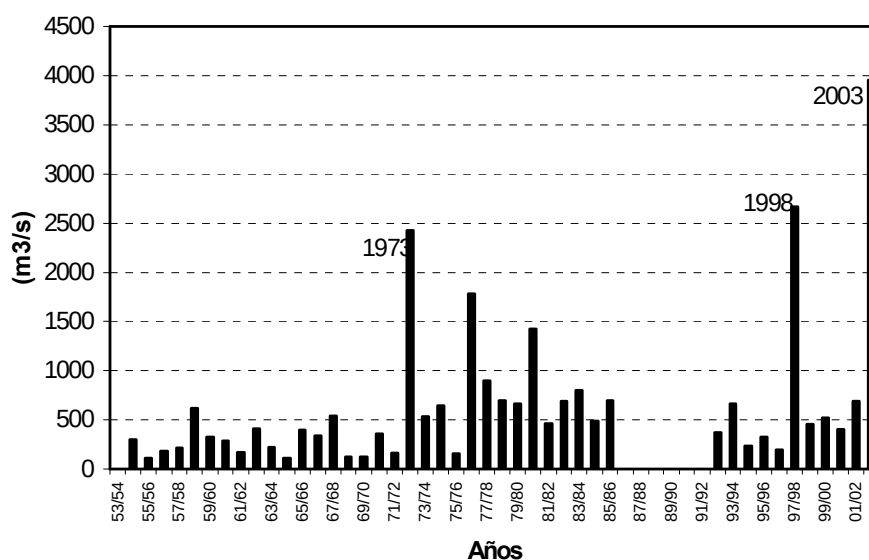


Figura 4.6. Caudales máximos anuales del río Salado, provincia de Santa Fe para el período 1953/54 – 2002/03.

Antes de la crecida del 2003 las mayores registradas correspondían a 1973 con 2.430 m³/s y a 1998 con 2.672 m³/s (Giacosa *et al.*, 1998). Durante el año 2003 la situación de aguas altas se manifiesta desde enero, produciéndose tres picos antecedentes que superaron los 1.000 m³/s a mediados de enero, febrero y marzo.

4.8.4 - La crecida de abril de 2003

La crecida de abril del 2003 se originó por la ocurrencia de lluvias elevadas sobre su cuenca inferior, ocurridas principalmente entre los días 22 y 24 de abril del corriente año. Las lluvias registradas entre el 17 y 28 de abril de 2003 en pluviómetros de la zona se presentan en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. Totales pluviométricos registrados entre el 17 y el 28 de abril de 2003 en la cuenca inferior del río Salado y zonas aledañas.

Estación	Días					Total
	17/04 a 19/04	22/04	23/04	24/04	28/04	
Tostado	70	0	11	60	0	141
Vera	59	0	17	150	32	258
Ceres	75	30	9	32	3	149
Margarita	102	0	24	328	3	457
Arrufó	80	38	90	34	6	248
San Cristóbal	69	23	60	58	4	214
La Penca	80	0	78	310	0	468
Suardi	34	36	140	30	5	245
Palacios	36	75	160	0	3	274
San Justo	75	50	35	35	6	201
Rafaela	40	10	87	13	2	152
Esperanza	66	34	65	12	11	188
Candioti	42	30	100	10	20	202
Media	63.7	25.1	67.4	82.5	7.3	245.9

Fuente: Dirección de Comunicaciones de la provincia de Santa Fe.

Por entonces un sistema frontal caliente semiestacionario se ubicó en el centro del litoral argentino (zona Norte de Entre Ríos, Sur de Corrientes y Centro de Santa Fe). Sobre este sistema frontal se formaron núcleos de nubes convectivas, que originaron lluvias de muy alta intensidad (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional; INA, 2003). En la

Figura 4.7 se presenta la anomalía de la precipitación correspondiente al mes de abril de 2003.

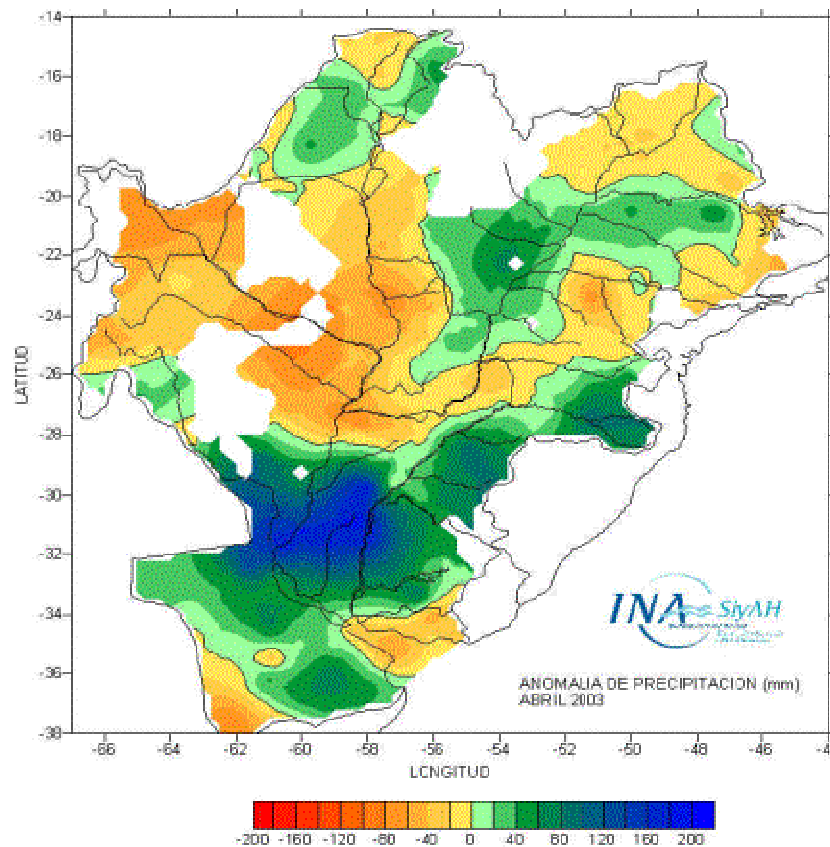


Figura 4.7. Anomalía de precipitación correspondiente al mes de abril de 2003.

Estas lluvias se produjeron en coincidencia con una situación caracterizada por la saturación de la cuenca inferior del río Salado, producto de las precipitaciones ocurridas en los meses previos. Este estado de saturación antecedente originó que un importante porcentaje del agua precipitada se convierta en escurrimiento.

El pico principal de la crecida se presenta con un fuerte empuntamiento, pasando de $700 \text{ m}^3/\text{s}$ a $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en sólo 7 días entre el 22-04-03 y el 29-04-03. La recesión es también bien marcada, por lo

cual el caudal estuvo por encima de los $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ solamente 30 días. La Figura 4.8 ilustra acerca de las características de los hidrogramas correspondientes a tres crecidas importantes del río Salado ocurridas en los años 1973, 1998 y 2003. En la misma se aprecian las características ya apuntadas.

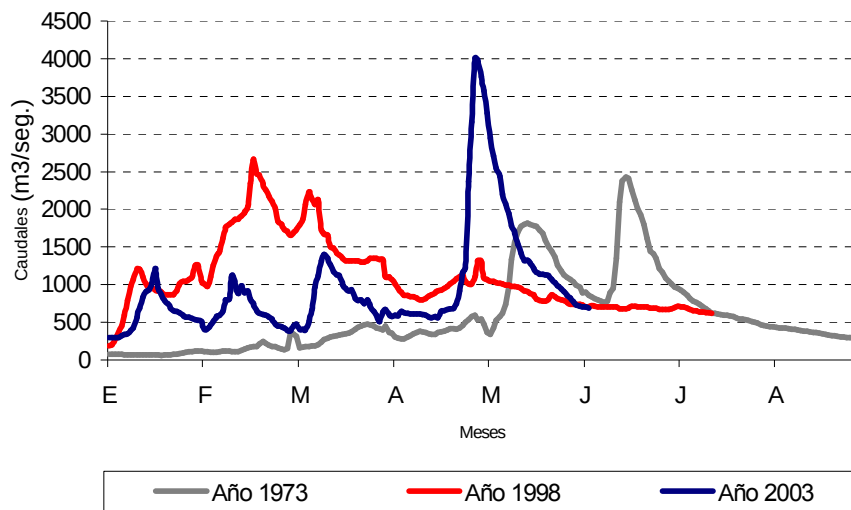


Figura 4.8. Hidrogramas de crecida del río Salado en los años 1973, 1998 y 2003 registrados en la sección de la Ruta Prov. 70, provincia de Santa Fe.

Del análisis de frecuencia de picos de crecidas efectuado para la serie 1971-1998, en oportunidad de los estudios realizados en ese momento, se obtuvieron los valores indicados en la Tabla 4.3 (Paoli *et al.*, 1998).

Introduciendo en la serie la crecida 2003, es decir, para la serie 1971-2003, se obtienen los valores indicados en la Tabla 4.4 (INA, 2003).

La comparación de los valores obtenidos muestra la importancia de mantener actualizados los estudios de análisis de frecuencia de extremos, los que deben ser revisados periódicamente y cada vez que se produce una crecida extraordinaria.

Tabla 4.3. Análisis de frecuencia de la serie 1971-1998, río Salado.

Tr [años]	Caudal [m³/seg]
500	4.000
250	3.500
100	3.010
50	2.590
10	1.615
5	1.190
2	600

Tabla 4.4. Análisis de frecuencia de la serie 1971-2003, río Salado.

Tr [años]	Caudal [m³/seg]
500	5.470
250	4.825
100	4.110
50	3.470
10	2.000
5	1.375
2	600

El río Salado en su desembocadura escurre entre las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé, donde se une al riacho Santa Fe, dando origen al río Coronda. Este último pertenece al Sistema fluvial del río Paraná por lo que afecta el régimen del río Salado mediante el efecto de remanso. Por lo tanto el nivel que alcanza el río Salado en su tramo entre la Ruta Prov. 70 y la desembocadura, depende del caudal pico de la crecida del río y del nivel en que se encuentra el río Paraná.

Afortunadamente, la crecida extraordinaria del río Salado no se superpuso con una crecida del río Paraná, lo cual hubiera agravado aún más la situación.

4.8.5 - El proceso de inundación en el casco urbano y el comportamiento de las obras existentes

El día lunes 28 de abril al medio día se registra en el puente principal de la Ruta Prov. 70, que vincula la capital santafesina a la ciudad de Esperanza, un caudal estimado del orden de $3.100 \text{ m}^3/\text{s}$. El río se encuentra totalmente desbordado ocupando todo su valle de inundación. La ruta queda cubierta de agua, con el tránsito interrumpido.

La avenida de Circunvalación Oeste existente fue construida entre 1994 y 1998 y se desarrolla desde el puente carretero Santa Fe - Santo Tomé al Sur hasta proximidades de la calle Gorostiaga (Hipódromo "Las Flores") al Norte. Entre la avenida de Circunvalación Oeste y el río Salado, se desarrolla un terraplén de defensa a cota 17,50 m. El terraplén existente finaliza abruptamente en un cierre provisorio situado en el cordón Sur de la calle Gorostiaga, habiendo quedado pendiente de ejecución un tercer tramo que se desarrolla desde el hipódromo hacia el Norte.

La zona Sur-Oeste defendida de la ciudad presenta cotas en las zonas más bajas entre 11 a 13 m IGM, por lo que corresponden a zonas de alto riesgo hídrico potencial, hecho conocido desde la realización de los estudios disponibles (INCYTH, 1992).

El nivel pico en las proximidades del hipódromo fue de 17,26 m IGM, por lo que la defensa existente no fue superada por el nivel de las aguas. Sin embargo, a pesar del intento de producir un cierre de emergencia en la zona del hipódromo, en la madrugada del lunes 28/04 el río ingresó por allí al área urbana (Foto 4.1).



Foto 4.1. Corte del terraplén de protección lateral en la zona del hipódromo, ciudad de Santa Fe. Estado de situación al día 02/05/03.

Dado que la avenida de circunvalación se desarrolla al pie de la defensa en una cota inferior, la misma comenzó a actuar como un canal conduciendo el agua que ingresaba desde el Norte hacia una zona altamente urbanizada al Sur.

La obra de defensa de la avenida de Circunvalación Oeste que se continua por el Oeste y la avenida Mar Argentino, por el Sur de la ciudad, se convirtieron en una barrera. Así, el agua que se introdujo por el extremo Norte se acumuló en esa enorme batea sin posibilidades de salida. Los terraplenes internos de vías de ferrocarril y de avenidas más elevadas que conforman el trazado urbano de la zona afectada conformaron sucesivos recintos que se fueron inundado sucesivamente, de Norte a Sur y de Oeste a Este.

El día martes 29 de abril se produjo el pico de la crecida en la Ruta Prov. 70, con un caudal estimado del orden de $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales aproximadamente $3.800 \text{ m}^3/\text{s}$ pasaron por el puente hacia aguas abajo y el resto se derivó hacia el Este, con lo cual la población de

Recreo, ubicada sobre la Ruta Nac. 11 al Norte de Santa Fe, fue anegada en su totalidad. Las aguas cruzaron la Ruta Nac. 11 hacia el Este. Esta situación crítica se mantuvo aproximadamente 5 días.

El puente de la autopista Rosario-Santa Fe, tiene una luz absolutamente insuficiente, de sólo 155 m, dentro de un valle de inundación del orden de 2.500 m de ancho (Foto 4.2). En ocasión de la crecida de 1973 dicho puente fue destruido y vuelto a reconstruir con la misma luz ,a pesar de los reiterados informes que recomendaban su ampliación (INCYTH, 1976; Giacosa *et al.*, 1998).



Foto 4.2. Sector Oeste de la ciudad de Santa Fe, avenida de Circunvalación Oeste y autopista Rosario-Santa Fe. Estado de situación al día 08/05/03.

Ante esta situación se vió sometido a una gran presión hidrodinámica que produjo desniveles hidráulicos de 70 a 80 cm (entre aguas arriba y abajo del mismo). Los procesos erosivos que se originaron en la margen derecha hicieron peligrar su estribo Oeste. El tránsito fue interrumpido, concentrándose todo por el viejo puente carretero a la

ciudad de Santo Tomé (localizado aguas abajo de la autopista Rosario-Santa Fe).

Durante la noche del martes 29 el agua ingresó en el Barrio Centenario (en el extremo Sur-Oeste de la ciudad), el cual posee cotas de terreno natural en las zonas más bajas de 13 a 14 m (IGM). El mismo se cubrió rápidamente con alturas de 2 a 3 m de agua (Foto 4.3).

El miércoles 30 cerca del mediodía se alcanzaron las máximas extensiones de zona inundada en la zona centro, con cota de inundación dentro del recinto de 16,80 a 16,90 m, mientras que fuera del recinto el río Salado tenía un nivel de agua del orden de 14,65 m (altura en el Hidrómetro del Instituto INALI de 6,32 m). Es decir, se registraron desniveles en el nivel de las aguas entre la ciudad y el río superiores a los 2 m. La apertura de brechas comenzó pasado el mediodía y al cabo de algunas horas se observó una sensible mejoría.



Foto 4.3. Barrio Centenario (extremo Sur-Oeste de la ciudad de Santa Fe).
Estado de situación al día 01/05/03.

A primera hora del jueves 1° de mayo, las aguas habían descendido más de 1 m en el recinto, sin embargo fue necesario realizar otra apertura en la avenida de Circunvalación Sur, ya que el agua del barrio Centenario no egresaba por ninguna de las brechas abiertas hasta ese momento como resultado de los recintos producidos por la conformación urbana antes indicada. Después del mediodía se procedió a efectuar dicho corte y por la noche la mejora ya era sensible.

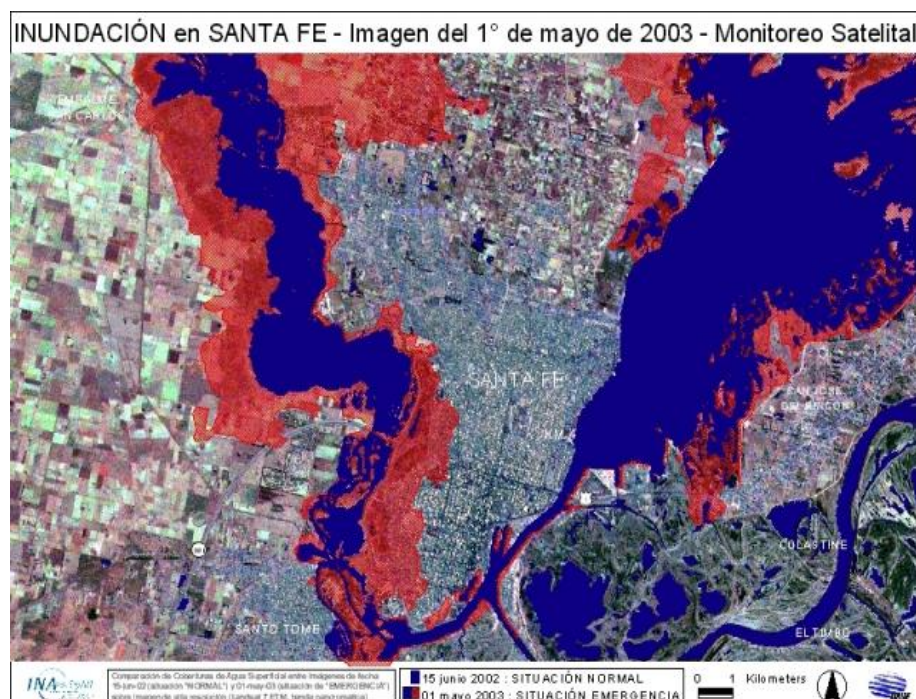


Figura 4.9. Imagen satelital correspondiente a la situación imperante al 01/05/03.

Al lograrse el cierre del ingreso de agua en la zona del Hipódromo en la noche del día 8 de mayo, las aguas internas comenzaron a descender rápidamente en las inmediaciones. Ello, a su vez, eliminó el problema de pasaje del escurrimiento hacia la zona Sur, lo cual permitió comenzar la etapa de recuperación por bombeo de las zonas más bajas.



Figura 4.10. Indicación sobre una imagen satelital del sector afectado por la crecida del río Salado de abril-mayo de 2003 (la línea roja indica el límite máximo afectado).

4.8.6 - La vulnerabilidad de la ciudad de Santa Fe y los daños de la inundación

La vulnerabilidad de la ciudad a las inundaciones y los daños asociados a la ocurrencia de un evento hidrológico extraordinario son dos aspectos diferentes, aunque estrechamente relacionados. A continuación se abordan brevemente aspectos destacados de cada uno de ellos, con el fin de destacar la necesidad de la implementación de medidas de gestión del riesgo como medio para minimizar las pérdidas de vidas humanas y los daños materiales.

En forma resumida se puede indicar que la vulnerabilidad de la ciudad de Santa Fe ante las inundaciones está dada por los siguientes factores fundamentales:

- ubicación geográfica entre dos grandes ríos no regulados, con amplios valles de inundación que han sido ocupados por la expansión urbana.
- topografía local plana, con deficiencias para el escurrimiento de los excesos pluviales y con zonas bajas cercanas a los ríos con napa freática cercana a la superficie.
- falta de un Plan Urbano y de ordenamiento territorial que tenga en cuenta los factores anteriores.
- desarrollo de obras de infraestructuras viales y de defensa no totalmente compatibilizados y no acordes a los escenarios hídricos cada vez más extremos que se presentan.
- falta de un adecuado plan de operación y mantenimiento de las obras de defensa.
- falta de conciencia de que una zona protegida sigue siendo una zona de riesgo y, como consecuencia, falta de medidas no estructurales que complementen a las obras, como la no disposición de un sistema de alerta de crecidas del río Salado y la ausencia de un Plan de Contingencias explícito.

Los daños que se producen ante una situación de crecida extraordinaria del Río Salado como la que se produjo, son consecuencia de esta vulnerabilidad natural y antrópica. En la Tabla 4.5 , se presenta el resumen de daños derivados de esta crecida del río Salado.

Tabla 4.5 Resumen de daños (en millones de pesos) derivados de la crecida del río Salado en abril-mayo de 2003.

Sector	Total
Vivienda	233
Educación y área deportiva	12
Salud	12
Servicios básicos de saneamiento	2,3
Energía	20
Transporte y telecomunicaciones	482
Agropecuario	1.019,6
Industrial y comercial	1.089
Otros: limpieza, restauración, etc.	8
Todos los sectores	2.878
Obs.: paridad dólar - peso argentino vigente en la época: 2,95 pesos argentinos/dólar estadounidense.	

Fuente: CEPAL, junio 2003.

Si se analiza el resumen de los daños estimados, se encuentra que un porcentaje muy importante corresponde a daños producidos fuera de la zona urbana, los cuales son difícilmente evitables ante la ocurrencia de un evento extraordinario. Sin embargo, los daños urbanos se hubieran podido reducir significativamente de haberse dispuesto de las medidas de prevención apropiadas.

CAPÍTULO 5

INUNDACIONES EN LOS GRANDES CENTROS URBANOS

Jorge Adolfo Maza, Alberto Daniele y Juan C. Bertoni

5.1 - Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense

5.1.1 - Introducción

El área metropolitana de Buenos Aires, incluyendo la ciudad de Buenos Aires y 19 partidos del conurbano de la misma, cubre aproximadamente 700 km². Esta superficie, que representa el 3 por mil de todo el territorio nacional, alberga aproximadamente a 12,5 millones de habitantes, es decir, al 41% de la totalidad de la población del país. En la Capital Federal, que ocupa solamente 200 km², residen casi 3 millones de habitantes, lo cual significa una densidad media de 15.000 hab/km².

Conforme citado en el Capítulo 3, el Conurbano Bonaerense alberga al 24,5% de la población del país y al 63,3% de la provincia de Buenos Aires. Posee una densidad media de población de 2.165,6 hab/km² y conforma la tercer aglomeración urbana de Latinoamérica.

El constante y no planificado crecimiento de la ciudad de Buenos Aires, la falta de inversiones durante más de medio siglo y la alteración del régimen de precipitaciones, transformaron en obsoleto un sistema de desagües ejemplar para su época.

En efecto, en las últimas décadas la ciudad de Buenos Aires se ha inundado con frecuencia generando serios inconvenientes y daños materiales de consideración. Falczuk (2001) cita dos causas básicas asociadas a esta problemática: (a) las crecientes naturales de los cursos de agua que atraviesan la ciudad y los problemas estructurales de la red de desagües, cuya capacidad ha sido superada por la ocupación no planificada de los valles de inundación y (b) los fuertes vientos del sector sudeste (“*sudestadas*”) que producen un crecimiento del río de la Plata por encima de su media normal, anegando las zonas costeras.

Cabe indicar que de acuerdo a las condiciones meteorológicas imperantes en la ciudad de Buenos Aires es raro la conjunción de ambos

efectos, es decir, que durante la ocurrencia de precipitaciones intensas de corta duración se verifiquen también sudestadas o viceversa. Desde 1985 hasta marzo de 1998 se produjeron en el área metropolitana de Buenos Aires aproximadamente 26 procesos de inundación por precipitación pluvial y desborde del sistema de desagües. Una de las tormentas más severas ocurrió el 24 de enero de 2000 (Foto 5.1 y Foto 5.2), la cual produjo la pérdida de vidas humanas y severos daños económicos.



Foto 5.1. Inundación en la ciudad de Buenos Aires (enero 2000). Intersección de Avda. Cabildo y Blanco Encalada. (Fuente: www.clarin.com.ar)



Foto 5.2. Inundación en la ciudad de Buenos Aires (enero 2000). (Fuente: www.clarin.com.ar)

La ciudad actualmente cuenta con un complejo sistema de desagües que descargan en el Río de la Plata. Este sistema está conformado por dos subsistemas que abarcan dos grandes áreas: (i) *Radio Antiguo* y (ii) *Radio Nuevo*.

El primero de ellos constituye un sistema mixto pluvial-cloacal que abarca aproximadamente 3.000 ha y cuya construcción fue iniciada, según lo indicado en el Capítulo 3, en 1869. En el sector conocido como *Radio Nuevo*, el sistema de drenaje pluvial fue construido *a posteriori* del sistema cloacal, hecho que significó que una extensa y poblada región de la ciudad estuviese expuesta por años a los efectos de la inundación que acompañaban los desbordes de los principales arroyos que la atravesaban (Maldonado, Vega y Medrano). Por tal razón dichos arroyos fueron posteriormente entubados, complementándose el sistema de drenaje actual con una red de conductos de orden menor.

Ambos subsistemas fueron proyectados para una población y densidad habitacional menores a la actuales, considerando una ciudad de edificación abierta, con espacios no impermeabilizados y bajo coeficiente de escorrentía. En la actualidad, el alto porcentaje de superficies impermeables directamente conectadas, la escasa pendiente superficial y la gran extensión de las cuencas hídricas torna complejo el desagüe en ocasión de lluvias intensas.

En síntesis, puede afirmarse que en la ciudad de Buenos Aires a lo largo de su historia existió un manejo de las inundaciones ligado a una concepción del desastre como producto, esto es, como algo que solo puede enfrentarse y solucionarse una vez ocurrido. Sin embargo, los desastres son momentos concretos en los que se pone en evidencia el riesgo en el que vive la población (Figura 5.3). Cada inundación catastrófica resulta de un proceso continuo, diario, de construcción social del riesgo. En este proceso es fundamental el papel jugado por la gestión urbana vinculada tanto a las inundaciones como a la orientación de la ocupación de territorios que, como la baja cuenca del Maldonado, son altamente peligrosos respecto a la inundación.

5.1.2 - Breve descripción de las principales cuencas hídricas

A continuación se presenta una breve descripción de las características de las principales cuencas hídricas de la ciudad, extractado por Falczuk (2001) a partir de los Términos de Referencia para la Contratación de los Servicios de Consultoría para el Plan Director de

Ordenamiento Hidráulico y Control de Inundaciones de la Ciudad de Buenos Aires.



Foto 5.3. Situación típica en calles de Buenos Aires luego de lluvias intensas.
(Fuente: www.clarin.com.ar).

- Cuenca del Arroyo Maldonado:

La cuenca del arroyo Maldonado posee un área total de 8.322 ha, de las cuales 4.591 ha se ubican en la Capital Federal y las restantes corresponden a la provincia de Buenos Aires (Figura 5.1). Unas 805 ha de la cuenca de la provincia han sido transvasadas a la cuenca del arroyo Morón, tributario del río Reconquista por margen derecha. El límite entre ambas jurisdicciones es la Avenida Gral. Paz.

El arroyo Maldonado escurre entubado desde la rotonda de San Justo hasta el Río de la Plata, derivando parte de su caudal en el arroyo Cildañez, cerca del estadio del Club Velez Sarsfield. Sigue el recorrido de la avenida Juan B. Justo, cruzando debajo del Aeroparque Metropolitano. De este modo, la cuenca se ubica en la zona central de la ciudad, recorriendo los barrios de Liniers, Villa Luro, Versalles, Floresta, Flores, Paternal, Parque Centenario, Villa del Parque, Villa Ortúzar, Chacarita, Villa Crespo, Palermo Viejo, Palermo y Barrio Norte.

El proyecto del entubamiento del arroyo Maldonado fue realizado por OSN en 1936, con un caudal pico de proyecto de 255 m³/s. La sección del canal es rectangular con columnas interiores distribuidas en tresbolillo, disposición que presenta una capacidad de conducción inferior respecto de una con conductos entabicados. En los últimos años por diversas intervenciones y obras se ha mejorado la condición del escurrimiento, aunque no se ha logrado resolver el problema de las inundaciones.



Figura 5.1. Cuenca del arroyo Maldonado en la ciudad de Buenos Aires.
(Fuente: INCyTH-CIHE).

Las 3.731 ha que desde la provincia de Buenos Aires aportan al arroyo Maldonado lo hacen a la altura de la Avenida General Paz. El terraplén de la misma actúa como dique de contención de los excedentes superficiales provenientes de la provincia. El derivador hacia el arroyo Cildañez nace por margen derecha, unos 2 km aguas abajo desde el cruce con la avenida General Paz.

- Cuenca del Arroyo Vega:

Se encuentra comprendida íntegramente dentro de los límites de la ciudad de Buenos Aires y sus aguas desembocan en el Río de la Plata. Está limitada al Norte por la cuenca del arroyo Medrano y al Sur por la cuenca del arroyo Maldonado. La misma presenta un grado de

urbanización elevado en toda su extensión, con escasos espacios verdes, hecho éste que es más notorio en las proximidades de los conductos colectores principales y secundarios.

La superficie total de la cuenca de aporte hasta la desembocadura es de 1.700 ha. El conducto principal tiene un recorrido aproximado de unos 10 km, desde su nacimiento en la intersección de las calles Mariscal López y Concordia, hasta la desembocadura en el Río de la Plata. La descarga del colector se produce con un canal entubado de sección transversal rectangular de 24 m de ancho y 5 m de altura. Si bien presenta importantes pendientes longitudinales, en su desembocadura la capacidad de descarga está fuertemente influenciada por los niveles del Río de la Plata.

El colector resulta insuficiente para descargar los excesos hídricos de origen pluvial que ocurren en la cuenca con eventos importantes, generándose anegamientos importantes e inundaciones en varios tramos del mismo.

Desde el punto de vista planialtimétrico la cuenca presenta algunas zonas bajas y aplanadas, especialmente en la parte media y baja, aunque existen otros puntos con pendientes transversales en dirección al colector principal. Esta última característica hace que existan zonas muy críticas que son afectadas profundamente por inundaciones periódicas de origen pluvial.

Existen antecedentes de arrastre de automóviles y otros elementos presentes en las calles durante las crecidas del arroyo y es conocido el hecho de que los vecinos utilizan compuertas para evitar que las aguas penetren en sus domicilios. En la cuenca existen puntos críticos como, por ejemplo, la intersección de la calle Blanco Encalada con la Avenida Cabildo (Foto 5.1).

La cuenca tiene una zona sobreelevada denominada Barrancas de Belgrano. Hacia aguas abajo de la misma se desarrolla una zona aplanada y baja, fuertemente afectada por los efectos de las sudestadas importantes, siendo una zona muy urbanizada.

-Cuenca del Arroyo Medrano:

Abarca aproximadamente un total de 5.315 ha de las cuales 1.713 ha se encuentran localizados en la zona Norte de la ciudad y 3.600 ha aproximadamente en el Partido de Vicente López, en la provincia de Buenos Aires.

El arroyo Medrano fue entubado en la ciudad para superar los problemas de inundaciones y posibilitar la intensificación del uso de la superficie en la construcción de viviendas.

-Cuenca de afluencia Riachuelo (Río Matanza-Arroyo Cildañez)

Esta cuenca abarca una superficie de alrededor de 2.000 km². El río recibe los primeros aportes en los Partidos de Marcos Paz, Cañuelas y General Las Heras a través de numerosos arroyos. Además, recibe los afluentes de los Partidos de Merlo, Morón, Almirante Brown, La Matanza, Ezeiza, Esteban Echeverría, Lomas de Zamora, Lanus y en su tramo final, del Partido de Avellaneda y de la ciudad de Buenos Aires.

Entre el cruce con la General Paz y su desembocadura, recibe las aguas de los Arroyos El Rey y Santa Catalina desde la provincia y en la Capital Federal, la descarga del Arroyo Cildañez. El Arroyo Cildañez está entubado e ingresa desde el Partido de La Matanza, recibe efluentes industriales y domiciliarios y descarga sus aguas en el Riachuelo.

El Riachuelo, en la ciudad, recibe el aporte de 68 km², incluyendo las subcuencas Villa Lugano, Cildañez, Villa Soldati, Erézcana, Teuco y Boca y Barracas y los lagos reguladores Soldati y Roca, siendo este último un lago regulador del Riachuelo. La capacidad de drenaje de este río se ha visto alterada por la rectificación y canalización de su curso, así como por la construcción de diversas obras de infraestructura.

- Zona Boca - Barracas

Corresponde a los barrios de La Boca y Barracas y se corresponde con la margen izquierda de la cuenca baja del Matanza - Riachuelo. El área abarca en su totalidad una superficie aproximada de 1.040 ha de las cuales 410 ha son directamente afectadas por las inundaciones.

La misma está caracterizada por un extremo grado de urbanización, con importantes asentamientos industriales que modificaron sustancialmente la topografía y las condiciones de drenaje naturales. Las graves inundaciones que afectaron a estos barrios se debieron principalmente a las crecidas del Riachuelo por sudestadas.

La red pluvial del barrio de La Boca se comporta como una cuenca cerrada sin vinculación con otras áreas de la ciudad. La misma se compone de ocho subcuencas principales con distinto grado de capacidad de evacuación. Por otra parte, la gran mayoría de las zonas ribereñas drenaban directamente al Riachuelo a través de colectores de corta extensión (de 30 a 300 m).

- Radio Antiguo

El Radio Antiguo, que abarca una superficie de 45 km², está localizado en la zona limitada por la desembocadura del Riachuelo, la baja cuenca del Arroyo Maldonado y la Avenida Medrano, coincidiendo con el casco original de la ciudad. Originariamente contó con una red de servicios de aguas corrientes y desagües conformado por redes pluvio-cloacales combinadas, con capacidad para evacuar en el Río de la Plata 130 m³/s, que cubría alrededor de 3.000 ha.

Comenzó a construirse en 1869 cuando la jurisdicción de la ciudad de Buenos Aires llegaba sólo hasta el arroyo Maldonado y la Avenida Medrano. Las obras se completaron en 1905 y fue proyectado con cámaras reguladoras en determinados puntos de la red, para evacuar las aguas cloacales y el escurrimiento ligado a una lluvia con 38 mm/h de intensidad.

-Cuenas de los Arroyos White y Ugarteche

Fueron entubados como los restantes, con fines de urbanización y al igual que el arroyo Vega, tienen su nacimiento en la ciudad. Desembocan en el Río de la Plata y ambos se ven afectados por la influencia del mismo y aquellas derivadas de la urbanización no planificada.

5.1.3 - Necesidad de una gestión integral en relación a las inundaciones urbanas

En relación a la gestión urbana vinculada a las inundaciones, en la ciudad de Buenos Aires desde siempre se consideró una solución única: la construcción de obras de ingeniería que si bien son necesarias, no son suficientes. Ejemplos concretos son las obras ejecutadas en el arroyo Maldonado: el tabicamiento del emisario principal y la remoción de un viejo puente carretero (en el cruce de las Av. Juan B. Justo y Santa Fe) son paliativos que aumentan en parte la capacidad de conducción en la canalización, pero no impiden las inundaciones.

En relación a la gestión de la ocupación de la ciudad (instrumentos de planificación urbana), cabe indicarse que en ningún momento se incluyó en la ciudad de Buenos Aires la problemática del riesgo por inundaciones como elemento clave a considerar en la definición de zonificaciones del suelo e intensidades de uso. Ejemplos concretos de tal ausencia es la permisividad de los códigos respectivos en cuanto a aumentos de factores de ocupación y la construcción de sótanos a la vera de un antiguo arroyo canalizado.

Ambas gestiones siempre fueron independientes una de la otra: la primera, con dominio sobre la ciudad oculta bajo el asfalto, la segunda

con dominio sobre la ciudad visible. Una alternativa válida que apuntaría a mitigar las inundaciones catastróficas es la integración de ambas gestiones, complementando la construcción de obras de ingeniería con una política urbana capaz de redefinir las pautas de ocupación de áreas con riesgo de inundación. Esta gestión, integral, debería incluir, además, mecanismos de comunicación del riesgo efectivos, como forma de vincular a todos los actores en juego.

El gobierno de la ciudad de Buenos Aires enfrentó esta situación con acciones de ampliación de la red pluvial y de mejoramiento de la conducción existente en diversos puntos de la ciudad. Se han realizado importantes obras, otras se encuentran ya en ejecución y se espera que se inicien otras en breve.

A fin de optimizar el funcionamiento del sistema pluvial existente, y diseñar las obras que mejoren la capacidad de la ciudad para enfrentar las inundaciones, el municipio centró uno de sus ejes de acción en el desarrollo del Programa de Protección contra Inundaciones (con financiamiento del Banco Mundial), cuyo núcleo consiste en:

- El Plan Director de Ordenamiento Hidráulico, que comprende la planificación del funcionamiento del sistema de drenaje de toda la ciudad mediante las más modernas herramientas tecnológicas, el diseño de nuevas obras para un horizonte de planificación de 50 años, el desarrollo de un conjunto complementario de normas y procedimientos para reducir la vulnerabilidad de la ciudad a los desastres de origen hídrico.
- La elaboración del Proyecto Ejecutivo para la Cuenca del Arroyo Maldonado, incluida la documentación que permite el llamado a licitación para la ejecución de las obras.

El Plan Director constituye el segundo esquema de planificación hidráulico de la ciudad en más de 100 años. Incluye la modelación matemática de todas las cuencas de la ciudad, lo que permite conocer y predecir el funcionamiento de la red de desagüe pluvial urbano ante distintas eventualidades.

El Plan Director debe ser una eficiente herramienta de planificación y el fundamento de las inversiones en obras públicas y de la adopción de “medidas blandas” destinadas a optimizar el manejo de las inundaciones para un horizonte de 50 años. Además, debe contener instrumentos para mejorar la gestión técnica en el Área de Hidráulica del municipio. Son ejemplo de medidas blandas el manejo de espacios verdes y del arbolado público, utilización de materiales porosos y

absorbentes en cierto tipo de construcciones, el manejo de emergencias, la zonificación de zonas por riesgo de inundación y el fortalecimiento institucional, entre otras.

En cuanto a las obras para la Cuenca del Arroyo Maldonado, la preparación del Proyecto Ejecutivo incluirá la elaboración de los análisis de factibilidad técnicos, económicos y ambientales que habilitarán su financiamiento internacional. Las obras que resulten (obras de retención y regulación y aumento de la capacidad de conducción y descarga), permitirán atacar de manera integral la problemática de las inundaciones en la Cuenca del Maldonado, que es la más extensa de la Ciudad.

Además, se prevé encarar tareas de fortalecimiento de las áreas de Gobierno vinculadas con la atención de la problemática de las inundaciones, su capacitación y entrenamiento para la recepción del sistema de ordenamiento hidráulico diseñado y en condiciones de operar y la transferencia de estas herramientas tecnológicas.

5.2 - Efectos colaterales de la urbanización en planicies: el ascenso de los niveles de agua subterránea

Un fenómeno que está adquiriendo características verdaderamente preocupantes, es el ascenso progresivo de los niveles de agua subterránea en diversas áreas urbanas del país. Tal vez la situación más grave es la que se registra en vastos sectores del conurbano bonaerense y de la ciudad de La Pata.

Desde comienzos de la década de los años 80 comenzaron a evidenciarse problemas en las construcciones de sub-superficie (sótanos, cocheras subterráneas, cámaras, etc.), debido a anegamientos provocados por el ascenso del nivel del acuífero freático. Detectados originalmente en Lanús, Remedios de Escalada y Valentín Alsina, fueron expandiéndose a sectores de los partidos de Avellaneda, Lomas de Zamora, Almirante Brown y, en el conurbano Norte, de Vicente López, Tres de Febrero y Gral. San Martín, además de la Ciudad de La Plata.

Para entender su ocurrencia en el Gran Buenos Aires, es necesario describir brevemente las características de las aguas subterráneas en el área. El sistema está integrado por un primer acuífero (capa freática) y otro semi libre infrayacente (Pampeano), que se comportan hidráulicamente como una única unidad. Por debajo y separados por un estrato de baja permeabilidad (acuitardo), se localiza un

acuífero semiconfinado (Puelche), principal proveedor de agua para servicio público, uso industrial y riego hortícola en la región. Completa el perfil hidrogeológico el acuífero Paraná, localizado a mayor profundidad (Figura 5.2). La napa freática constituye el elemento de transición de la recarga meteórica. La trascendencia del Pampeano radica en que actúa como vía para la recarga y descarga del subacuífero Puelche subyacente, que es la unidad hidrogeológica más importante de la zona. El techo del Puelche se emplaza entre los 25 y 50 m de profundidad (según la posición geográfica) y su espesor varía entre los 15 y los 30 m.

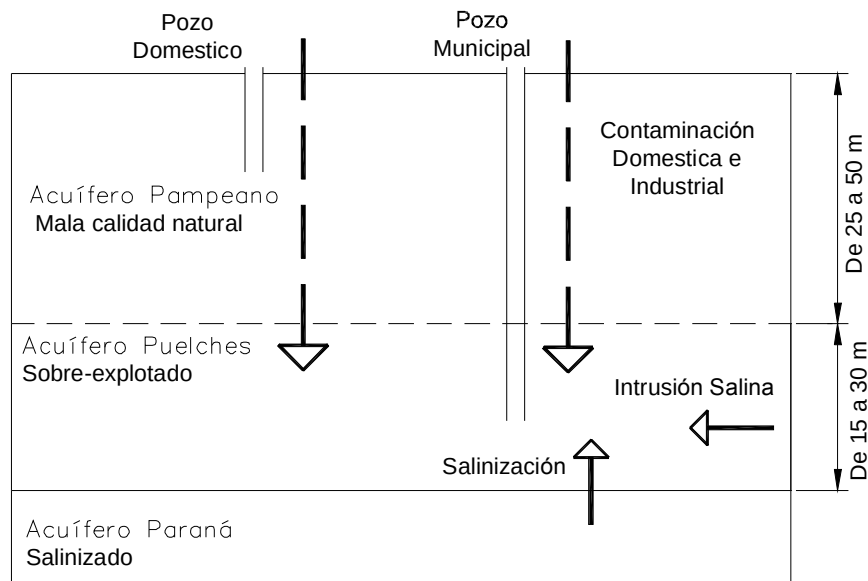


Figura 5.2. Acuíferos y problemática de la contaminación en el Área Metropolitana de Buenos Aires
(Fuente: *Argentina, Gestión de los Recursos Hídricos*. Informe N° 20729-AR. Banco Mundial, 2000).

La explotación del acuífero Puelche desde fines del siglo pasado se tornó en sobreexplotación, con pronunciado descenso de los niveles de agua (niveles piezométricos) y en muchos casos, con intrusión de aguas salinas. Estos abatimientos trajeron consigo el de los niveles de agua del acuífero superior (niveles freáticos) por un proceso conocido como “filtración vertical descendente”, hasta el extremo de desaparición del acuífero freático en posiciones críticas.

En aquellas condiciones (niveles freáticos deprimidos) ocurrió el mayor desarrollo urbano-industrial en el conurbano. Ya en el período 1970-1980 y a causa de la excesiva depresión del Puelche, de la intrusión de aguas salinas y/o presencia de nitratos por encima de las normas de potabilidad (asociada a falta de saneamiento básico o pérdida en los ductos cloacales), comenzó el abandono de pozos de captación con la consecuente recuperación de los niveles piezométricos.

Esta recuperación indujo a su vez la de los niveles freáticos, al reducirse notoriamente la filtración vertical descendente, retrotrayendo la situación casi al estado original. Este ascenso encontró a su paso instalada una nueva infraestructura edilicia subsuperficial, comenzando a producirse los anegamientos cada vez con más frecuencia.

Además, el déficit de agua generado por la salida de servicio de los pozos fue sustituido por una dotación procedente de las Plantas Gral. San Martín (Palermo) y Gral. Belgrano (Bernal) en el conurbano bonaerense y Donato Gerardi (Punta Lara), en La Plata, a través de los mediáticamente famosos “ríos subterráneos”.

Estos aportes adicionales de aguas exógenas, como así también el déficit en las redes de evacuación cloacal, contribuyeron significativamente a los ascensos freáticos. También influyeron las pérdidas en las cañerías de agua corriente, cloacas y ductos pluviales.

Actualmente tanto en las aguas de la napa freática como del acuífero semi libre Pampeano se observan serios problemas de contaminación debido al uso intensivo de sistemas domiciliarios de eliminación de efluentes cloacales. De acuerdo a lo indicado previamente, un ejemplo de esta problemática es la sufrida por el municipio de Lomas de Zamora (sector meridional del conurbano bonaerense).

El partido de Lomas de Zamora posee cinco localidades: Lomas de Zamora, Banfield, Turdera, Llavallol y Temperley. Alberga una población estimada de 634.450 habitantes (año 2000), con una densidad poblacional de 71,28 habitantes/ha.

Ballester y Alvarez (2001) relatan que a inicios de la reciente década de los 90 el partido poseía el 67 % de su población servida con agua corriente, siendo su origen a partir de perforaciones al sub acuífero Puelche y de agua superficial del Río de la Plata, con tratamiento de potabilización. La población servida con alcantarillado cloacal alcanzaba al 22,7 % del total de las viviendas.

En el año 2001 aproximadamente un 30 % del total de las viviendas del distrito contaban con alcantarillado cloacal, mientras que un 98 % de la población contaba con agua corriente. El aumento de este último porcentaje se realizó a expensas de la importación de agua al sistema desde el río de la Plata. Desde mediados del año 1997 se observó en el municipio de Lomas de Zamora, como así también en otros sectores del conurbano bonaerense y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, un paulatino ascenso de la primera napa freática de agua, llegando en algunos sectores a adquirir características de una verdadera emergencia hídrica y sanitaria.

De acuerdo a Ballester y Álvarez (2001), desde 1998 y hasta el año 2001 se instalaron en el municipio de Lomas de Zamora (a modo de paliativo) aproximadamente unas 800 bombas de extracción, que depresionaron el nivel freático mediante bombeo controlado.

5.3 - El drenaje pluvial de la ciudad de Rosario

Conforme se ha citado previamente, la ciudad de Rosario formuló su Plan Integral de Drenaje en 1961. A 40 años de la formulación inicial, dicho Plan Integral conceptualmente sigue vigente. En estas cuatro décadas el mismo fue objeto de modificaciones, ampliaciones y correcciones, pero conservó su característica esencial: ser la herramienta común de referencia (Daniele, 2001).

- Avance de obras, aprobación del Plan Integral y financiamiento:

Las obras contempladas en el Plan Integral se fueron ejecutando en las décadas de los años 60 y 70, con ciertos altibajos. Durante el período democrático iniciado en 1983, se jerarquizó el saneamiento pluvial y como resultado de ello en 1984 comenzaron las obras del emisario 11 (Figura 5.3).

Entre 1985 y 1991, la Municipalidad desarrolla los proyectos de control de crecidas del A° Ludueña y de 30 secundarios pluviales. Entre 1986 y 1988, en correspondencia con la ejecución de la avenida de circunvalación, se logra la concreción de 5 obras de saneamiento pluvial, por parte de la Dirección Nacional de Vialidad.

En los años 1991-1992, se logra, mediante la conjunción del Ejecutivo, del Honorable Consejo Municipal (HCM) y de las fuerzas vivas, la sanción de la ordenanza 5343. La misma crea dentro del Fondo Municipal de Obras Públicas, una cuenta destinada a la construcción de

redes de desagües pluviales. Aprueba asimismo el Plan Integral de Desagües de la Ciudad, el que queda incorporado al Plan Director.

En 1998, la Ordenanza 6589 modifica la ordenanza 5343, ampliando el alcance del fondo al “mantenimiento” de las obras de desagüe. Con los recursos mencionados se ha logrado la ejecución de un sin número de obras (Daniele, 2001).

- Problemática actual y proyección:

La situación por la que atraviesa actualmente la ciudad de Rosario no escapa a una realidad nacional, en la cual el crecimiento de sectores marginales, aumento demográfico no controlado, falta de legislación en cuanto a desarrollo urbano, entre otros aspectos, son los desafíos con los que se enfrenta el Plan Integral y que ponen en riesgo el éxito y la continuidad del mismo.



Figura 5.3. Principales obras de drenaje de la ciudad de Rosario.

En cuanto al proceso de urbanización, en los años 60, al formularse el Plan Integral original, la ciudad contaba con una población

de 596.000 habitantes y extensas áreas no urbanizadas. En la actualidad, el crecimiento demográfico sumado a las corrientes migratorias internas, generó en los últimos 40 años la duplicación de la población urbana. Se ha generado como consecuencia un incremento de las áreas impermeables. En cuanto a la política de regulación de efluentes, la Municipalidad avanza en la adopción de medidas estructurales y no estructurales.

Actualmente aproximadamente el 80% de las áreas urbanizadas, y el 85% de la población cuentan con infraestructura pluvial. En la actualidad los sectores anegables responden a los siguientes cuadros:

- Anegamientos en el radio antiguo, por insuficiencia del viejo sistema pluviocloacal.
- Anegamientos en barrios que no cuentan aún con las obras previstas en el Plan Integral.
- Anegamientos por desbordes del A° Ludueña y sus canales tributarios.
- Anegamientos por asentamientos precarios ubicados en zonas bajas.

Un problema no menor lo constituyen el sistema de desagües cloacales y la contaminación. En la práctica, el sistema separativo en los sectores periféricos tiene más de ficción que de realidad. La población servida es del orden de 711.000 habitantes (aproximadamente el 65% de la población total), pero las áreas con servicios cloacales no alcanzan el 60% de las áreas urbanizadas.

Todo indica que los sectores más vulnerables desde el punto de vista sanitario, son los más carenciados económicamente. Entonces tampoco se encuentran en condiciones de poder afrontar los gastos para la ejecución de redes cloacales. Así, estos sectores vierten sus desagües domiciliarios a las zanjas, aspecto que está prohibido por las ordenanzas vigentes. Debido a las características de los efluentes, el sistema estático parece impracticable.

Se detectan además problemas de conexiones clandestinas a la red de desagües pluviales para el vertido de líquidos cloacales. El vertido de aguas servidas y las descargas cloacales clandestinas a los sistemas pluviales, generan un alto impacto contaminante en los cursos receptores. Se han planteado diversas acciones con el objetivo de poder minimizar el efecto negativo de las descargas a los cursos de agua. Se pueden mencionar: prolongación de conductos, cloración de los líquidos de algunos conductos antes de llegar al emisario, implementación de

sistemas de monitoreo, implementación de sistemas de captación y bombeo.

Se presenta la dificultad para preservar un correcto funcionamiento hidráulico de los sistemas de drenaje a cielo abierto, además se detecta la contaminación por vertido de aguas servidas y conexiones cloacales clandestinas. Uno de los mayores inconvenientes para estos sistemas lo constituyen los residuos sólidos. Debido a la composición de los residuos y a las actividades de cirujeo, se presentan inconvenientes para los diferentes colectores de líquidos (por el taponamiento en los conductos y sistemas de drenaje).

- Medidas a futuro:

Frente a la situación planteada, Daniele (2001) presentó las líneas directrices de la política futura en materia de saneamiento pluvial en la ciudad de Rosario. Entre ellas se distinguen:

Fortalecer el desarrollo y actualización del Plan Integral de Desagües.

Incrementar el protagonismo institucional del Municipio respecto al ámbito provincial y concesionarios privados, en orden a lograr la ejecución de las obras de saneamiento pluvial postergadas.

Intensificar el desarrollo de propuestas de regulación de efluentes (medidas estructurales y no estructurales).

Bregar ante la provincia, por la efectiva ejecución de las redes de colectoras cloacales, priorizando la construcción de las obras de infraestructura básica (colectores principales), destinadas al saneamiento de los sectores con mayor demanda urbanística.

Generar campañas de regularización de conexiones domiciliarias, eliminando las descargas cloacales clandestinas.

Reinstalar la necesidad de programar las obras de tratamiento de efluentes cloacales.

Impulsar los planes de pavimentación a nivel definitivo con cordón cuneta.

Intensificar los mecanismos de control, tendientes a mantener las obras de captación y conducción en estado operativo eficiente.

Impulsar el saneamiento en los programas de regularización y/o relocalización de asentamientos irregulares.

Incrementar el protagonismo de la Comisión de Emergencia, a efectos de implementar acciones preventivas en sectores críticos y brindar respuestas eficientes en la emergencia.

5.4 - El control del escurrimiento pluvial en la ciudad de Córdoba

5.4.1 - Evolución de la ciudad y problemas en el drenaje pluvial

Enclavada sobre las terrazas de inundación del río Suquía (ex río Primero), la ciudad de Córdoba (1,4 millones de habitantes; 398 msnm) se ha desarrollado a lo largo de su historia siguiendo un proceso de urbanización típico: incremento incontrolado de áreas impermeables, ocupación de áreas inundables y uso exclusivo de medidas estructurales siguiendo el enfoque *sanitarista* clásico.

Otros factores que han contribuido para el agravamiento del problema de las inundaciones urbanas son el relieve ondulado de la región y la tendencia a la urbanización progresiva de los sectores más altos. Como resultado de ello los sectores centrales más bajos, que antiguamente no se inundaban, sufren desde hace algunos años serios problemas de inundaciones (Foto 5.4 y Foto 5.5).

Otra característica que también merece destacarse es la tendencia natural de las cuencas rurales aledañas de aportar hacia los sectores de la ciudad actualmente urbanizados. En efecto, desde 1897 hasta el presente la tendencia al crecimiento de las áreas destinadas al uso agrícola y urbano se ha agudizado. En la zona rural aledaña se ha reducido cada vez más el bosque nativo, mientras que el bosque remanente ha sido fuertemente alterado por la ocurrencia de incendios, tala indiscriminada, etc. La alteración y/o eliminación de la vegetación natural y el continuo laboreo de los suelos bajo técnicas no adaptadas a la conservación de los mismos han provocado un continuo aumento de los volúmenes escurridos (y de los caudales picos asociados) generados por las lluvias intensas. La problemática hídrica se ha agudizado al desarrollarse una infraestructura vial y urbana que no ha contemplado todas las características del sistema hídrico natural.

Las peores situaciones se vivieron a inicios de la década de los recientes años 90, en oportunidad de la ocurrencia de períodos húmedos muy marcados. Diversos barrios periféricos de la ciudad, en general localizados en áreas con alta probabilidad de inundación, sufrieron el embate de las aguas superficiales provenientes de los sectores rurales aledaños.



Foto 5.4. Inundación en la región céntrica de la ciudad de Córdoba (calle La Pampa).



Foto 5.5. Inundación en la Avda. Vélez Sarsfield (región céntrica) de la ciudad de Córdoba (Fuente: matutino La Voz del Interior).

Desde 1982 las acciones del municipio han estado enmarcadas dentro del Plan Maestro de Desagües Pluviales de la ciudad, considerado un hito fundamental para el conocimiento de la problemática del drenaje pluvial de la misma (Esteve, 2001). En dicho Plan se definieron las 34 cuencas hídricas en que se divide la ciudad y se realizó un anteproyecto completo de los sistemas de desagües para cada una de las cuencas, predimensionando los conductos troncales y conductos secundarios. De acuerdo a lo relatado por Esteve (2001), el desarrollo de la ciudad hizo variar el plan original, cambiando las prioridades y aumentando los requerimientos, según los emprendimientos, inmobiliarios, comerciales e industriales que produjeron nuevos polos de desarrollo dentro de la ciudad. En 1995 se realizó una readecuación general del plan general de desagües adaptándolo a los requerimientos de ese año, con provisiones hasta el 2004.

En síntesis, el conjunto de inundaciones sufridas por la ciudad (riberañas, urbanas, de origen rural, etc.), conformó un complejo cuadro de situación que obligó al municipio a encarar en la década del 90 obras para el control del escurrimiento pluvial.

5.4.2 - Experiencias en el control del escurrimiento pluvial urbano de la ciudad

De acuerdo a lo indicado anteriormente, hacia fines de la última década de los años 70 se instaló en los países desarrollados el concepto del control del escurrimiento pluvial urbano. El mismo marcó una posición diferente frente al clásico proceso sanitarista caracterizado por el escurrimiento rápido de las aguas.

Siguiendo dicha tendencia, dentro de la gestión de desagües pluviales urbanos la ciudad de Córdoba incluyó a principios de los años 90 el principio de laminar los picos de las tormentas con el objeto de retardar los aportes y optimizar la red existente de desagües.

Toya et al. (2003) presentaron un diagnóstico preliminar referido a los 10 primeros años de gestión de cuencos de retardo en la ciudad. A continuación se citan los aspectos más destacados de dicho diagnóstico.

Los autores relatan que luego de los primeros años de estudio, adaptación y concientización en la toma de decisiones, tanto en el ámbito privado como público, en el año 1995 comenzó la construcción de los primeros cuencos retardadores urbanos.

Los parámetros para su diseño y construcción se fueron adaptando progresivamente, a medida que se presentaron distintos casos con nuevos condicionantes. Ello condujo al municipio a requerir dentro

de los estudios de drenaje, con carácter de obligatorio, el análisis de factibilidad y cálculo de los cuencos de retardo para cualquier tipo de emprendimiento. La medida fue empleada como acción para compensar el rápido avance de la urbanización frente a una más lenta inversión pública en la construcción de ramales troncales de conducciones para el agua pluvial.

Del análisis básico de las documentaciones existentes los autores dedujeron la siguiente situación en la ciudad de Córdoba al año 2003:

- Existen 4 cuencos de retardo construidos y a cargo de la administración municipal, que suman en conjunto 26 ha.
- Se encuentran en etapa de proyecto diversos cuencos de retardo asociados a nuevas urbanizaciones, que en conjunto suman 74 ha. Los mismos pasarán progresivamente al dominio público.
- Existen 22 cuencos de retardo ejecutados y mantenidos por emprendimiento privados, mayormente asociados a plantas industriales, que representan 2 ha adicionales destinadas a estos fines.

Para efectuar el diagnóstico los autores analizaron 13 cuencos de retardo ejecutados en los primeros 10 años de experiencia en estas obras. En la Figura 5.4 se indica la ubicación de la mayoría de las obras ejecutadas y previstas.

Las características analizadas fueron:

- superficie
- sistema al que se conectan
- características de diseño
- usos concurrentes
- mantenimiento
- presencia de agua estancada, residuos, sedimentos
- presencia de moscas, mosquitos, roedores y otros animales
- antecedentes sobre accidentes asociados u otros eventos de contingencia (rotura de paredes, desbordes, contaminación con efluentes de otra naturaleza, etc)
- apropiación del espacio desde lo paisajístico y compromisos de mantenimiento (públicos o privados).

En la Foto 5.6, Foto 5.7 y Foto 5.8 se observan las características de algunas de las obras ejecutadas en la ciudad.

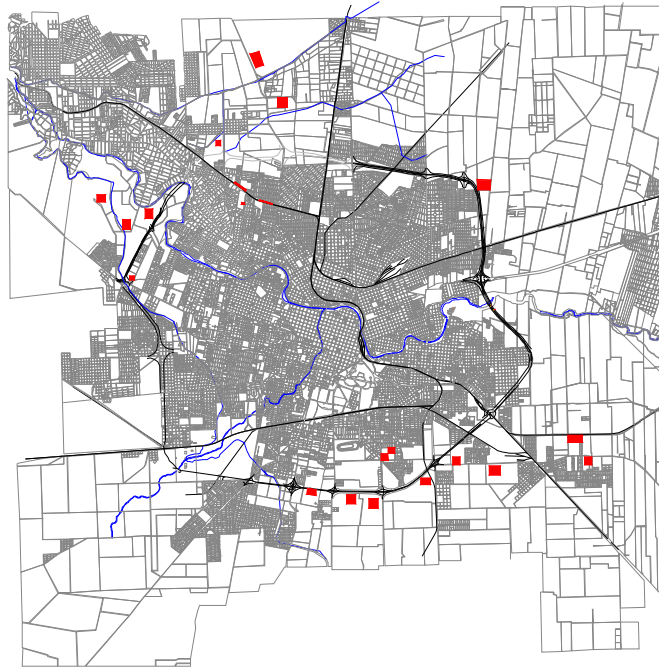


Figura 5.4. Ubicación de los cuencos de retardo del escurrimiento pluvial urbano en la ciudad de Córdoba. (Fuente: Toya et al., 2003).



Foto 5.6. Cuenco de detención ejecutado en un emprendimiento privado. (Fuente: Toya et al., 2003).



Foto 5.7. Cuenco de detención ejecutado en un emprendimiento comercial privado.



Foto 5.8. Cuenco de detención de grandes dimensiones ejecutado en un sector público.

Del análisis del conjunto de informaciones recopiladas y de la experiencia propia en la ciudad Toya *et al.* (2003) concluyeron en el siguiente diagnóstico:

- La ciudad de Córdoba posee actualmente en su sistema de drenaje pluvial 28 ha destinadas a cuencos de retardo para amortiguación de caudales superficiales. Dicha superficie aumenta a 102 ha si se consideran las obras de retardo asociadas a nuevas urbanizaciones (en etapa de proyecto).
- De la observación “*in-situ*” existentes durante los eventos de lluvia como así también del análisis de antecedentes, se desprende que no se registran a la fecha inconvenientes derivados del inadecuado funcionamiento hidráulico de estas obras.
- Los cuencos construidos están asociados a desagües pluviales existentes, que actúan de sistema receptor. Entre las obras proyectadas se encuentran, en menor medida, algunas en las cuales la salida se efectuará por volcamiento a cunetas.
- El mayor número de cuencos ha sido ejecutado hasta el presente por emprendimiento privados, en general, asociados a grandes plantas industriales, supermercados, etc. Estas obras por lo general son de pequeñas dimensiones y poseen mantenimiento propio de cada emprendimiento. En algunos casos se observa una muy buena integración al medio urbano circundante, producto de un adecuado plan de mantenimiento.
- Los cuencos de mayores dimensiones han sido construidos y/o mantenidos hasta el presente por el municipio. Se caracterizan por presentar una problemática ambiental preocupante: contaminación por presencia de residuos líquidos y sólidos que originan olores indeseables y potencian la vehiculación de enfermedades (aguas grises, acumulación de basuras, etc.), deterioro de la infraestructura (erosión de taludes, sedimentación, etc.) y presencia de malezas y mosquitos. En síntesis, presentan una deficiente integración con el medio ambiente urbano y suburbano.
- En contrapartida, los cuencos públicos de menores dimensiones reflejan una mejor integración al entorno, con minimización de los problemas antes citados.

- Recomendaciones

Luego de diagnosticar la situación imperante, los autores recomendaron las siguientes acciones:

- En el caso de los cuencos públicos ubicados en las zonas periféricas de la ciudad (por lo general próximos a barrios con situaciones socio-económicas críticas), impera la necesidad de encarar acciones de difusión y educativas, con vistas a concientizar a los vecinos en cuanto al uso y protección de los cuencos de retardo. Los autores sugirieron encarar este tipo de acciones siguiendo una visión de integralidad de la cuenca, a través de acciones participativas, con intervención, entre otros, del estado municipal y ONG's.
- Es preciso adecuar la normativa municipal vigente, no sólo en lo referido al cálculo hidrológico y al diseño hidráulico de estas obras, sino también en su relación con la gestión ambiental, la planificación urbana y el mantenimiento. Por lo tanto, sugieren extender la participación y el compromiso a diversas áreas de incumbencia dentro de la gestión comunal.

5.5 - Caracterización de superficies urbanas susceptibles de influenciar en el escurrimiento

5.5.1 - Estimaciones del porcentaje de áreas urbanas impermeables en Argentina

En las ciudades de mediano y gran porte la ocurrencia de inundaciones provocadas (o agravadas) por el proceso de urbanización tradicional, es decir, por el alto porcentaje de áreas impermeables existentes, constituye una característica común.

Al respecto cabe indicar que en las cuencas urbanas existen dos tipos de superficies elementales que presentan características hidrodinámicas y coeficientes de escurrimiento bien diferentes: (i) las superficies revestidas y (ii) las superficies no revestidas. Las primeras se asocian generalmente a las superficies impermeabilizadas (o impermeables) y las segundas a las superficies con cierto grado de permeabilidad.

La importancia de la estimación del porcentaje de superficies impermeables en áreas urbanas se asocia tanto a los estudios de planificación urbana como a las tareas de modelación matemática. Como

fuera citado en los capítulos iniciales, las ciudades de América Latina se caracterizan por su permanente crecimiento. Ello exige la realización de estudios que objetivan determinar el impacto de las nuevas urbanizaciones sobre los sistemas existentes y el medio natural.

Para la representación del proceso de aumento de la urbanización el U.S. Soil Conservation Service (SCS, 1975) considera dos aspectos: (i) la reducción del tiempo de concentración y (ii) el incremento de las áreas impermeables. El material contenido en este ítem se refiere a este segundo aspecto.

A causa de la falta de datos locales, en Argentina la tendencia habitual es la estimación de porcentajes de impermeabilización en base a valores empíricos predefinidos. Por lo general estos porcentajes se basan en datos de ciudades del Hemisferio Norte y están ligados al tipo de urbanización y/o a la densidad de población. Como el porcentaje de áreas impermeables constituye una información crucial para los modelos hidrológicos, diversos autores, entre ellos Bertrand-Krajewshi *et al.* (2000), aconsejan realizar su determinación con cierto cuidado.

Con el fin de verificar la adecuación a la realidad Argentina de los porcentajes y tendencias observadas en otros países, Bertoni et al. (2002) analizaron informaciones correspondientes a distintos tipos de urbanización en cuatro ciudades del interior del país: Córdoba (población de 1,4 millones de habitantes), Río Cuarto (150.000 habitantes), Rafaela (90.000 habitantes) y Villa Carlos Paz (40.000 habitantes). De acuerdo a los autores este análisis deberá extenderse hacia las ciudades de mayor porte del país. El material presentado en los ítems subsiguientes sintetizan el estudio efectuado.

5.5.2 - Caracterización de las urbanizaciones

Las características de la ocupación del suelo en una ciudad y los tipos de edificaciones existentes son un reflejo de las condiciones socio-económicas y culturales. En consecuencia, los porcentajes de impermeabilización deben ser asociados a los distintos tipos de urbanización presentes en las ciudades. Para tal fin, los autores relevaron la diversidad de formas de urbanización encontradas en las ciudades estudiadas, clasificándolas según siete tipos característicos (Tabla 5.1). Cada tipo refleja las características edilicias y el estado de evolución urbanístico. La clasificación fue inspirada en los análisis realizados en Francia por Bouvier (1990) para caracterizar el escurrimiento en ciudades localizadas en África occidental.

5.5.3 - Criterios para caracterizar las superficies urbanas

En los países industrializados, las superficies de las ciudades ocupadas por los suelos naturales (espacios verdes, zonas no construidas, etc.) son generalmente amplias y claramente disociadas de las superficies impermeables (Bouvier, 1990). El análisis de gran cantidad de datos hidrológicos ha permitido verificar que en relación a las superficies impermeables la contribución de las superficies naturales es débil, por lo que en la práctica esta contribución es considerada despreciable (Desbordes, 1974).

Tabla 5.1. Caracterización del tipo y estado de evolución de la urbanización.

U1	Zonas no urbanizadas
U2	Urbanización precaria y/o de tipo social, en el inicio de su desarrollo
U3	Urbanización de tipo social en estado más avanzado de desarrollo
U4	Urbanización típica en desenvolvimiento avanzado
U5	Urbanización “tradicional”, central, sectores densamente urbanizados
U6	Sectores comerciales
U7	Sectores industriales

(Fuente: Bertoni *et al.*, 2002).

Este comportamiento ha conducido a asociar, como primera aproximación, el coeficiente de escurrimiento al coeficiente de impermeabilización de la cuenca. Más exactamente, si las superficies no impermeabilizadas no contribuyen significativamente, el coeficiente de escurrimiento evaluado para las crecidas correspondientes a las precipitaciones frecuentes resulta muy similar al coeficiente de impermeabilización de la cuenca.

Estas características, asociadas a diversos países templados y fríos del Hemisferio Norte, no son universales. Bouvier (1990) observó en diversas ciudades de África Occidental que la relación entre superficies impermeabilizadas y no revestidas no es comparable a aquella de los países industrializados. En esas ciudades las superficies no revestidas pueden contribuir de manera significativa al escurrimiento. Entre las causas que el autor identificó como responsables de este comportamiento se encuentran:

1. Las intensidades superiores de los aguaceros africanos en relación a aquellos de los países industrializados, básicamente de los observados en Francia.
2. Diferencias notables en la organización entre las superficies no revestidas y las superficies impermeabilizadas de las ciudades africanas y europeas.

Las intensidades de precipitación observadas en América Latina varían de región en región. Aunque no son tan elevadas como las observadas en África Occidental, superan los valores medios observados en Europa Central. La Figura 5.5 permite comparar las intensidades registradas en ciudades de América del Sur, África del Oeste y Francia. Se observa que en lo que se refiere a la intensidad máxima asociada a duraciones entre 30 min y 2 h, la región central de Argentina se encuentra en una posición intermedia. Así, las intensidades son menores que aquellas ligadas a los climas tropicales, pero más importantes que las referidas a las ciudades francesas.

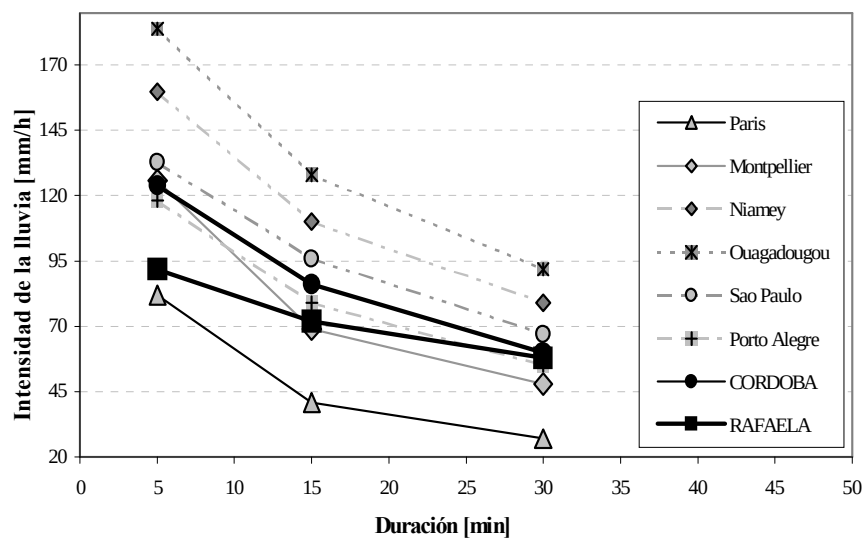


Figura 5.5. Curvas i-d-f correspondientes a ciudades de América Latina, África Occidental y Europa, para un tiempo de retorno, $T_r = 2$ años.
(Fuentes: Bouvier, 1990; Tucci, 1993; Chocat, 1997b; Bertoni, 2001).

Ello indica la pertinencia de caracterizar las superficies no solamente por su estado (impermeabilizadas o no revestidas), sino

también por su posición respectiva en relación a la red de drenaje, de manera de describir más precisamente las interacciones y las contribuciones respectivas al escurrimiento.

5.5.4 - Clasificación de las superficies urbanas

Los distintos tipos de ocupación del suelo encontrado en cada una de las cuatro ciudades estudiadas por Bertoni et al. (2002) fueron descriptos y cuantificados según dos criterios básicos: (i) por el estado de las superficies y (ii) por la posición relativa de las mismas frente al escurrimiento.

Según el primer criterio las superficies fueron clasificadas como revestidas o no revestidas. Por su parte, siguiendo el segundo criterio las superficies fueron clasificadas como: (a) superficies impermeables directamente conectadas a la red o no conectadas a la red y (b) superficies no revestidas cercanas (“C”) o lejanas (“L”) a la red. Considerando las combinaciones posibles entre estos grupos, fueron identificados siete tipos diferentes de superficies. Las categorías consideradas se ilustran en la Figura 5.6. En ella se distinguen:

Superficies impermeabilizadas:

- Directamente conectadas a la red, IMP1 (superficie tipo 1);
- No directamente conectadas a la red, IMP2, subdivididas a su vez en:
 - IMP2 (C) (superficie tipo 2), el escurrimiento que generan transita sobre las superficies no revestidas localizadas cerca de la red;
 - IMP2 (L) (superficie tipo 3), el escurrimiento que generan transita sobre las superficies no revestidas consideradas alejadas de la red.

Superficies no revestidas:

- Próximas a la red, PER(C), subdivididas a su vez en:
 - PER1(C) (superficie tipo 4), captadoras del agua proveniente de las superficies impermeabilizadas;
 - PER2(C) (superficie tipo 5), no captadoras del agua proveniente de las superficies impermeabilizadas.
- Alejadas de la red, PER(L), subdivididas en:
 - PER1(L) (superficie tipo 6), captadoras del agua proveniente de las superficies impermeabilizadas;
 - PER2(L) (superficie tipo 7), no captadoras del agua proveniente de las superficies impermeabilizadas.

En algunas de las áreas estudiadas una octava categoría resultó al distinguir entre superficies IMP1 correspondientes a calles y veredas y las pertenecientes a lotes individuales.

El objetivo de identificar los diferentes tipos de superficies urbanas estuvo animado por el interés de proceder, a posteriori, a precisar el rol de importancia de cada tipo sobre la producción y la transferencia del escurrimiento superficial.

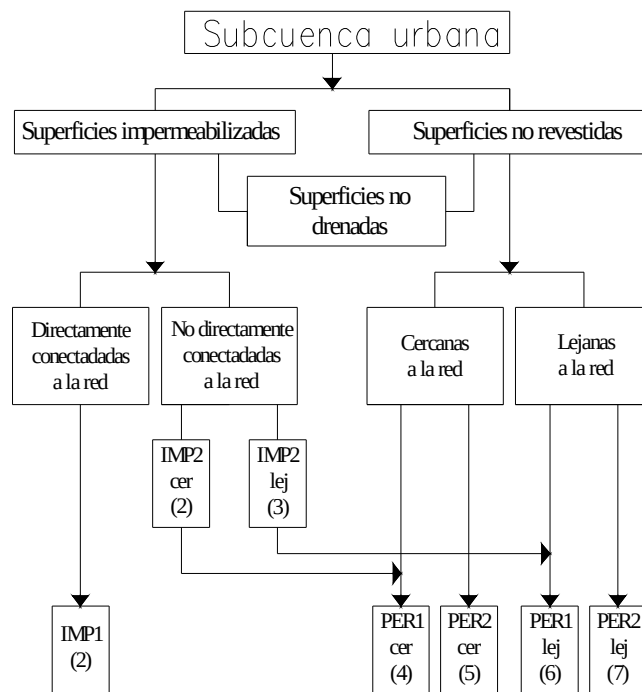


Figura 5.6. Clasificación de las superficies drenantes sobre una cuenca urbana (Bertoni, 2001).

5.5.5 - Metodologías de clasificación empleadas

En su trabajo Bertoni *et al.* (2002) aplicaron cuatro metodologías. Las mismas consistieron en:

- La estimación de las superficies revestidas a partir de las informaciones digitales existentes en los sistemas de información geográfica (SIG) de los catastros municipales.
- La estimación estadística de las superficies revestidas (impermeabilizadas) a partir de la identificación semi-automática (“supervisada”) sobre fotografías aéreas digitales, en base al software ArcView 3.2© y su módulo Image Analysis©.

- (c) La estimación estadística de las diferentes categorías de superficies drenantes a partir de la identificación manual de puntos aleatorios sobre imágenes digitales de fotografías aéreas.
- (d) La estimación estadística de las superficies revestidas (impermeabilizadas) a partir de la clasificación semi-automática de imágenes digitales satelitales LandSat, según el proceso basado en el concepto de “pixel mistura” propuesto por Campana (1995).

Los estudios fueron basados en versiones actualizadas de los catastros municipales, compatibles con las fechas de las fotografías aéreas y de las imágenes disponibles.

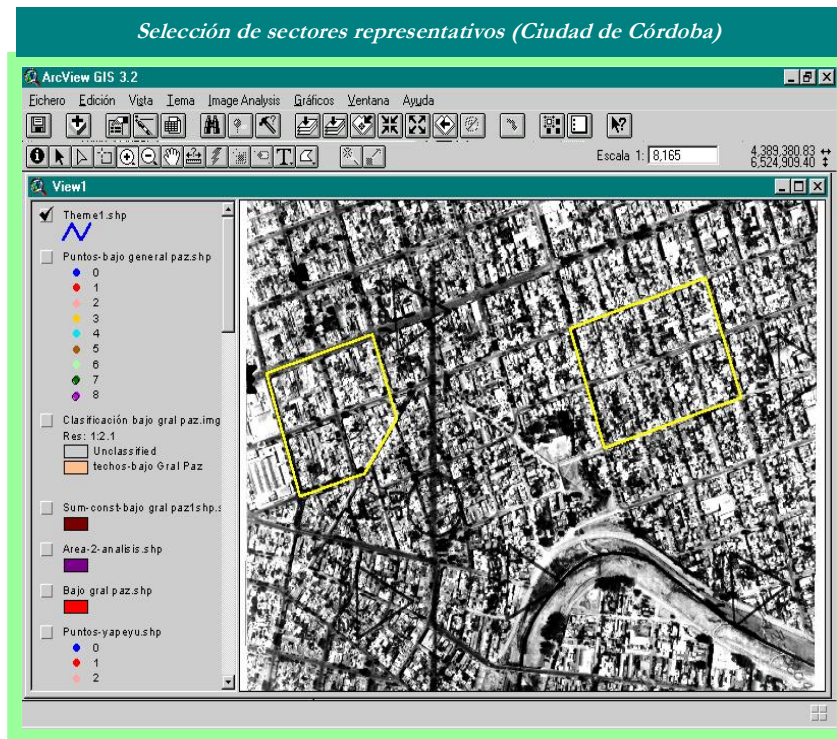


Foto 5.9 Selección de sectores representativos en la ciudad de Córdoba en base a fotografías aéreas (software ArcView GIS 3.2©).

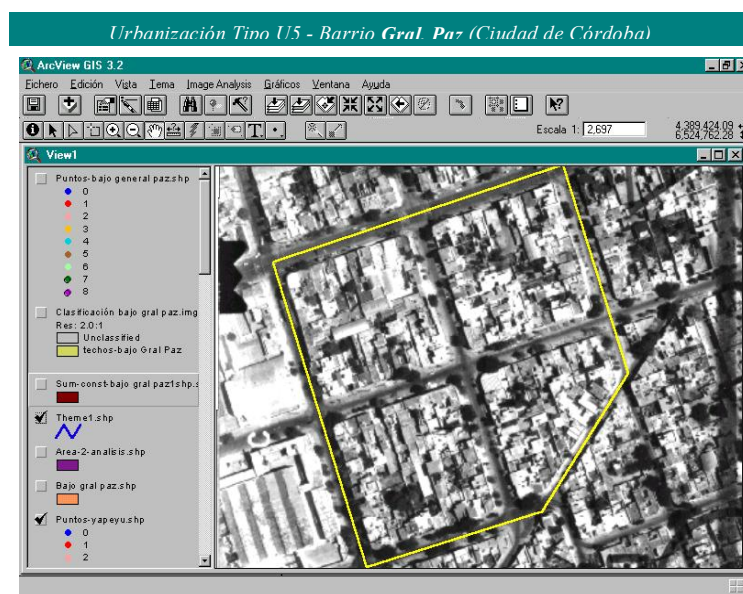


Foto 5.10. Selección de un sector representativo. Barrio Gral. Paz, ciudad de Córdoba. (software ArcView GIS 3.2©).

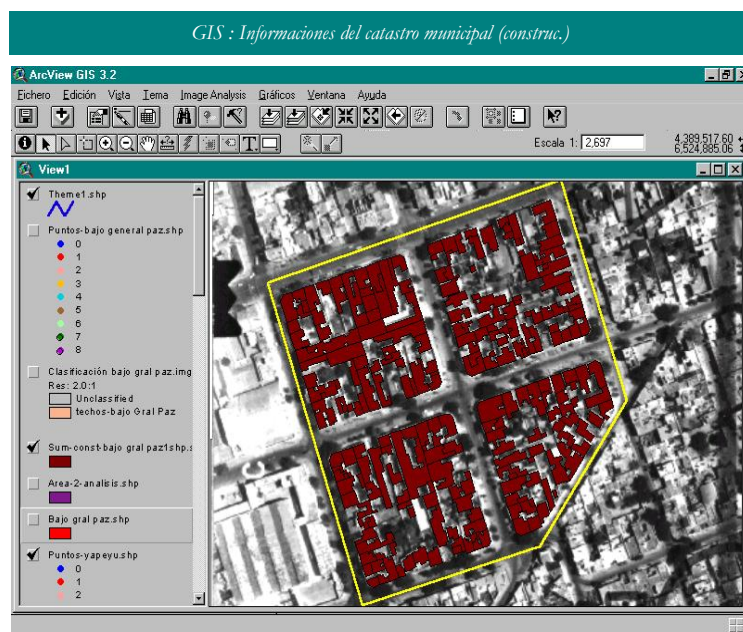


Foto 5.11. Estimación de áreas impermeables a partir del catastro municipal.. Barrio Gral. Paz, ciudad de Córdoba. (software ArcView GIS 3.2©).

Con excepción de la última metodología, que debido a la disponibilidad de informaciones estuvo reservada a la ciudad de Rafaela, las restantes fueron aplicadas a las cuatro ciudades analizadas. Estas últimas fueron aplicadas a áreas “representativas” de cada una de las urbanizaciones consideradas. Por el contrario, la clasificación basada en la imagen satelital de Rafaela fue empleada para asociar los porcentajes de revestimiento al conjunto global de urbanizaciones presentes en la ciudad.

Además de implicar procesos de cálculo diferentes, las cuatro metodologías empleadas arrojan diferentes tipos de resultados. En función de ello fueron realizadas tareas complementarias destinadas a tornar comparables a los resultados entre sí. La aplicación de diversas metodologías se justificó por el interés de comparar los porcentajes de impermeabilización locales con valores presentados por otros autores, referidos a datos de diferentes países.

La metodología basada en los SIG municipales implicó la medición detallada de todas las superficies revestidas dentro de las áreas “representativas” elegidas. En este caso el porcentaje total referido a estas superficies fue obtenido sumando los valores asociados a las construcciones (SIG) a los derivados de considerar las calles y veredas municipales (según mediciones realizadas sobre las imágenes). La metodología permitió identificar globalmente las superficies impermeables (superficies tipo IMP1 e IMP2 de la Figura 5.6), asociadas a cada tipo de urbanización analizado.

La metodología basada en la clasificación automática de superficies revestidas implicó un procesamiento más veloz de las imágenes disponibles y, al igual que la anterior, fue empleada para identificar globalmente las superficies impermeables asociadas a cada tipo de urbanización analizado.

La metodología que implicó la evaluación manual de puntos se basa en la desigualdad de Chebyshev y en la generación de puntos aleatorios según las técnicas de Monte Carlo. Este proceso implicó el trabajo más minucioso y demorado, siendo el único que permitió detallar las diferentes categorías de superficies previamente citadas, asociadas en cada caso a cada uno de los tipos de urbanización analizados.

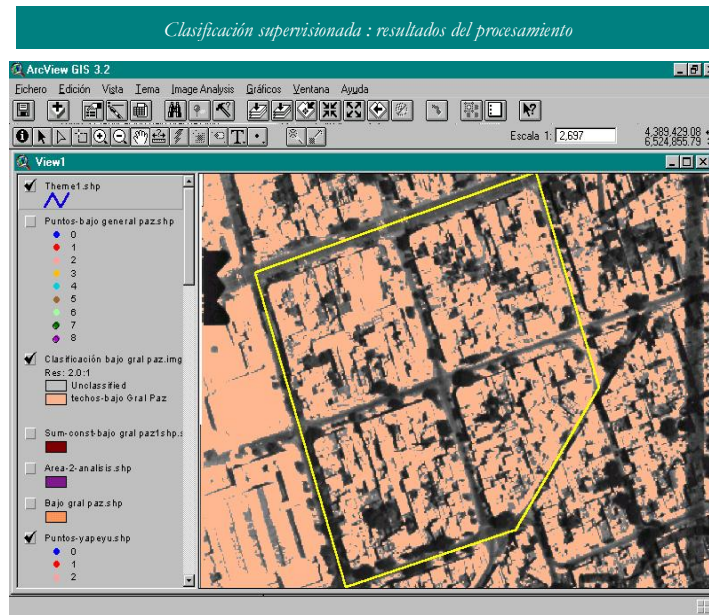


Foto 5.12. Estimación de áreas impermeables mediante clasificación automática. Barrio Gral. Paz, ciudad de Córdoba.(software Image Analysis©).

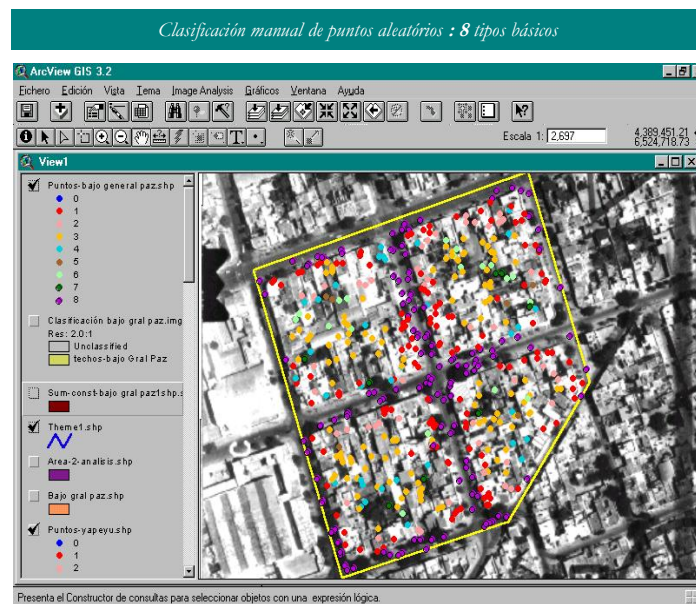


Foto 5.13. Estimación de áreas impermeables mediante clasificación manual de puntos aleatorios. Barrio Gral. Paz, ciudad de Córdoba. (software ArcView GIS 3.2©).

5.5.6 - Síntesis de los resultados obtenidos

En las Tabla 5.2, Tabla 5.3 y Tabla 5.4 se presenta una síntesis de los resultados obtenidos por los autores. Las Tabla 5.3 y Tabla 5.4 se refieren a las fracciones impermeables totales registradas en las ciudades de Córdoba y Rafaela respectivamente. Ambas tablas presentan los valores obtenidos en base a cada una de las metodologías empleadas como así también las mayores diferencias (en porcentaje) observadas en los resultados.

Por su parte, la Tabla 5.6 sintetiza la evolución de las distintas fracciones permeables e impermeables observadas en cada uno de los tipos de urbanización analizados para la ciudad de Córdoba.

Los menores valores de estimación de los porcentajes de impermeabilización fueron determinados empleando la medición detallada, según el catastro municipal (SIG municipal). Por su parte, la estimación estadística según el proceso manual de clasificación de puntos aleatorios arrojó los mayores porcentajes. La estimación estadística según el proceso de clasificación supervisada permitió estimar valores intermedios. En lo que respecta a la metodología basada en la clasificación de Imagen LandSat (ciudad de Rafaela), la misma se aproximó a la estimación según el SIG municipal.

Entre las razones que justifican este comportamiento los autores citan:

- El catastro municipal no considera veredas internas de los lotes ni patios impermeables.
- Las construcciones localizadas en los fondos de los lotes no siempre son declaradas o detectadas por el Municipio.
- La clasificación supervisada presenta inconvenientes en barrios que poseen vegetación frondosa.

En síntesis, las diferencias medias entre los distintos métodos empleados fueron del orden del 20 %. Considerando criterios tales como rapidez del trabajo, calidad de la estimación y objetivo del estudio, los autores concluyeron que:

- Para estudios a nivel de micro drenaje: la estimación estadística manual es la más confiable.
- Para estudios a nivel de planificación: la estimación supervisada (“automática”) arroja valores compatibles con el objetivo del estudio.

Tabla 5.2. Porcentajes correspondientes a diferentes fracciones impermeables de la Ciudad de Córdoba, Argentina.

	Tipo de superficie	Ciudad de Córdoba						
		U2	U3	U4	U5	U6	U7	UR
Revestida	8	31	26	24	24	7	25	21
	1	0	16	12	42	90	37	3
	2	17	5	18	6	0	2	11
	3	9	6	9	12	1	7	10
Subtotal	IMP	57	53	63	84	97	71	45
No Revestida	4	14	11	11	5	0	7	10
	5	10	15	8	4	0	11	17
	6	7	9	11	5	3	5	6
	7	12	12	6	3	0	6	22
Subtotal	PER	43	47	36	17		29	55
TOTAL		100	100	100	100	100	100	100

UR: urbanización residencial, de tipo especial.

(Fuente: Bertoni et al., 2002)

Tabla 5.3. Fracción impermeable total estimada para la ciudad de Córdoba, Argentina.

CORDOBA	FRACCIÓN IMPERMEABLE TOTAL				
	Tipo de Urbanización	Puntos Aleatorios	Catastro Municipal	Clasificación Supervisada	Diferencia [%]
Barrios					
Bajo Gral. Paz	U5	86	56	68	21
Yapeyú	U5	84	66	73	13
Alta Cba.	U5	75	67	57	24
Don Bosco	U4	61		46	25
Gral. Paz	U5	80		64	20
Jardín	U4	60		53	12
Matienzo	U4	67		59	12
Marquez 1	U2	57		51	11
Marquez 2	U3	53		43	19
La Salle	UR	45		34	24
Centro 1	U5	94		88	6
Centro 2	U6	98		90	8
Ferreyra	U7	70		54	23

(Fuente: Bertoni et al., 2002)

Tabla 5.4. Fracción impermeable total para la ciudad de Rafaela, Argentina.

RAFAELA		FRACCIÓN IMPERMEABLE TOTAL			
Tipo de Urbanización	Puntos Aleatorios	Catastro Municipal	Clasificación Supervisada	Imagen LandSat	Diferencia [%]
U2	36	30	63	20	17
U3	31	18			42
U4	47	38		44	19
U5	72	58		59	19
U6	89	75			16
U7	50	48			4

(Fuente: Bertoni et al., 2002)

5.5.7 - Comparación con informaciones de otros países

Como los porcentajes de áreas impermeables representan una información esencial para la planificación urbana, los resultados de las metodologías empleadas fueron comparados con:

- (a) Los porcentajes de impermeabilización preestablecidos por el U.S. SCS (Shamsi, 1999), asociados a distintos niveles de urbanización.
- (b) La relación ligada a la densidad de población presentada por Campana y Tucci (1994) para varias ciudades de Brasil y por Desbordes (1985) para dos ciudades de Francia.

En la Tabla 5.5 se presentan los porcentajes propuestos por el U.S. SCS y los valores medios obtenidos por los autores para las cuatro ciudades argentinas. La tabla permite observar dos tendencias claras:

1. Como era de esperar, los porcentajes de impermeabilización se incrementan a medida que aumenta el grado de desarrollo de la urbanización (desde urbanizaciones tipo U2 a tipo U6).
2. Para cada tipo de urbanización se observa una tendencia al incremento de los porcentajes de impermeabilización a medida que aumenta el tamaño de la ciudad.

Las siguientes particularidades también se desprenden de la tabla:

- Las urbanizaciones de menor desarrollo (tipo U2 y U3) presentan valores de impermeabilización relativamente altos. Los porcentajes promedio son del orden del 30 % para Rafaela y llegan al 50 % para Córdoba. En consecuencia, el empleo de los porcentajes internacionales preestablecidos produciría una importante subestimación.
- Aunque en menor grado, los porcentajes preestablecidos para los sectores comerciales (U6) también tienden a producir una subestimación de la impermeabilización, siendo la misma más considerable para la ciudad de mayor tamaño (Córdoba).

En contrapartida, los porcentajes preestablecidos se compatibilizan con las urbanizaciones tipo U4 (densa) y U7 (industrial) de la ciudad de Córdoba.

Tabla 5.5. Porcentajes de impermeabilización propuestos por el SCS (USA) y estimados en base a datos de cuatro ciudades argentinas.

Uso de Suelo	Característica General	Valor SCS (USA)	T.U.	Ciudad de Argentina				
				Córdoba	Río Cuarto	Rafaela	V. Carlos Paz	
Sector Comercial	Comercial	85	U6	97	89	89		
Sector Industrial	Industrial	72	U7	71		50		
Urbanización Densa	Tamaño de lote < 500 m²	65	U4	63	58	47		
			U5	84	78	72		
Urbanización Media	Tamaño de lote entre 500 y 1000 m²	51	UR	45	35	47	34	
Urbanización Baja	Tamaño de lote > 1000 m²	16	U3	53	35	30		
Urbanización Social o Planes de Gobierno	Tamaño de lote medio < 450 m²	-	U2	57	51	35		

T.U.: tipo de urbanización, según descripción citada precedentemente.

(Fuente: Bertoni et al. , 2002)

Por su parte, en la Figura 5.7 se presenta la relación entre el porcentaje de áreas impermeables y la densidad poblacional estimada para las ciudades de la provincia de Córdoba analizadas. En este caso el método empleado para la estimación de las áreas impermeables fue el de la clasificación “supervisada” de fotografías aéreas. La citada figura incluye también los valores presentados por Campana y Tucci (1994) para varias ciudades de Brasil.

Cabe consignar que en el caso de las ciudades de Brasil los valores fueron determinados siguiendo la metodología basada en la clasificación de imágenes LandSat, aplicando el mismo software que fuera empleada en Argentina para la ciudad de Rafaela. Por lo tanto, la citada figura permite una comparación casi inmediata entre las tendencias observadas.

Se observa que aún cuando los datos argentinos presentan cierta dispersión, los mismos siguen una tendencia diferente a la registrada en Brasil. En efecto, la tendencia es la existencia de una mayor superficie impermeable “per cápita”, tendencia que incluye a las áreas céntricas de ambas ciudades argentinas.

Por su parte, en la Figura 5.8 adicionalmente se observan los puntos correspondientes a las restantes ciudades argentinas estudiadas, como también 2 valores indicados por Desbordes (1985) para ciudades de Francia. En este caso la totalidad de los valores argentinos fueron basados en el proceso estadístico manual de clasificación de puntos.

Aún cuando los resultados revisten un carácter preliminar debido a la reducida cantidad de ciudades analizadas, una explicación de las diferentes tendencias observadas en Brasil y Argentina estaría dado por:

- El mayor espacio horizontal “per cápita” ocupado por los habitantes urbanos de Argentina, hecho asociado al menor tamaño relativo de las ciudades argentinas.
- La significativa impermeabilización de patios y veredas en las ciudades argentinas, que contrasta con la existencia en las ciudades brasileñas de áreas con desarrollo de abundante vegetación intercaladas con los sectores revestidos.

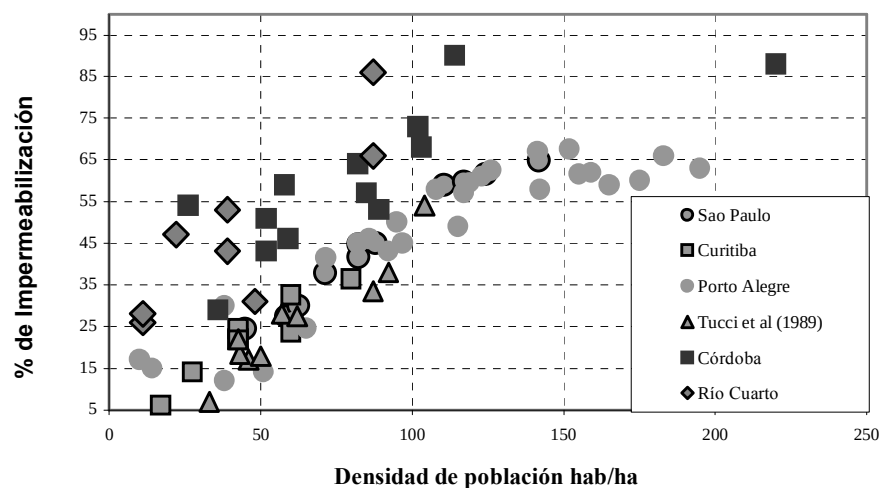


Figura 5.7. Relación entre el porcentaje de áreas impermeables y la densidad poblacional estimada para diversas ciudades de Brasil y Argentina. Método de estimación de áreas impermeables argentinas: clasificación “supervisada” de fotografías aéreas.
(Fuente: Bertoni et al., 2002)

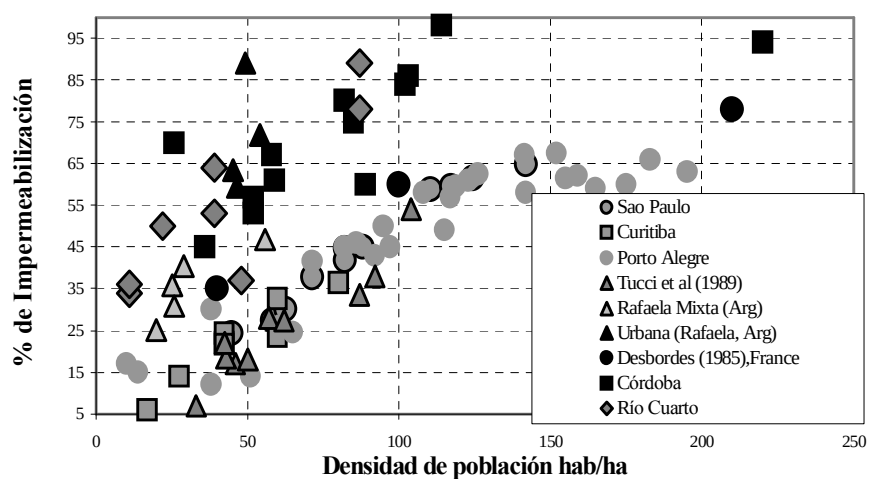


Figura 5.8. Relación entre el porcentaje de áreas impermeables y la densidad poblacional estimada para diversas ciudades de Brasil, Argentina y Francia. Método de estimación de áreas impermeables argentinas: clasificación “manual” de puntos aleatorios.
(Fuente: Bertoni et al., 2002).

CAPITULO 6

URBANIZACION E INUNDACIONES EN SISTEMAS HIDRICOS DEL CENTRO DE LA REGION PATAGONICA

Juan José Serra

6.1 - Inundaciones en el contexto regional

Entre la cordillera de Los Andes y el Océano Atlántico, la región patagónica presenta los paisajes típicos de montañas y valles, de costas, y de extensas mesetas entre ambos extremos geográficos (Figura 6.1).

A excepción de una delgada franja cordillerana, de alta pluviosidad orogénica, las precipitaciones nivas o de lluvias disminuyen abruptamente hacia el Este con medias anuales reducidas y propias del clima semiárido (150 a 200 mm/año).

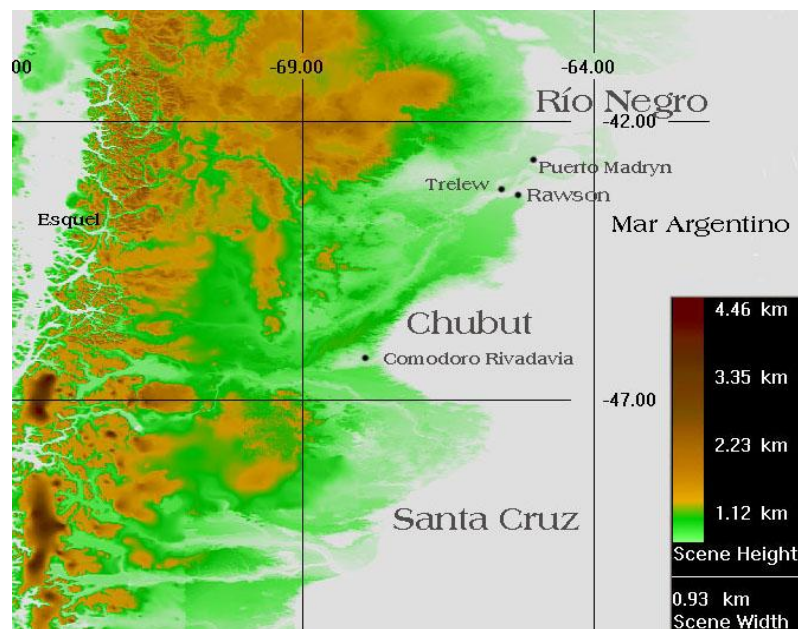


Figura 6.1. Región Patagónica (centro): paisajes de montañas y serranías, mesetas y costa en las Provincias de Chubut, Sur de Río Negro, y Norte de Santa Cruz.

Pese a la baja densidad poblacional y al clima semiárido, los problemas de inundaciones manifiestan un riesgo creciente por la ocupación y urbanización progresiva de las riberas y mallines en los ríos cordilleranos, de cañadones y depresiones lagunares en la meseta, de los valles y bajos inundables en el valle inferior. La caracterización de este riesgo de inundación puede interpretarse por la Geografía regional que distingue los dos factores determinantes de la amenaza hídrica: el clima húmedo a semiárido y la conformación físico-morfológica del paisaje de montaña y de la meseta central y costera.

6.2 - Crecidas e Inundaciones en Cuencas Cordilleranas

6.2.1 - Urbanizaciones vulnerables y acciones encaradas

En la franja cordillerana, de mayor pluviosidad, se destacan las cuencas de los sistemas tributarios al Pacífico (Manso-Puelo, Futaleufú, Carrenleufú-Pico). También parte de las cuencas imbríferas en las nacientes de los ríos atlánticos como los sistemas del río Chubut, del río Senguer (hoy reducido a un sistema endorreico que resume en los Lagos Muster y Colhue Huapi) o del río Santa Cruz.

Las urbanizaciones que se desarrollaron a orillas de ríos y arroyos de la cordillera son altamente vulnerables a la amenaza de crecidas.

En general, las nuevas urbanizaciones tienen una escasa consideración del impacto hidroambiental, a expensas de incrementar su vulnerabilidad. La infraestructura en las orillas y espacios bajos recrece al ritmo que marca el comercio inmobiliario, fuertemente valorizado en los últimos años más por su valor paisajístico que por el tradicional valor de producción agrícola-ganadera de las tierras (Foto 6.1).

Diversas poblaciones de la región destacan este irresuelto problema. En la Comarca Andina (Nor-Oeste de Chubut y Sur-Oeste de Río Negro), son ejemplo de ello poblaciones como El Bolsón y Lago Puelo y sus asentamientos rurales a orillas del Río Quemquemtreu y Azul, la localidad de El Hoyo sobre el Río Epuyén, Cholila a orillas del Río Carrileufú, la ciudad de Esquel a orillas del Arroyo homónimo, Trevelin sobre el Río Percey y el poblado de Corcovado en el Carrenleufú. También, la localidad de Alto Río Senguer en el nacimiento del Río homónimo, Facundo en su tramo medio, la localidad de Río Mayo en el Mayo, afluente del Senguer.

Aún frente a la gravedad de las experiencias surgidas durante eventos extraordinarios en la última década, los problemas de inundación generados por crecidas de los ríos cordilleranos mantienen una preferencia a ser resueltos con obras localizadas de dragados y de corrección. Es decir, de dar respuestas políticas inmediatas más que a un enfoque integral y de planificación de ocupación de los espacios sometidos a una amenaza. En muchos casos, estas obras son onerosas y han demostrado un control de efectos limitado a un corto período de eficacia y a crecidas ordinarias, que dan una falsa sensación de seguridad a sus pobladores ribereños.

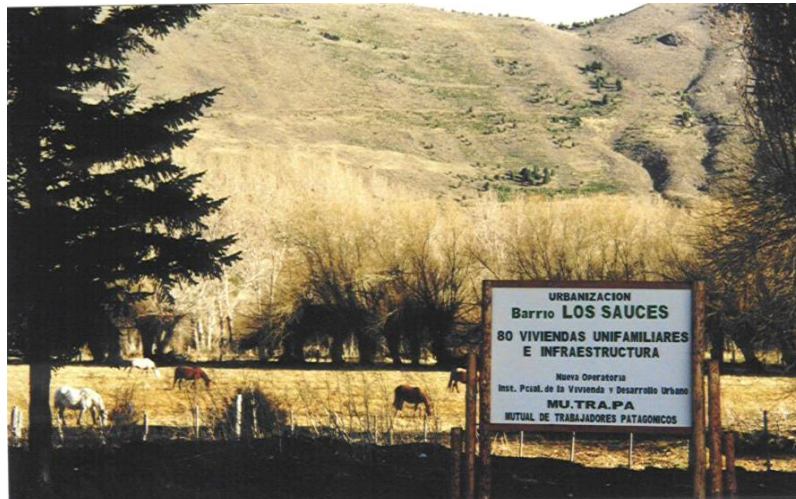


Foto 6.1. Esquel, Chubut: anuncios de urbanización privada en áreas inundables (mallines) del Valle Chico.

Con otro criterio de planificación, municipios como Trevelin y Lago Puelo han puesto en los últimos años el esfuerzo de gestión por efectuar obras de sistematización de cauces y márgenes sustentadas en estudios y proyectos técnicos previos. En estos casos, la disponibilidad parcializada de fondos en la fase constructiva dificultó la concreción de las obras, parcializó su construcción y retrasó en demasía su finalización. Las obras, planificadas para su ejecución en coincidencia con los meses de estiajes, debieron soportar en su etapa constructiva crecidas extraordinarias por dos años consecutivos. La modificación de la secuencia constructiva y la falta de partes de obra principales, fueron

claves para el colapso parcial de algunos espigones durante una crecida extraordinaria de gran magnitud. Sistemas similares y de tecnología más precaria desarrollados en costas del Lepá y El Maitén llevan casi dos décadas de eficaz comportamiento.

La ciudad de Esquel, caracterizada por la belleza natural del paisaje de montañas y morenas que la rodean, fue fundada sobre el circo de un antiguo glaciar y en las cercanías del límite divisorio de las aguas oceánicas. El Arroyo Esquel es una pequeña cuenca típica de montaña que nace en las estribaciones del Centro Turístico del Cerro La Hoya y otros picos divisorios de las aguas atlánticas y pacíficas. Este arroyo, luego de su pedemonte, circunda los barrios periféricos de la ciudad y atraviesa el casco de su infraestructura urbana en continuo crecimiento.

Si bien en las últimas décadas la cuenca ha manifestado crecidas de importancia y desbordes periódicos en su valle inundable, estos eventos no han tenido una magnitud excepcional o de emergencia hídrica. Sin embargo, la creciente ocupación de las tierras bajas o “mallines” por la infraestructura barrial y unifamiliar y la “urbanización de hecho” de un importante tramo del Arroyo, ha llevado a la gestión municipal a impulsar un estudio integral, realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia SJB en el año 2001. Ello se inscribe en el contexto de continuidad de una importante labor de planificación participativa desarrollado en el Plan Esquel-CEAS.

El trabajo concluyó con un *Plan Director* para el saneamiento y control de crecidas del Arroyo Esquel en el tramo urbano. Los estudios realizados, incluyen un documento base que recomienda un cambio de filosofía a futuro, y que sintetiza las ideas de “convivencia con las crecidas” y de “no construir en zona inundable”. El nuevo enfoque está dirigido a poner más atención a las restricciones en la ocupación de los espacios, asignándoles “usos compatibles con los pulsos de las crecidas y la preservación de los ecosistemas”. El proyecto propone un ambicioso *Plan Director* de acciones estructurales y no estructurales.

Las bases del Plan Director promueven el dominio de los conceptos de *amenaza*, *riesgo hidrológico*, *vulnerabilidad* y *riesgo de inundación* para la planificación de uso del hidroambiente y delimitación de las zonas inundables, conceptos ampliamente recomendados y difundidos por distintos autores y eventos científicos sobre el uso del recurso agua, y particularmente recomendados por el programa de Protección de Inundaciones que promueven los organismos nacionales de

financiamiento de grandes obras hídricas (PPI-SUCCE). Las acciones no estructurales, proponen para el Arroyo Esquel:

- la delimitación de línea de ribera y zonificación del valle aluvial,
- normas de regulación de uso del suelo en áreas con riesgos de inundación,
- plan de relocalización de infraestructura en zona prohibida o de restricción severa,
- programa permanente de monitoreo hidroambiental de la cuenca (PMH),
- plan de acción de emergencia hídrica (PADEH),
- programa de acciones de extensión educativa y difusión pública de los objetivos y metas del Plan Director,
- forestación y parquización del entorno del arroyo, adecuación de la infraestructura de servicios y estudio de impacto ambiental.

Las acciones estructurales del Plan Director incluyen los proyectos ejecutivos de las obras de canalización y sistematización y de sus obras complementarias en el tramo urbanizado del arroyo, con un particular diseño de ingeniería que procura una arquitectura hidráulica de integración al paisaje natural.

6.2.2 - Caudales máximos en cuencas pluvionivales del sistema O. Pacífico

Los registros históricos observados por la Red de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (AyEE, EVARSA), muestran - en la determinación del caudal máximo para el Sistema de Cuencas al Pacífico- la fuerte dependencia del parámetro de superficie de la cuenca, en relación a otros parámetros determinísticos, como la latitud y longitud u otros. Esto se evidencia en la gráfica de correlación simple realizada para una selección de estaciones de las diferentes cuencas pacíficas, resultando:

$$\text{Máximo } Q_{\text{medioanual}} = 0.2063 * S^{0.8003} ; R^2 = 0.884$$

como también por la regularidad demostrada por los caudales específicos medios anuales y mensuales (Figura 6.2). Por su magnitud, se destacan las recientes crecidas extraordinarias ocurridas durante la tormenta pluvionival de principios de octubre de 2002, evento en que en muchas cuencas se observaron caudales que superaron los máximos históricos, como el Río Percey, que a la altura de Trevelin se estima que superó los 400 m³/s (Figura 6.3) o el Azul en Lago Puelo, con estimaciones que superan los 500 m³/s.

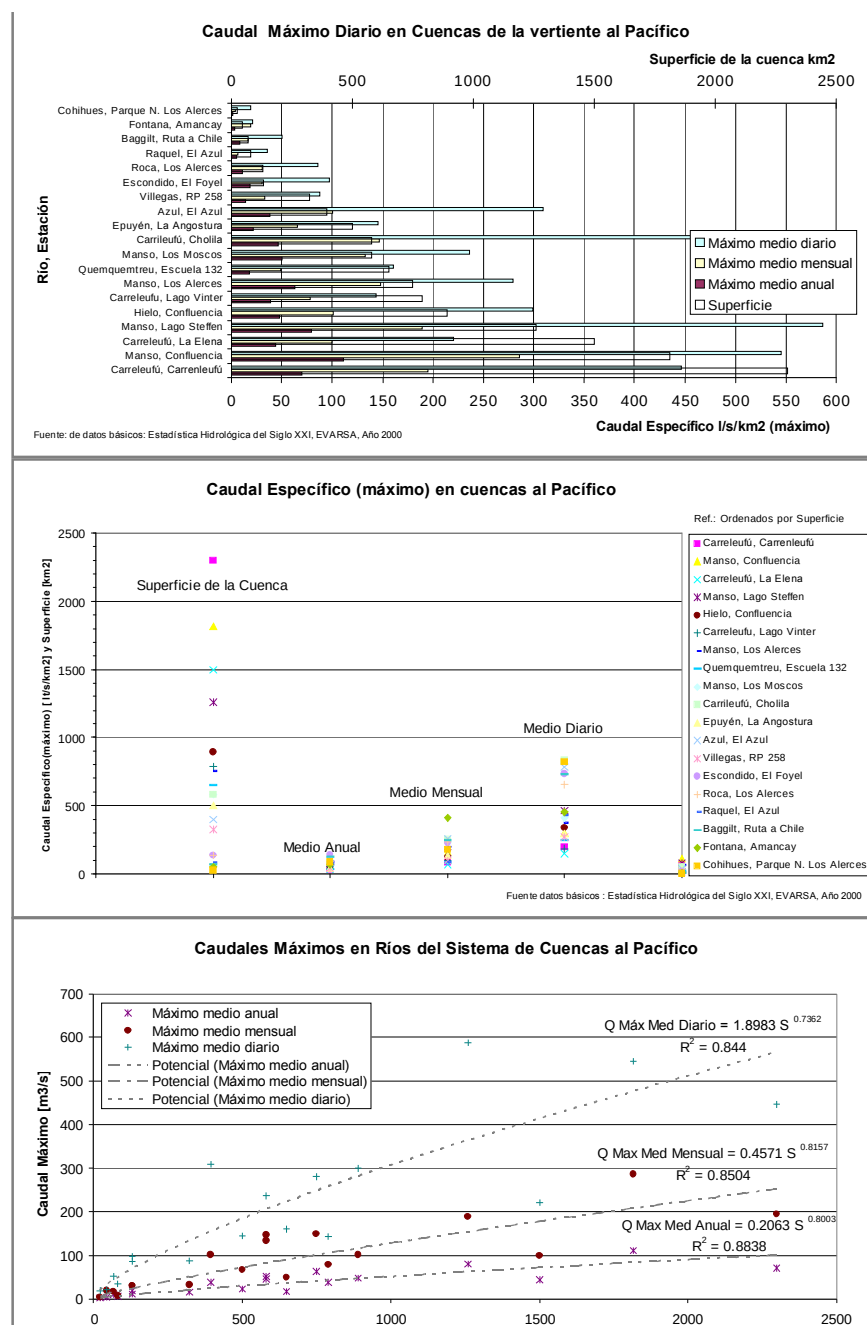


Figura 6.2. Caudales máximos aforados en las Cuencas del Sistema Océano Pacífico.
(Fuente: EVARSA)

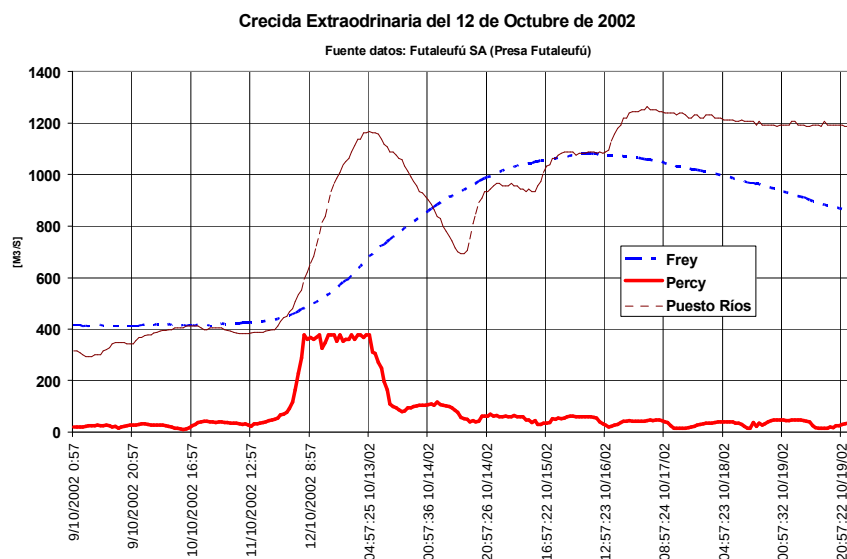


Figura 6.3. Magnitud de la crecida del 12/10/02 para los Ríos Percy (Puente de Hierro), Frey y en Puesto Ríos.
(Fuente: Mastronardi J., 2002, Futaleufú SA)

6.2.3 - Caudales máximos en cuencas pluvionivales sin registros hidrométricos

Uno de los problemas de la ingeniería regional en el uso y manejo del agua es la estimación de los caudales máximos en pequeñas y medianas cuencas donde las mediciones hidrométricas no existen o son mínimas.

La génesis de las crecidas de estas cuencas cordilleranas es pluvio nival. Aunque se registran crecidas en invierno, los caudales máximos son por las lluvias al comienzo del otoño y por el deshielo y lluvias de la primavera. Al respecto, Serra (2002a) investigó en base a datos del Arroyo Esquel (Chubut, Argentina) un método de estimación del caudal máximo para pequeñas cuencas pluvionivales de montaña de la región con escasez de datos hidrométricos.

En dicho trabajo se propone un modelo teórico de cálculo de la *lluvia equivalente* a partir de algoritmos básicos conocidos de la física de *fusión de nieves*, datos de temperaturas y temperaturas de punto de rocío medias diarias y la curva hipsométrica. Las estimaciones se efectúan para los escenarios de deshielo sin lluvias, deshielo con lluvias y de lluvias sin nieves (Figura 6.4).

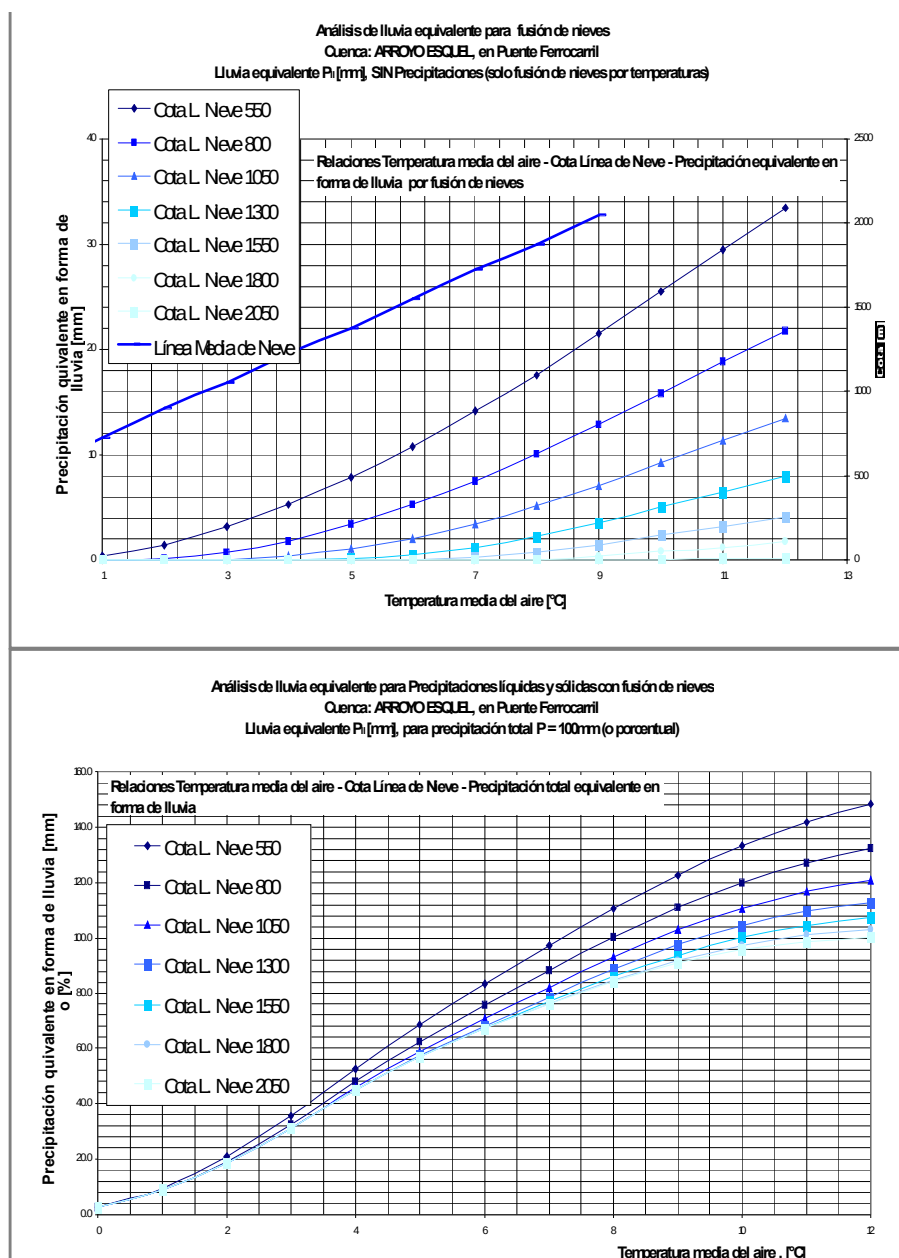


Figura 6.4. Lluvia equivalente, fusión de nieves y caudal máximo para la Cuenca del Arroyo Esquel, Chubut.
(Fuente: Serra, 2002a).

Para la *fusión de nieves sin lluvias* –caso de temperaturas altas luego de una tormenta de nieve–, se deduce que si bien la precipitación equivalente puede generar crecidas de deshielo, el caudal pico resulta menor al de crecidas máximas por lluvias sobre la cuenca sin nieves.

Para el escenario de *lluvia equivalente por fusión de nieves con lluvias*, las funciones teóricas obtenidas por simulación y que se muestran en la Figura 6.4 (Arroyo Esquel) sirven para explicar la génesis del caudal máximo en cuencas similares. De los resultados obtenidos, se deduce que existe una temperatura de corte, o temperatura que produce “más lluvia” que la que “cae”, es decir, donde la lluvia equivalente es mayor a la precipitación en forma de lluvia. Para el ejemplo de la cuenca analizada, esta temperatura media diaria del aire es de 9°C. Cuando la temperatura media diaria del aire es de 12°C y llueve sobre el cuenco completamente nevado la lluvia total equivalente alcanza un orden de magnitud del 120% respecto a la precipitada.

Además de la temperatura del aire y de punto de rocío, es importante la cota de la línea de nieve. Cuanto “más baja” es ésta, mayor será la producción de agua de fusión de nieves. A su vez, esta relación es inversa a la evolución de las temperaturas medias, ya que conforme avanza el invierno y se acerca la primavera la línea de nieve asciende. En pleno invierno, si bien la línea de nieve es baja, las temperaturas medias también lo son, siendo poco probable la presencia de días con temperaturas medias altas necesarias para la fusión. Inversamente, es poco probable la existencia de línea de nieve baja con temperaturas altas de primavera, excepto en nevadas tardías extraordinarias, que es el caso supuesto que se analiza. (nevadas tardías seguidas de lluvias con temperaturas medias elevadas en relación a la media del mes).

Para el ejemplo, puede observarse que la familia de curvas converge a la temperatura de 0°C. Conforme crecen los valores de temperaturas del aire, crece también la diferencia de la columna líquida total producida entre las cotas de línea de nieve extremas. Esta diferencia alcanza +40% entre cotas de líneas de nieve 550 y 2050 para una temperatura media diaria del aire de 12°C.

A su vez, puede observarse que para temperaturas medias diarias menores a los 7,5°C la producción de agua líquida en el cuenco es menor a la precipitada para cualquier cota de línea de nieve, aún para las más bajas (cuenco completo cubierto de nieve).

Desde el punto de vista teórico, podría aceptarse que en orden de magnitud la lluvia total por fusión de nieve puede incrementar hasta un

20% a la precipitación caída en áreas bajo la isoterma de 0°C. El período de nevadas para esta zona cordillerana es entre junio y agosto, donde los cerros se encuentran con nieve y la línea de nieve en cotas relativamente bajas (período invernal).

En una tormenta de lluvia en estas condiciones, la parte que genera precipitación efectiva es la que cae por debajo de la línea de nieve. Por encima de ella, se supone que para esas temperaturas todo lo que precipita es nieve. De lo que se deduce que si bien con cerros nevados una tormenta puede “lavar” mantos de nieve que incrementan el valor de lluvia caída -en no más de aquel porcentual-, este efecto es contrarrestado por la mayor área cubierta donde la precipitación es sólida, no generando simultáneamente escorrentía, sino días después cuando sobreviene el deshielo.

Para períodos de retorno elevados, la ocurrencia de fenómenos extremos y simultáneos de precipitación, temperaturas y cobertura de nieve máximas en el cuenco, daría como resultado una crecida de recurrencia mucho mayor. La combinación en términos de probabilidad de nevadas tardías seguidas de lluvias con temperaturas altas, al promediar la primavera, es la determinante de las más grandes crecidas.

A los fines estimar caudales máximos por modelos de simulación tipo lluvia – escorrentía, se considera aceptable para las cuencas de la región a analizar las precipitaciones máximas aplicadas con la temperatura media diaria en los meses picos (3°C en agosto a 8,2°C en octubre), y suponiendo una cobertura de nieve a cotas relativamente bajas y ocurrida por nevadas tardías en días previos a la lluvia. En tal hipótesis, la lluvia total equivalente no es mayor a la precipitación caída, como surge de los ábacos mostrados.

Se deduce de los resultados, que existen cuencas pluvionivales como las del ejemplo, en que una tormenta pluvionival puede generar crecidas de volúmenes de escorrentía de importancia con picos relativamente altos, pero cuya onda resulta más amortiguada que la producida por una lluvia extraordinaria sobre el cuenco sin nieves.

Por ello, para la maximización de caudales picos de crecidas será determinante la lluvia caída en el área completa de la cuenca, generalmente en estaciones de otoño o primavera, con menor nieve en los cerros pero con mayores temperaturas.

El trabajo concluye que para la investigación de la tormenta de diseño y maximización de caudales en pequeñas a medianas cuencas pluvionivales de montaña con escasez de datos hidrométricos, se

aconseja aplicar como criterio de cálculo la lluvia sintética generalizada en toda la cuenca sobre suelos sin nieve o con escasa nieve depositada. Este criterio no implica desconocer la importancia de los aportes níveos en la génesis de las crecidas de deshielo, los que en volúmenes de aportes sí resultan importantes.

6.3 - Crecidas torrenciales en Paisaje Hídrico de Meseta Patagónica (PHMP)

6.3.1 - Aspectos Generales

La fuerte variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones en la región caracteriza también a la distribución de los excesos superficiales y a sus escasos cursos y cuerpos de agua. Sin embargo, esta escasez de lluvias en la meseta y en la zona costera contrasta con la existencia de eventos meteorológicos extraordinarios, de reducida frecuencia, pero que producen descargas superficiales importantes y confieren potencialidad torrencial a las cuencas aluvionales.

Dos manifestaciones surgen de esta amenaza. Por un lado, la radicación urbana que impulsada por la escasez de agua se ubicó alrededor de los cursos de agua, con el consiguiente riesgo de crecidas fluviales. La colonización del Valle Inferior del río Chubut (VIRCh) de fines del siglo XIX, o de los cursos medios e inferiores de los restantes ríos sureños, muestran hoy conglomerados urbanos con permanentes problemas de inundaciones.

Más grave aún, resultan las crecidas torrenciales sobre urbanizaciones en depresiones lagunares temporarias y en cañadones, que generalmente integran un sistema aluvional propio de meseta. Estos componentes del paisaje, normalmente secos y con escasos signos de activación hídrica, constituyen la red natural de almacenamiento y drenajes superficiales que disipan crecidas infrecuentes pero de considerable magnitud. En los últimos años, asociado al fenómeno de El Niño-No Niño, ha sido más común la aparición de eventos meteorológicos extremos y excepcionales que castigaron duramente la mayoría de las poblaciones patagónicas, cuya infraestructura crece a un ritmo significativamente mayor al promedio nacional. Dolavon, Gaiman, Trelew o Rawson, en la región del VIRCh (Figura 6.5), Puerto Madryn y Comodoro Rivadavia, General Roca y muchas ciudades de Río Negro como de las restantes provincias patagónicas padecen esta problemática.

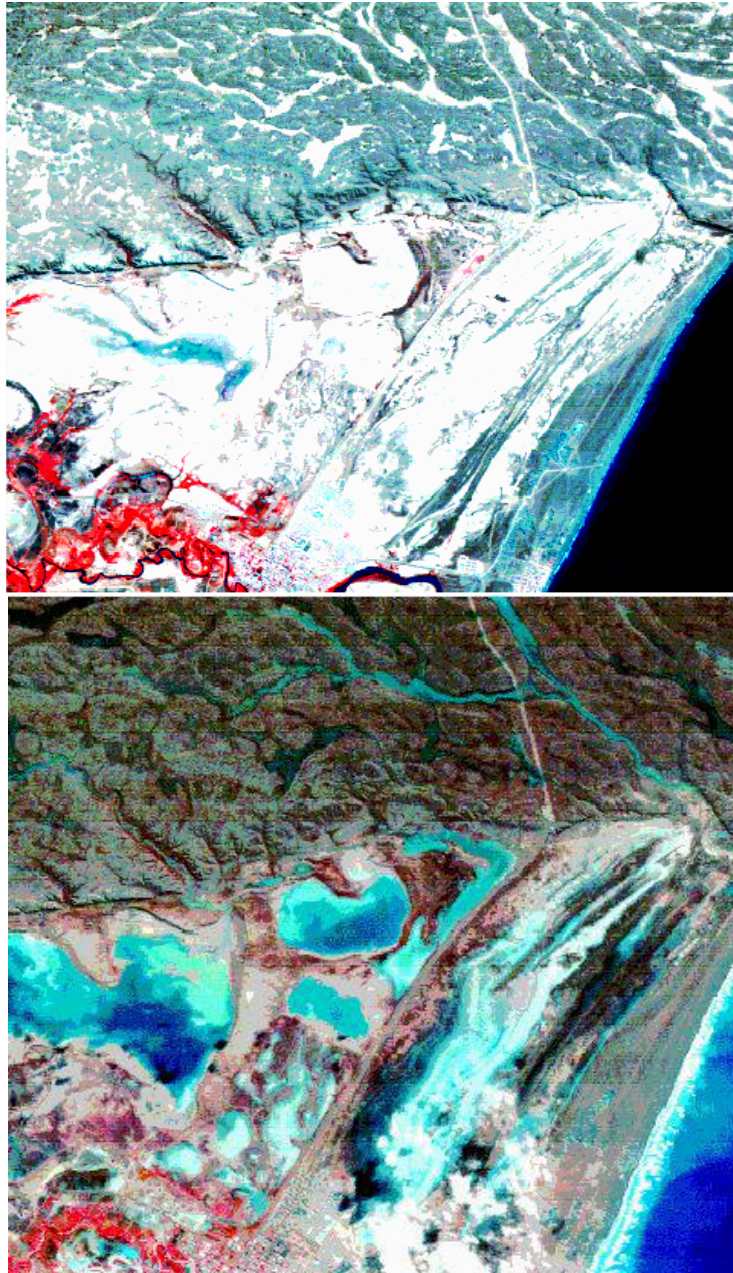


Figura 6.5. Zonas de meseta, valle, bardas y cañadones de la zona de contacto y cordones litorales en la costa. Se aprecian sistemas lagunares cerrados y cuasi-cerrados encadenados, el río Chubut en cercanías de su desembocadura (antes y durante la tormenta extraordinaria de abril de 1998). Abajo, la ciudad de Rawson.

6.3.2 - Aspectos climáticos

Una de las características del riguroso clima patagónico son los fuertes vientos predominantes del Oeste. Estos vientos se cargan de humedad en el océano pacífico y constituyen la fuente principal de precipitaciones, cuya génesis orogénica se aprecia en el marcado gradiente Oeste-Este de las isohietas. Las lluvias y nevadas dejan la mayor pluviosidad en las estribaciones montañosas orientales de Chile y nuestra alta cordillera, para disminuir fuertemente en pocos kilómetros al Este. En las regiones de las altas cumbres de la cordillera chubutense se registran módulos pluviométricos que superan los 3.000 mm anuales. Mientras tanto, en Esquel, a 30 km de estas cumbres se tienen precipitaciones medias de 600 mm y en Tecka, a menos de 100 km en línea recta, no supera los 200 mm anuales.

Estos vientos continúan secos hacia el Este y caracterizan la reducida pluviosidad de la meseta y la costa. Solo fenómenos extraordinarios pueden extenderse con lluvias y nevadas generalizadas que alcancen la costa atlántica, a causa de grandes centros de baja presión que se ubican en el Pacífico Sur en cercanías de la costa chilena.

También con muy escasa frecuencia suelen presentarse tormentas extraordinarias debidas a centros de baja presión de magnitud en el Atlántico Sur, provocando lluvias intensas localizadas o generalizadas en la franja costera y que pueden extenderse varias decenas de kilómetros hacia el interior del continente.

La meseta patagónica en su región central y costera, es de clima semiárido con precipitaciones medias anuales del orden de 180 mm.

6.3.3 - Aspectos geológicos de la región del VIRCh y su zona costera

La geología regional costera (Stampone *et al.*, 1977, 1998) se asienta en sedimentitas cenozoicas sobre las que descansan mantos sedimentarios de rodados patagónicos -conglomerados del pleistoceno- en estratos que en ocasiones son de matriz arcillosa, o bien limo arenosa. También de arenas, limos, arcillas de origen eólico, aluvial, coluvial, con predominancia de superficie de las arenas finas de voladuras. Estos estratos generalmente se apoyan en sustratos de sedimentitas más duras como limolitas, arcilitas, areniscas, hasta la roca firme impermeable (tobas). Meseta adentro, hacia el Oeste, pueden verse en zonas de rocas volcánicas del terciario. Como en la región del Valle Medio del río Chubut y la cuenca alta del Valle Inferior (Area Aluvional Dique-Boca

Toma), predominan los afloramientos volcánicos de pórfidos. En los valles de inundación y particularmente en el valle inferior, se encuentran suelos arenosos, limoarenosos y limoarcillosos, propios de planicies de inundación (Figura 6.6).

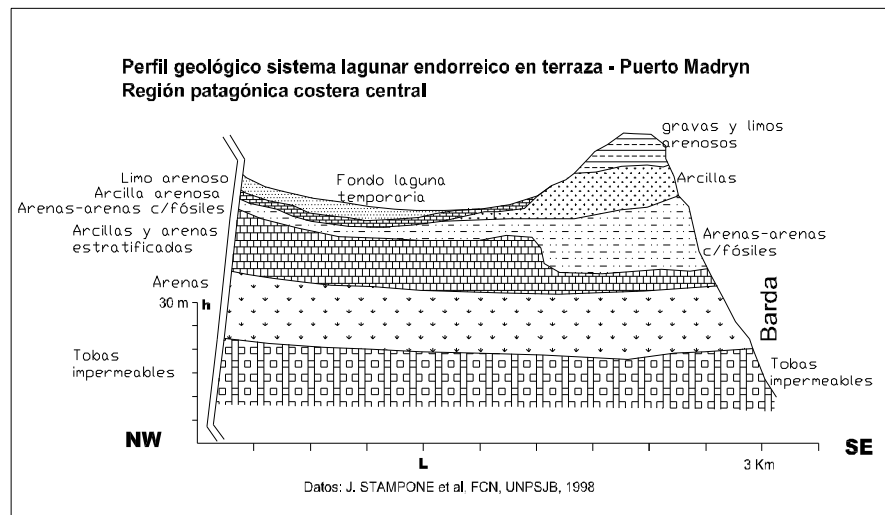


Figura 6.6. Perfil geológico tipo. Área Lagunar sobre Formación Puerto Madryn.
(Fuente: Stampone *et al.*, 1998).

Con excepción de los estratos de gravas de matriz arcillosa, o los rocosos y tobáceos, los suelos en general están sometidos a procesos severos de erosión tanto hídrica como eólica y sujetos en consecuencia a procesos dinámicos de remoción, transporte y sedimentación permanente. En zonas de bardas, la potencia erosiva de los caudales torrenciales erode los suelos más duros de las tobas y gravas arcillosas.

En la valoración de la infiltración, resulta importante disponer de información geológica y geomorfológica, preferentemente a escala local o regional. Es común encontrar unidades hidrológicas de escasa infiltración en suelos arcillosos o en los rodados de matriz arcillosa, y por el contrario, unidades de fuerte infiltración en cubiertas arenosas donde el sustrato impermeable es profundo.

6.3.4 - Rasgos de cubierta vegetal

La vegetación dominante es la estepa, con presencia de importantes superficies de suelos desnudos a causa de la salinización de las áreas más deprimidas o de la erosión eólica, hídrica o por actividades antrópicas como la ganadería y la explotación de minas y canteras.

En general, la vegetación tiene escasa incidencia en las retenciones por intercepción durante las lluvias. La vegetación es escasa y el subproceso de almacenamiento transitorio por intercepción no es relevante para la determinación del caudal pico y de la escorrentía.

Pueden existir, sin embargo, partes de un área hidrológica donde la vegetación alóctona o comercial sea importante, situación que se observa en forestaciones extensivas, valles regados con explotaciones de pasturas de implante (naturales también), hortalizas, montes frutales, parques y jardines.

6.3.5 - Erosión y Rasgos Geomorfológicos

El paisaje de extensas terrazas muestra alturas que oscilan desde los 500 m.s.n.m. en la precordillera hasta los 20 m.s.n.m. en las cercanías de la costa marítima.

La morfología de la meseta, tiene en general extensas superficies de suaves ondulaciones que combinan con esporádicos afloramientos rocosos de formas erráticas y quebradas. La erosión eólica es un agente erosivo muy importante en el tallado de las superficies. Como la sístole y diástole del motor de la vida animal, el modelado de estos agrestes paisajes que siguieron a la glaciación tiene por agentes que energizan su dinámica erosiva a ambos: precipitaciones y vientos. Estos agentes erosivos se presentan en una combinación aleatoria pero con patrones de distribución de intensidad-duración marcados por la influencia de períodos estacionales e interanuales y son los responsables del modelado del paisaje moderno.

La variabilidad en la resistencia de sus suelos define la susceptibilidad a la erosión por ambos agentes, y le confiere el fuerte contraste de sus formas entre las extensas pampas y las caprichosas formas de los afloramientos rocosos más resistentes, o sus pronunciados cañadones tallados en estratos sedimentarios del cuaternario.

Sus sistemas de drenajes son generalmente cursos temporarios, fuertemente erosionados, convergentes hacia lagunas temporarias, más o menos encadenadas y ordenadas jerárquicamente hacia sistemas

cerrados, o cuasi-cerrados, pero que convergen en años de extrema pluviosidad hacia cursos fluviales o sistemas de orden mayor.

Los valles, en su zona de contacto meseta-valle, presentan particularidades geomorfológicas y una dinámica hídrica que la distinguen del paisaje de meseta o típico de valle fluvial (Figura 6.7).

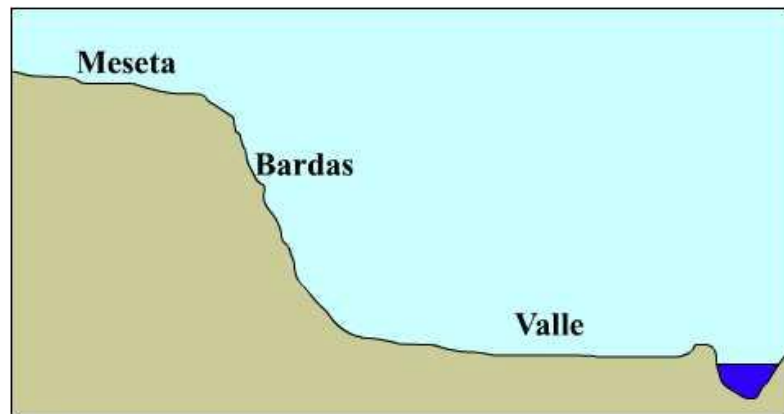


Figura 6.7. Rasgos geomorfológicos característicos de la región patagónica

En los valles confluyen los cañadones, normalmente sin aguas superficiales pero que ocasionalmente se transforman en torrentes con aportes de excedentes hídricos pluviales que drenan desde la meseta. Estos cañadones han sido modelados por las más grandes tormentas, que labraron en el tiempo la franja de contacto entre la “meseta” y el “valle”.

Sus contornos naturales, generalmente bien definidos, son suficientes para interpretar una envolvente de aportes de los excedentes hídricos hacia un punto de síntesis dado, tal lo explica la definición clásica de cuenca. Sin embargo, los componentes del paisaje interior, su entorno, y sus mecanismos de disipación, le confieren en muchos casos características muy similares a la problemática de llanura.

En la meseta, las suaves ondulaciones morfológicas, la mayor indefinición de sus contornos, o la movilidad de éstos por la susceptibilidad a ser erodado por la acción del agua y el viento, hacen que la dinámica hídrica superficial y su problemática se asemejen en muchos casos a la llanura.

En la región del VIRCh, las bardas en la franja de contacto entre la meseta y el valle, poseen desniveles del orden de 20 a 50 m en la zona intermedia y de hasta 200 m en la alta meseta. La erosión hídrica talla los cañadones de pendientes escarpadas y drenajes bien estructurados, los que en ocasiones a su vez se ordenan en cuencas imbríferas torrenciales de sistemas de un orden mayor.

Los cursos de aguas son generalmente temporarios, fuertemente erosionados, convergentes hacia lagunas temporarias más o menos encadenadas y ordenadas jerárquicamente hacia sistemas cerrados. O bien, subsistemas cuasi-cerrados, pero que convergen en años de extrema pluviosidad hacia cursos fluviales o sistemas de orden mayor.

6.3.6 - *Sistemas Hidrológicos Mixtos en PHMP*

La red de drenaje de las unidades hidrológicas de meseta tienen manifestaciones diversas y pueden coexistir estructuras que condicen con las definiciones de Sistemas Hidrológicos Típicos (SHT) y de No Típicos (SNT) (Fertonani, 1978; Caamaño Nelli *et al.*, 1979). Pero en general en pampas de meseta suele encontrarse un paisaje compuesto, cuyas conformaciones sistémicas pueden sumar la combinación simple de ambos sistemas básicos o bien lograr manifestaciones más complejas.

Un sistema hidrológicos es *mixto* (SHM), cuando ambas configuraciones coexisten en proporciones e impacto sensibles a la conformación de la estructura de disipación de los excedentes hídricos (Figura 6.8). En sus formas simples, es mixto cuando uno de los dos sistemas básicos está incluido en el otro de mayor orden. En su forma más compleja, ambos sistemas presentan manifestaciones compuestas o manteniendo partes de las propiedades combinadas de una u otra caracterización básica (Serra, 2002b).

Así, en los PHMP, además de esta tipología de sistemas mixtos, se identifican componentes de tipo *lagunar* y *lagunares encadenados*, que pueden ser a su vez *abiertos*, o *endorreicos* o *cuasi-endorreicos* (Figura 6.9).

Un caso particular de SHM son los *subsistemas atípicos* (SHM-_{AT}), en que las características hidrológicas que lo definen son fuertemente dinámicas, con alteraciones temporales erráticas de sus componentes.

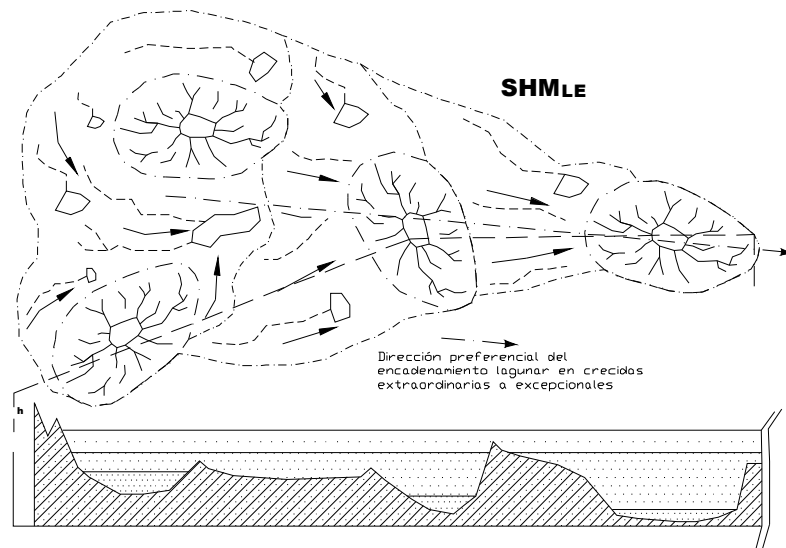


Figura 6.8. PHMP: Sistema Hidrológico Mixto, Subsistema Lagunar Encadenado.

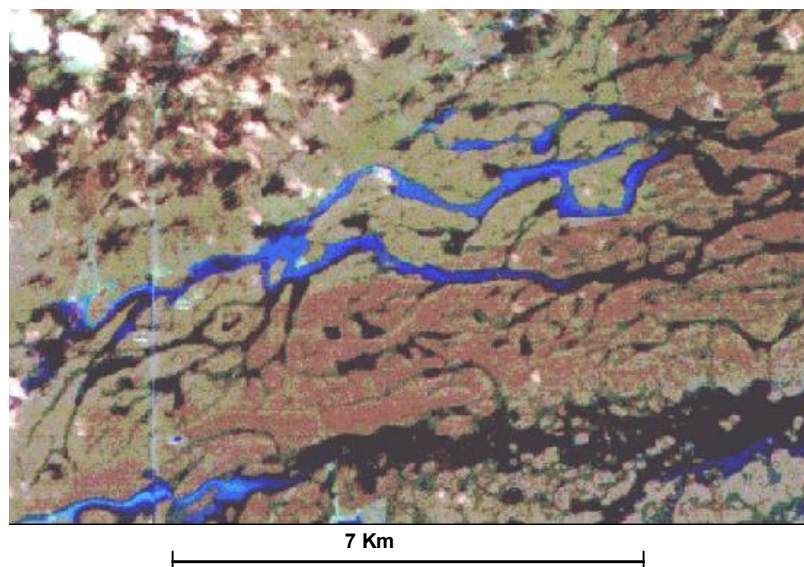


Figura 6.9. PHMP: Subsistemas Cuasi-Endorreicos (SHM-CE) y Lagunar Encadenado (SHM-LE) en actividad, durante la tormenta del 24/5/98. Sector de la “Meseta Intermedia” al Norte de Trelew, Chubut. A la izquierda, -en una débil línea vertical- la Ruta Nac. Nro. 3, cortada por la corriente.

Son aquellas unidades hidrológicas que por sus características geomorfológicas particulares y en sinergia con la ocurrencia de eventos de pluviosidad extrema y recurrencia excepcional, producen en sus componentes y por erosión severa alteraciones físicas localizadas o linealizadas que modifican sustancialmente la estructura de disipación de la superficie tributaria.

En general, el PHMP identifica a *sistemas hidrológicos complejos (SHC)*, o compuestos, otro caso particular de los sistemas mixtos. Son sistemas en los que un área hidrológica identifica una envolvente tributaria generalmente definida, donde se manifiesta la coexistencia de distintos subsistemas, en combinación con el sesgo temporal que suma la alternancia climática por la aparición de fenómenos meteorológicos extremos localizados o generalizados (Figura 6.10).

Estos sistemas, son una característica muy común en las áreas hídricas de meseta. Explican la fenomenología torrencial de alternancia entre largos períodos en que los excedentes hídricos se resuelven en subsistemas cuasi cerrados –no estacionales, sino de años hidrológicos completos-, y los cortos lapsos de torrencialidad excepcional, con “encadenamientos” lagunares y de pequeños cursos en una dirección estructuralmente condicionada por la geología regional. El tamaño, complejidad y combinación de componentes, sugieren considerarlos una categoría especial dentro de los sistemas torrenciales mixtos de meseta.

Se asemeja con los sistemas típicos, en cuanto por lo general, tienen una envolvente tributaria definible para un punto de síntesis dado. Se diferencian, en que su estructura de disipación no guarda similitud estricta de linealidad, organización y jerarquía, y en consecuencia, su punto de síntesis no guarda el principio de continuidad de las clásicas cuencas. Por lo general, su estructura de drenaje superficial dispone de elementos lineales, algo organizados y poco o nada jerarquizados (Figura 6.11).

Con los sistemas No Típicos, se asemejan además porque la estructura de disipación no encauzada es significativa, con componentes de almacenamiento y disipación por infiltración y evaporación importantes.

Se diferencia de ambos sistemas en la variabilidad temporal que pueden tener sus componentes. Y también por la variabilidad espacial de algunos de ellos, aunque esta última propiedad no sea común a todos los sistemas complejos.

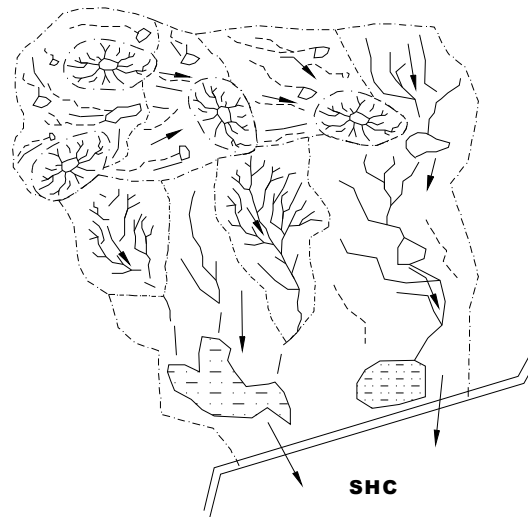


Figura 6.10. PHMP: Esquema de Sistema Hidrológico Complejo (SHC): Sistema Hidrológico mixto de tipo complejo, con subsistemas lagunares endorreicos y cuasi-endorreicos; áreas llanas y subsistemas típicos incluidos.

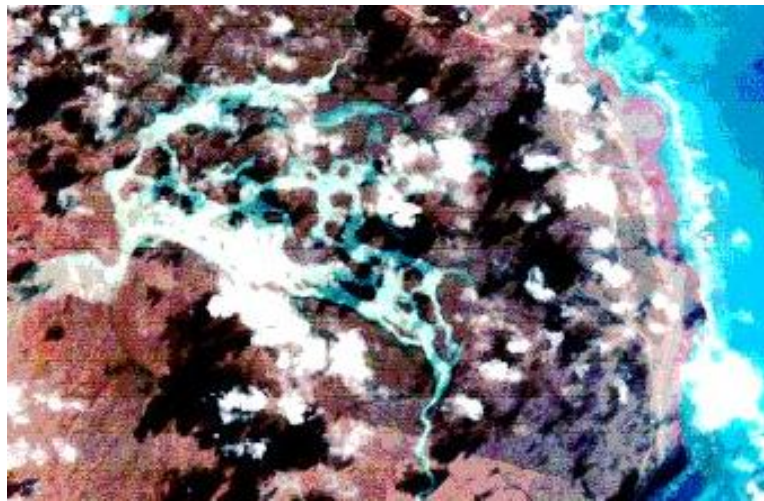


Figura 6.11. SIC Sistema Hidrológico Mixto Complejo: Cañadones y Urbanizaciones en Playa Magañas. Crecida extraordinaria del 24/25 de abril de 1998 y su descarga al mar. Las aguas que drenan de la alta meseta al Oeste, se concentran en la terraza intermedia en desordenados y erráticos encadenamientos lagunares para “cortar”, en su descarga al mar, las costas acantiladas compuestas de rodados patagónicos superficiales, estratos arenosos, areniscas y afloramientos de tobas más profundas.

6.3.7 - Urbanización e infraestructura

La región patagónica, por su baja densidad poblacional -algo menor de 1 hab/km²-, posee extensas regiones despobladas y desérticas. Esta densidad es variable, disminuye de Norte a Sur y en la zona central. Sus economías son en general de tipo enclaves, concentradas en polos de desarrollo en derredor de sus principales ciudades, las que a su vez, se extienden en general a la vera de ríos y cursos de agua dulce o del litoral marítimo.

El escaso conocimiento y difusión que se tiene de esta particular conformación en PHMP interviene como un factor más en la falta de previsión y planificación frente a la progresiva antropización de estas áreas. Las consecuencias de una cultura inmobiliaria de la urbanización, no sustentada en criterios hidroambientales, son la inundabilidad y torrencialidad creciente tanto en zonas urbanas como rurales. Basta citar a modo de ejemplo situaciones críticas en las localidades del Valle Inferior del río Chubut (Rawson, Trelew, Gaiman, Dolavon, 28 de Julio) y de Puerto Madryn. La mayor concentración de infraestructura se da en los conglomerados urbanos y sus parques industriales (Tabla 6.1). Por esta causa, la antropización del paisaje está fuertemente localizada en las ciudades y es mucho menor -a nulo- en el interior de la región y, consecuentemente, en zonas de meseta (las alteraciones antrópicas se dan aquí fundamentalmente por obras viales o por la actividad ganadera).

En las áreas fuertemente impactadas por actividades antrópicas de infraestructura urbana, éstas alteran fundamentalmente las componentes de la cubierta superficial. En las localidades asentadas en valles y mesetas, las alteraciones antrópicas tienen un mayor impacto sobre las alteraciones del paisaje hídrico. En efecto, rellenos y excavaciones producen severos cambios en sus componentes, en un paisaje muy susceptible de modificar líneas preferenciales de escurrimiento, reducir o suprimir bajos inundables y antiguos cauces.

En ciudades con un elevado índice de crecimiento, estos cambios son tan significativos en tiempo y espacio que los excedentes pluviales presentan mecanismos caóticos de disipación y escurrimiento.

Una muestra de ello es la ciudad de Trelew, construida en bajos y depresiones entre la terraza intermedia del valle y el valle inundable a la vera del cauce inferior del río Chubut. Por su gran magnitud y gravísimos daños, entre otras inundaciones recientes se destacan las crecidas de mayo de 1992 y abril de 1998.

Tabla 6.1. Caracterización de la Infraestructura para la región patagónica central e incidencia en la alteración de partes del ciclo hidrológico.

Región Patagónica Central: Clasificación de obras de infraestructura															
Zonificación	Vial				Hidráulica				Construc. y Servicios				Produc.		
	Pavimentos urbanos/interurb.	Autopistas y rutas	Caminos de tierra	Puentes y alcantarillas	Lagos y lagunas artificiales	Tajamares agropecuarios	Canales de riego	Canales de drenaje	Rellenos	Parques y jardines	Edificación	Industrias/Parques industr.	Redes y caminos de servicio	Agrícola	Canadera
Costa															
Urbana	10	10	10	10	8	0	4	10	10	10	10	10	10	4	0
Suburb.	8	8	8	8	6	6	8	6	8	8	8	8	8	6	6
Rural	6	6	6	6	6	8	4-0	4-0	4	4-0	4	4-0	4	8	10
Meseta															
Urbana	4-0	4	8	8	6	4	4-0	4-0	6	8	6	6	8	4	4
Suburb.	0	6	6	6	4-0	6	6-4	4-0	4	6	4	4	4	6	8
Rural	0	4-0	4	4	4-0	8	4-0	0	0	4-0	4-0	4-0	4-0	8	10
Valle															
Urbana	6	8	8	8	8	4	4	10	8	8	8	8	8	6	4
Suburb.	0	6	6	6	6	6	10	8	6	8	6	6	6	8	8
Rural	0	4	4	4	4	8	8	6	4-0	4-0	4-0	4-0	4	10	10
Cordillera															
Urbana	10	10	10	10	8	0	4	8	6	10	10	10	10	4	4-0
Suburb.	6	8-6	8-6	8-6	6	6	8-6	8	4	8	8	8	8	6	6
Rural	0	4	4	4	4	8	6-4	4-0	0	4-0	4-0	4-0	4-0	8	10
Referencias: 10: Muy Alto 8: Alto 6: Regular 4: Bajo 2: Muy Bajo 0: Nada															

6.4 - Estudio de Caso: Caracterización de crecidas y riesgo aluvional en el Valle Inferior del Río Chubut, VIRCh

El año 1899 fue de verdad “una hija de las tempestades” para la colonia. Se sabía que el valle del Chubut estaba expuesto a inundaciones en tiempos idos, porque se hallaban huellas evidentes de ello en la formación de los antiguos lechos de río y los zanjones que surcaban el valle. Pero se pensaba que al cerrar los boquetes donde ellos salían del río, se podían dominar las aguas del mismo, cosa que siguiera su cauce. No había ningún fundamento a esta suposición. Había inundación en el año 1865, cuando llegó el primer contingente y desde entonces, la posibilidad de ello existía constantemente en la mente de los primeros colonos. A pesar de ello, creían éstos, como lo creyeron los que llegaron después, que bastaría con trabajar para evitar que se repitiera en el futuro. Mas, ¡pobre de ellos! Jamás soñaron con la avalancha devastadora que llegó este año. *William M. HUGUES, (1926), “A Orillas del Río Chubut”.*

6.4.1 - Características generales del VIRCh

Desde aquella gesta de la inmigración Galesa de fines del siglo XIX, los asentamientos poblacionales en el VIRCh convivieron permanentemente con las inundaciones en chacras y cascos urbanos.

A las inundaciones catastróficas producidas por las grandes crecientes de 1899, 1901 y 1902 que relata Williams Hughes, y que destruyeron por completo a la antigua Trerawson (hoy Rawson, capital de la Provincia del Chubut), le siguieron otras crecidas del cauce inferior del río Chubut muy importantes.

En un primer tramo de aproximadamente 60 km al Este de la presa Florentino Ameghino y hasta el paraje “Boca Toma”, el río Chubut suma en tormentas de importancia, descargas torrenciales cargadas de sedimentos, originados en los suelos semidesnudos de una sucesión de cuencos hidrológicamente independientes y convergentes desde las bardas de la meseta, denominado “cuenco aluvional”.

A partir de Boca Toma nace el valle inferior, o VIRCh (Figura 6.12). El río divaga en una sucesión de meandros, en una extensión de 80 km finales hasta a la desembocadura en el mar.

En el valle de aproximadamente 7 km de ancho y una superficie de 60.000 has, se asienta una antigua colonia con 20.000 has bajo dominio de riego, con un antiguo sistema cuyo origen se remonta a épocas de su fundación. Sus aguas atraviesan las áreas urbanizadas de 28 de Julio, Dolavon, Gaiman, Trelew y Rawson, que destacan una importante infraestructura en sus orillas y bajos inundables.

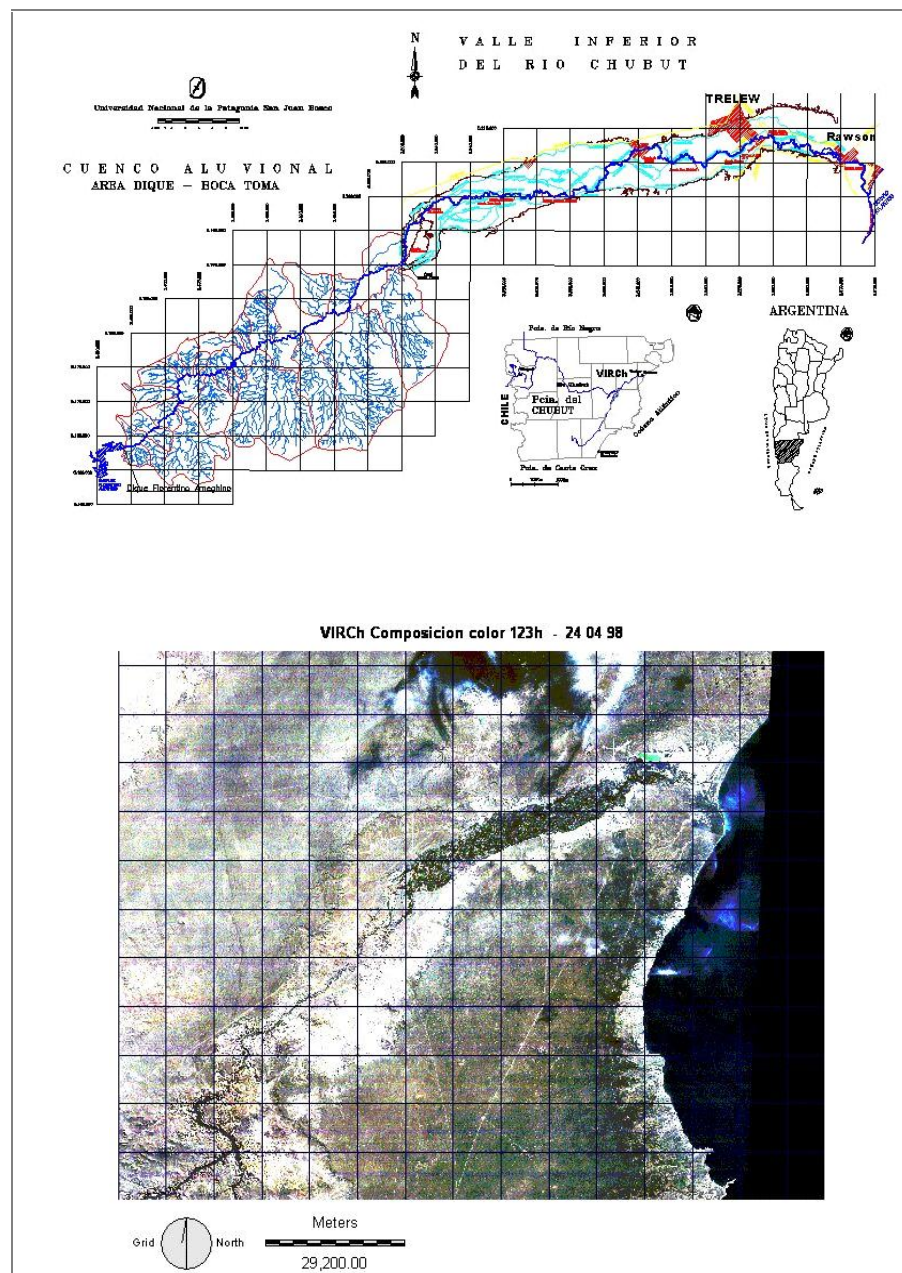


Figura 6.12. Embalse Ameghino, Area Aluvional Dique a Boca Toma y región del Valle Inferior del río Chubut (VIRCh).
(Fuente: Serra, Malnero *et al.*, 1995)

A partir de mediados de la década de 1960, la construcción de la presa y su embalse (F. Ameghino) pareció poner fin a los recurrentes desbordes del río.

Sin embargo, el fuerte crecimiento poblacional y de la infraestructura urbana con la ocupación progresiva de áreas bajas y de zonas de ribera -particularmente de Trelew y Rawson-, tuvieron como consecuencia una mayor vulnerabilidad a la amenaza de crecidas.

La aparición de nuevos eventos meteorológicos extremos en coincidencia con el efecto El Niño trajo nuevos desbordes, y con ellos, inundaciones urbanas y rurales de proporciones, algunas de ellas con gravísimos daños y consecuencias económicas y sociales (1992, 1993, 1998 y 2001) (Figura 6.13 y Figura 6.14).

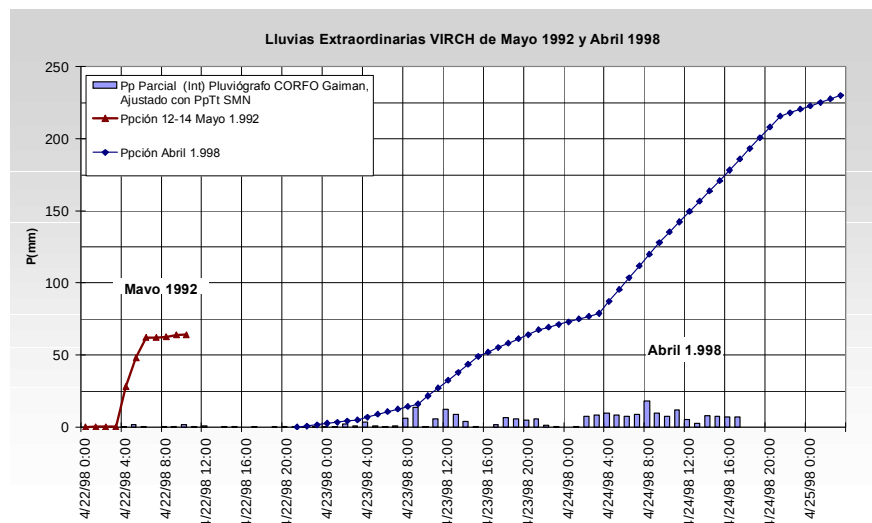


Figura 6.13. Lluvias extraordinarias en el VIRCh del 12 de mayo de 1992 (zona Cuenco Aluvional) y 24/25 abril 1998 (zona costera-urbana, con un período de retorno cercano a 300 años).

6.4.2 - Génesis de las crecidas Urbanas y rurales del VIRCh

Por su origen, las crecidas e inundaciones en las zonas rurales y urbanas del valle inferior se han clasificado en: crecidas de embalse, aluvionales, aluvionales del cuenco inferior y pluviales urbanas. La Figura 6.15 resume la clasificación adoptada.

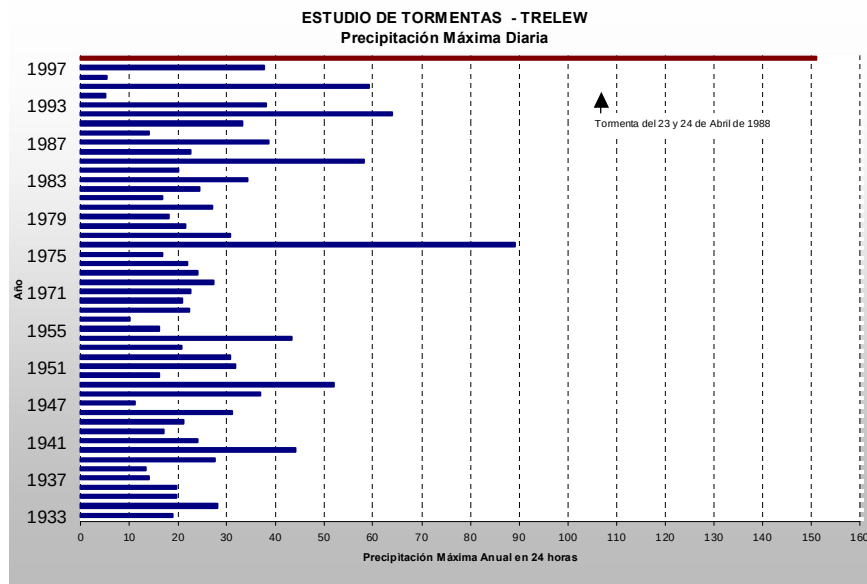


Figura 6.14. Precipitaciones máximas anuales para la Estación Trelew del Servicio Meteorológico Nacional. La máxima lluvia diaria de 1998 prácticamente duplicó el máximo registro histórico.

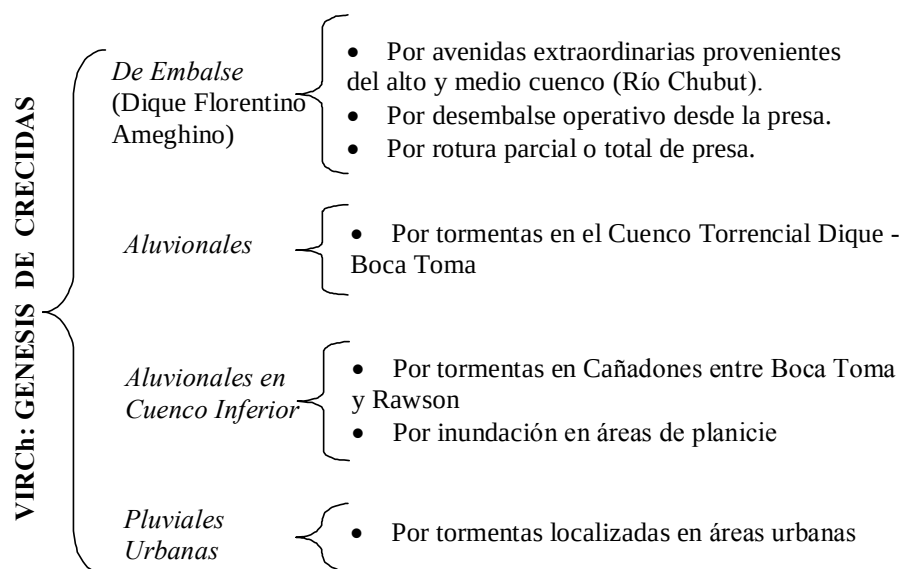


Figura 6.15. Clasificación de crecidas e inundaciones en el VIRCh, Chubut, Argentina.

De las crecidas de la alta y media cuenca, -regulables hoy por el embalse-, abundan ejemplos en los registros hidrométricos disponibles. Pero se destacan las de los años 1945 y 1946, cuando no existía aún la presa, y las de 1985 y 2001 ya con la obra en operación.

Una tormenta de recurrencia excepcional, ocurrida el 24 y 25 de abril de 1998, activó tanto al cuenco aluvional como los aluviones y cuencas urbanas, afectó gravemente a las ciudades del VIRCh y de Puerto Madryn y tuvo magnitud de catástrofe para la ciudad de Trelew.

Entre las lluvias localizadas e intensas, se destaca la producida en marzo de 2000 en Trelew, donde se registraron intensidades medias del orden de 1mm/min, generando inundaciones importantes en barrios populosos de la ciudad como el B° Padre Juan y alrededores.

6.4.3 - Crecidas de Embalse (desde el Dique Florentino Ameghino)

El cierre del río al ingresar al valle inferior, materializado por una presa de gravedad aligerada, fue concebido para propósitos múltiples (control de crecidas, riego, producción de energía eléctrica).

La obra hidráulica posee una alta capacidad para laminar las grandes avenidas. Su volumen útil, superior a los 1.200 Hm³ hasta la cota de vertedero, representa el 82 % del derrame medio anual y un 25 % de la capacidad teórica requerida para regular a módulo. Por sus dos turbinas puede evacuar de 25 a 100 m³/s. El vertedero, situado a cota 166 m, es sin compuertas y tiene una capacidad de 150 m³/s. Si a estas estructuras se agregan los descargadores de fondo y válvulas de descarga para riego, la capacidad total de evacuación en situaciones de emergencia supera los 400 m³/s.

Una demostración práctica de la capacidad de regulación de los aportes es que desde su puesta en servicio la máxima erogación apenas ha superado los 100 m³/s en algunos años húmedos y no ha utilizado aún su vertedero.

La operación del embalse practicada durante décadas por Agua y Energía Eléctrica y hoy por su concesionario, incluyen pronósticos de nieve y de uso para riego, basados en una extensa serie de datos aforados desde el año 1943.

Los beneficios del efecto de laminación de crecidas por el embalse fueron corroborados por los primeros trabajos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNPSJB (Sainz Trápaga y Malnero, 1994; Malnero 1995), donde se utilizaron cuatro modelos distintos de análisis: modelo de retraso, de programación dinámica, de cota objetivo simple y

de cota objetivo doble. No se consideran en estos análisis las crecidas puntuales originadas por cuestiones operativas (limpieza de barros con descargadores de fondo), o escenarios de roturas parcial o total de presa (estos últimos estudiados para el ORSEP, Organismo de Seguridad de Presas, por Hidroeléctrica Ameghino S.A. en el Plan de Acción de Emergencia).

Sin embargo, para situaciones extraordinarias generadas por aportes extremos de la cuenca (altos o bajos) se aprecian dificultades de operación del sistema en coincidencia con períodos prolongados (2 años o más) de abundancia o de escasez de aportes. Un análisis estadístico de operación del embalse con consignas de restricción por uso aguas abajo del mismo para 52 años de datos de aportes medios mensuales al embalse, reflejó la posibilidad de problemas según sean los escenarios considerados (Figura 6.16). En este análisis se tuvieron en cuenta las demandas para riego, abastecimiento de agua potable e industrial, un caudal mínimo ecológico y caudal máximo por inundabilidad en el Valle Inferior.

Un caso particular corresponde a las crecidas del Río Chico. Su antigua cuenca, con un fuerte proceso regresivo y de atrofiamiento, se limita en la práctica a los aportes pluviales de cañadones laterales a su cauce que bajan desde la meseta y se extienden desde las nacientes del Valle Hermoso en las cercanías del Lago Colhué Huapi. No son aguas permanentes, pero sus crecidas esporádicas suelen producir descargas puntuales torrenciales, que ingresan al embalse Ameghino, como las producidas por el fenómeno meteorológico de mayo 1992. No se dispone de estudios de este cuenco y generalmente sus volúmenes se desprecian en el cálculo de embalse a paso medio mensual.

El análisis de fallas a consignas mensuales de caudales máximos y mínimos erogables y cotas mínimas de embalse, presenta para toda la serie siempre valores positivos. En efecto, para cotas objetivo altas, no se cumplen las consignas de caudales máximos y para cotas objetivo bajas, no se cumplen las consignas de cota mínima y/o caudal mínimo. Resulta imposible por ejemplo, fijar una pauta de caudal máximo erogable de 70 m³/s (capacidad del río estimada a 1994 para funcionamiento sin desbordes y niveles freáticos tolerables), sin incumplirla en varios años.

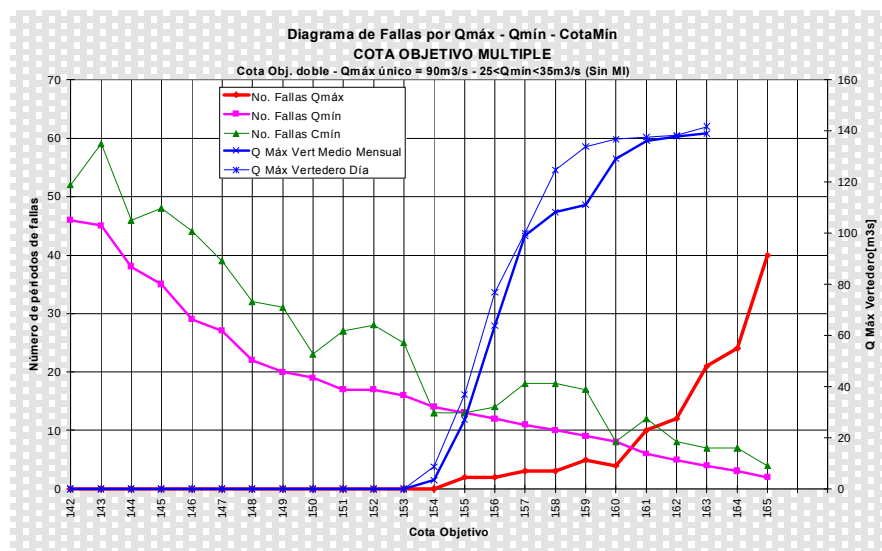


Figura 6.16. Embalse Ameghino: Diagrama de fallas para diferentes cotas objetivo.

En otro trabajo que incluye la incorporación de nuevos datos hidrométricos (Serra, 2000), se efectúa un análisis similar pero orientado a considerar la disponibilidad futura de agua dulce para nuevas áreas bajo riego u otros usos. El análisis estadístico por iteración de corridas de explotación del modelo de restricciones con *cota objetivo doble* (una para el período sin riego y otra para el período con riego), haciendo variar la cota objetivo de niveles mínimos a máximos, permite obtener un diagrama de frecuencias de fallas a las consignas impuestas (caudal mínimo, caudal máximo, nivel mínimo de embalse), asociado a diferentes escenarios de uso y consumo del agua en el VIRCh. Los resultados confirman para la serie real y para la capacidad de evacuación actual del río en su tramo inferior, -tal como lo afirman Sainz Trápaga y Malnero (1994), que la programación de la operación del embalse no puede resolverse en un par de cotas objetivo dadas que reduzca a cero el número de fallas. Se ratifica que para cotas objetivo altas se producen fallas por superación de caudal máximo y/o erogación por vertedero, y para cotas objetivo bajas se producen fallas por descenso del nivel de embalse por debajo de la cota mínima y/o incumplimiento de la consigna de caudal mínimo.

En la Figura 6.16 se presentan, a modo de ejemplo, resultados de corridas anidadas con variación de cota objetivo doble con 2 m de diferencia entre período sin riego y período con riego. Este ejemplo considera caudales mínimos erogables que varían de 25 a 35 m³/s y un caudal máximo de 90 m³/s, que presupone un escenario presente óptimo con río limpio y bancos de defensa sanos para el cauce sin dragar. Puede observarse que para este escenario similar a la capacidad actual de evacuación del río en su tramo inferior, el mejor resultado (mínimo de fallas de consignas mínimas y máximas) se obtiene para el par de cotas objetivos debajo de 154 m. Sin embargo, debe considerarse que la erogación máxima citada produce por permanencia importantes daños al sistema productivo de los sectores ribereños del valle por ascenso de los niveles freáticos. Para el caso de grandes crecidas anuales el embalse dispone de buena capacidad de regulación. Pero la investigación efectuada para dos años consecutivos de crecidas extremas, -tales como la de los años 1944 y 1945 (con un promedio bianual del 72% mayor al derrame medio), causaría una erogación media mensual máxima de gran magnitud, con valores diarios muy altos según el escenario o hipótesis que se adopte. (Figura 6.17).

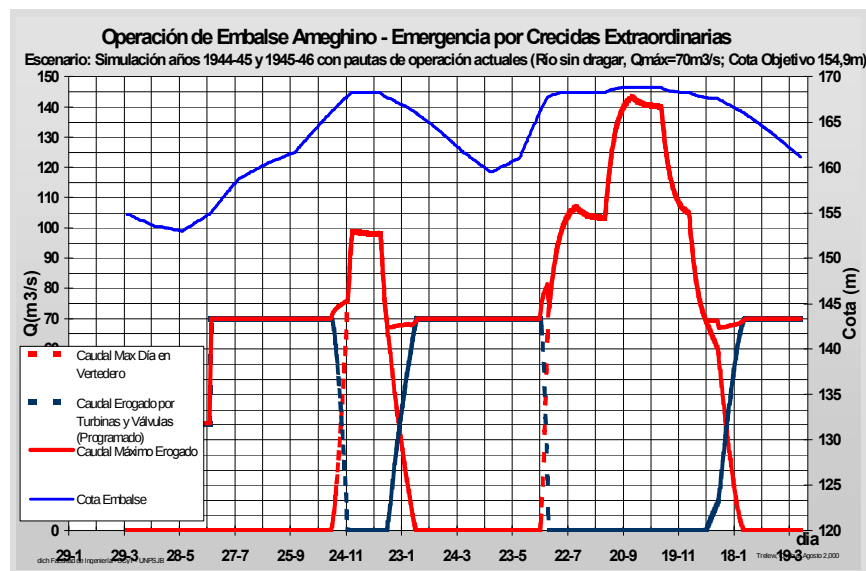


Figura 6.17. Simulación de operación de embalse para caudales ingresantes al embalse similares a dos años hidrológicos consecutivos extremos de la serie histórica (1944-45 y 1945-46).

Por ejemplo, para un escenario con caudal máximo erogable de 70 m³/s (vigente por contrato de concesión de Hidroeléctrica Ameghino hasta que se modifique la capacidad del cauce aguas abajo), es esperable alcanzar la cota máxima de embalse de proyecto (169 m) y caudales máximos medios mensuales algo superiores a los 140 m³/s, con valores diarios mayores aún. Para el resto de la serie, con este mismo escenario, se repetirían fallas de la consigna en varios años con caudales medios muy altos en relación a la capacidad del río y la influencia sobre los niveles freáticos.

6.4.4 - Crecidas Aluvionales (Por tormentas en el área del cuenco aluvional Dique a Boca Toma)

La frecuencia de fenómenos meteorológicos extraordinarios en los últimos años, con fuertes crecidas aluvionales en el VIRCh, -en el contexto de un no menos fuerte crecimiento de la infraestructura urbana en áreas bajas y zonas ribereñas-, ha motivado la realización de distintos estudios del cuenco aluvional entre el Dique y Boca Toma (DBT). En particular, cabe citar el proyecto de investigación “Ordenación del Cuenco Aluvional Área Dique Boca Toma y su Impacto Ambiental en el VIRCh”, del cual se extraen importantes resultados y conclusiones. En la Figura 6.18 se presenta el hidrograma de crecida estimado para la tormenta extraordinaria del 12/05/92 y el hidrograma de simulación de propagación de la onda de crecida en el VIRCh, surgido de dicho estudio. Por su parte, en la Figura 6.19 se presentan los caudales máximos obtenidos por simulación de tipo lluvia-caudal para el cuenco aluvional del área Dique-Boca Toma y para diferentes tormentas sintéticas de distintas duraciones y recurrencias.

En el área, cercana a los 1.000 km² de extensión, se desarrollan importantes cuencos naturales o subsistemas hidrológicamente independientes, que provenientes de las bardas o zona de contacto meseta-valle y se caracterizan por una marcada topografía.

Sus suelos son en parte rocosos y en general areno limosos y arcillosos. Con una escasa cobertura vegetal y la presencia de enormes superficies de suelos desnudos, agravados por actividades primarias tales como la explotación minera (caolines) y el sobrepastoreo, que aceleran el proceso de erosión. En tormentas torrenciales, aportan sus caudalosas aguas al cauce principal, cargadas de sedimentos (limos y arcillas) que caracterizan la coloración del río tras las lluvias.

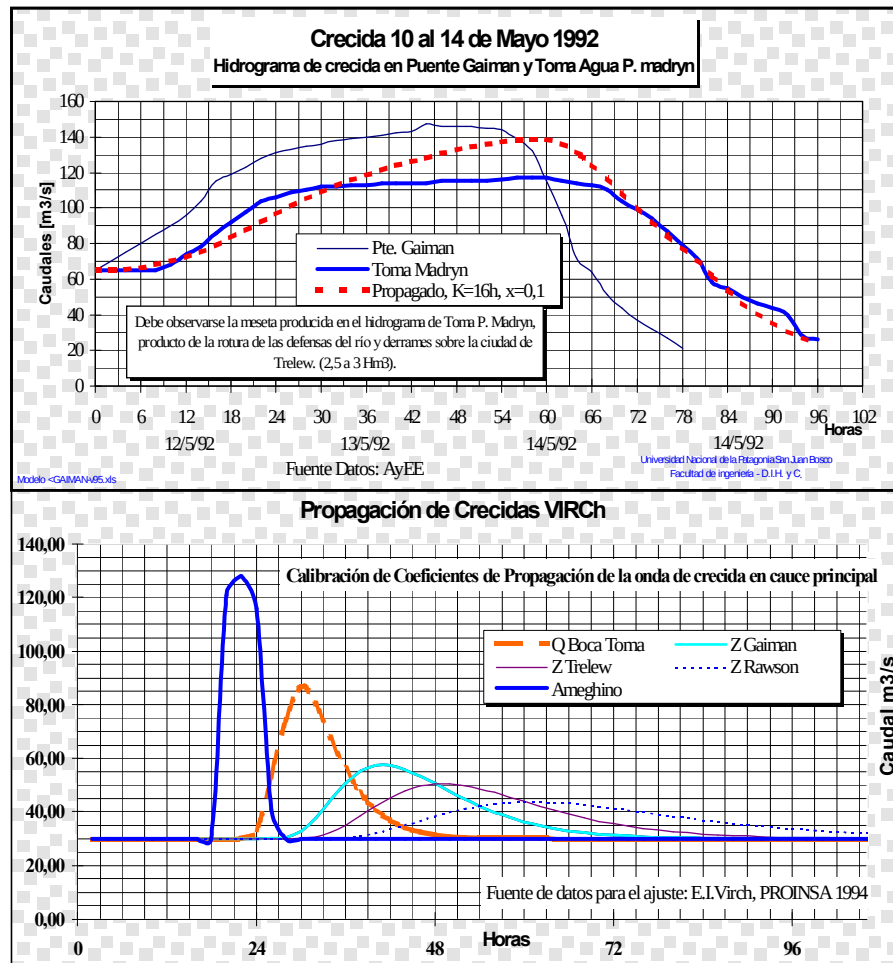


Figura 6.18. Hidrograma de crecida estimado para la tormenta extraordinaria del 12/05/92 e hidrograma de simulación de propagación de onda de crecida en el VIRCh. (Fuente de datos: AyEE – EVARSA)

Se han identificado 32 unidades hidrológicas de estudio independientes (UEH), las que se alinean en general transversales al cauce del Río y que descienden de las bardas de la meseta en su intersección con el valle. De distintas magnitudes y caracterización paramétrica, pero similar conformación geomorfo-hidrológica, estos cuencos se activan conforme la intensidad y duración de la tormenta, para producir en conjunto una onda de crecida que se concentra en el río

en el paraje de Boca Toma y se propaga por éste aguas abajo por el tramo inferior.

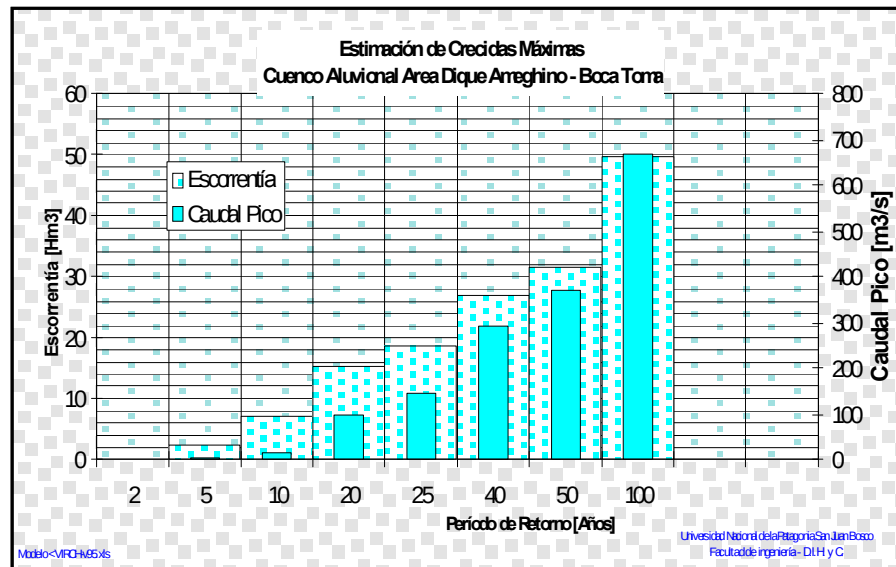


Figura 6.19. Caudales máximos estimados para el cuenco aluvional del área Dique-Boca Toma y para diferentes tormentas sintéticas de distintas duraciones y recurrencias.

La investigación produjo también en similar tenor un estudio sobre los aportes de sedimentos de cada uno de los cuencos y producción de mapas de riesgo de erosión hídrica, Figura 6.20 (Serra y Malnero, 1998; Serra, 2000). El estudio concluye con recomendaciones sobre medidas estructurales y no estructurales para el control de aluviones y de aportes de sedimentos, que se suman a los propuestos en los estudios realizados por Agua y Energía y EVARSA en 1994.

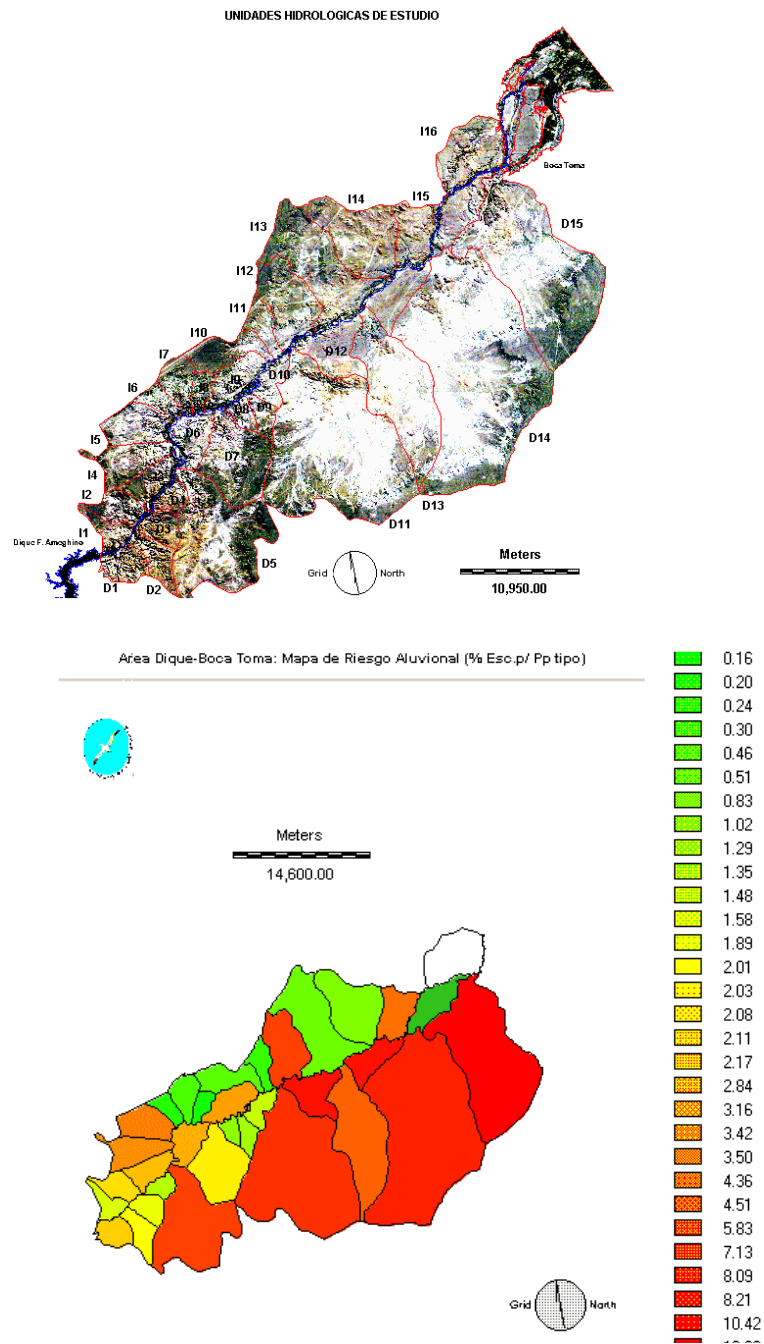


Figura 6.20. Mapa de Riesgo Aluvional (Área aluvional Dique-Boca Toma, VIRCh).

6.4.5 - Consideraciones finales sobre la problemática de crecidas en el VIRCh

Las crecidas extraordinarias del río Chubut en el Valle Inferior resultan por crecidas de embalse (Alta y Media Cuenca del Chubut), por crecidas aluvionales, o por simultaneidad de ambas ondas que pueden producir las más grandes inundaciones, sin descartar los eventuales aportes torrenciales del sistema que ingresa por el Río Chico.

De las crecidas de embalse, se destaca que la cota objetivo fijada para su operación en la condición actual del río (sin limpieza y dragado, cota 154,9 m y caudal máximo de 70 m³/s) resulta elevada (Sainz Trápaga y Malnero, 1994). Con esta cota de operación y para la serie de aportes históricos (medios mensuales) se constatan fallas de cumplimiento del objetivo primordial de control de crecidas, dando como resultado meses con caudales medios muy altos para la capacidad de transporte del río aguas abajo, con sus consecuentes inundaciones.

Asimismo y por la duración de tales caudales medios muy altos, es de prever que se superpongan con ondas de crecidas por lluvias en el cuenco aluvional con caudales picos de magnitud para la infraestructura existente en el VIRCh.

Las crecidas máximas del Cuenco Aluvional Dique - Boca Toma, muestran caudales esperados muy altos para recurrencias medias (50 a 100 años) en relación a la infraestructura urbana desarrollada en el valle inundable del río y en las áreas deprimidas, siendo de esperar la repetición de fenómenos similares o mayores a los de mayo de 1992. Ello, con el agravante de que se continúa expandiendo la infraestructura urbana en las áreas de inundación. Si bien no se incluyen en este análisis cuencas menores como Cañadón Dolavon, Baraibar, Parque Industrial de Trelew y otros, también resultan de magnitud las crecidas por tormentas extraordinarias en los mismos y su impacto en las áreas urbanas y rurales sobre las que desagüan.

Las conclusiones arribadas, llevan a recomendar un fuerte cambio en las políticas de planeamiento y ocupación de los espacios en áreas ribereñas y deprimidas del VIRCh, la plena vigencia y actualización del Plan Director de Reacondicionamiento de Cauce y Protección de Crecidas, y la consideración y eventual reingeniería de las posibles grandes obras de infraestructura hídricas asociadas como el antiguo proyecto del embalse compensador y la red de riego y drenajes.

6.5 - Estudio de caso: Presas de Laminación de Crecidas en el Cañadón del Parque Industrial de Trelew

A continuación se describe un caso particular de la ciudad de Trelew (Pcia. del Chubut), donde la falta de planificación de la expansión urbana, las deficiencias de mantenimiento de las obras hídricas y hasta el vandalismo contribuyeron para generar, durante una lluvia extraordinaria, una inundación de proporciones en un importante sector de la ciudad.

La ciudad de Trelew, situada en el valle inferior del río Chubut, ocupa actualmente un área aproximada de 15 km². La ciudad ha crecido dentro de una zona de depresiones lagunares y riberas sujeta a crecidas naturales. La construcción de barrios en estos sectores y de rutas terraplenadas sin obras hidráulicas adecuadas, la política fiscal inmobiliaria, la escasa relevancia de criterios hidroambientales de planificación en la decisión sobre nuevas urbanizaciones, son elementos que vienen contribuyendo al agravamiento del problema de las inundaciones urbanas. Constituyen, por lo tanto, las principales conductas de Estado a modificar.

Un ejemplo de expansión urbana sin planificación lo constituye la existencia de barrios de la ciudad que restringen la salida de un importante sistema aluvional, denominado el Cañadón del Parque Industrial. Este sistema hídrico de tipo mixto y complejo, sólo se activa durante lluvias de cierta magnitud y drena sus aguas hacia la laguna Chiquichano, ubicada en el casco urbano de la ciudad (Figura 6.21).

Para paliar el problema de las inundaciones provocadas por las crecidas de esta cuenca hídrica, a partir de 1984 se construyeron sobre un cañadón en el sector industrial de la ciudad de Trelew tres terraplenes importantes. La finalidad perseguida fue laminar las crecidas de origen pluvial, a fin de obtener un desagüe controlado, con menores caudales y con un tiempo mayor de escurrimiento. Luego de ocurridas algunas lluvias importantes en mayo de 1992, dichas obras fueron modificadas y reconstruidas mediante aportes del Programa de Emergencia del Ministerio del Interior.

Las modificaciones incluyeron:

- Supresión del primer terraplén;
- Aumento del cuerpo y altura del segundo terraplén (Presa II), y tercer terraplén (Presa III);

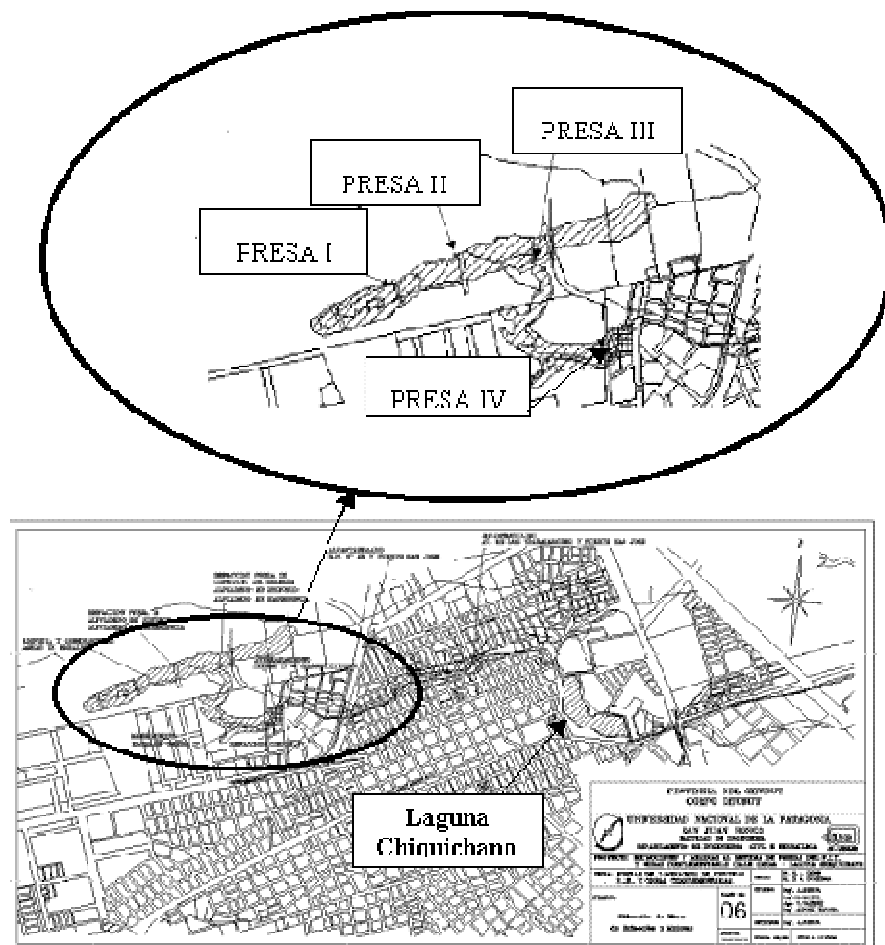


Figura 6.21. Ciudad de Trelew y zona afectada por la inundación de abril de 1998.
(Fuente: Serra *et al.*, 2002).

- Incorporación en las presas de un cuerpo o núcleo impermeable de arcilla;
- Compactación adecuada de los suelos, incorporación de filtros o drenes y revestimientos con piedras en los muros, para la protección contra el oleaje;
- Incorporación de conductos entubados en cada terraplén, para la regulación y drenaje de las aguas;

- Incorporación de un vertedero lateral de derivación, para el caso de grandes crecidas que superaran la capacidad de almacenamiento del pequeño embalse o tajamar;
- Revestimiento de gaviones para la protección a la erosión, según las normas constructivas usuales.

Se dispuso, a su vez, de un cuarto terraplén (Cierre IV), de muy baja altura, a pocos metros del Barrio Constitución, con la simple misión de constituir la obra de toma y derivación de las aguas reguladas desde el cañadón a una laguna, denominada Chiquichano.

Las obras ejecutadas incluyeron una obra de toma y un conducto subterráneo, que conduce las aguas reguladas desde el Cierre IV hasta la laguna Chiquichano, bajo las calles del Barrio Constitución y una calle canal (conducto pluvial).

El sistema en su conjunto debía almacenar transitoriamente en las pequeñas presas, las aguas provenientes de su cuenca natural, desarrollada sobre la región de la meseta. La necesidad de regulación fue dada por la existencia de barrios de la ciudad que restringen la salida natural del sistema hacia la laguna Chiquichano. Las aguas debían ser “captadas” en su totalidad por el Cierre IV, frente al Barrio Constitución, y conducidas por el conducto subterráneo ya citado.

La altura de las presas fue establecida de modo de no inundar sectores fabriles aledaños. Por tal motivo se incluyó asimismo, vertederos laterales a las presas. La derivación de las tormentas que superasen la capacidad de acumulación debía ocurrir hacia la calle canal. Como seguridad adicional en caudales extremos, se previó la erosión lenta y controlada del vertedero de la presa III y del Cierre IV (vertedero fusible).

Entre 1992 y 1998, el escurrimiento de todas las lluvias fue retenido por completo, con desagüe controlado por el conducto subterráneo. Sin embargo, en abril de 1998, ocurrió una tormenta excepcional, asociada al fenómeno de la corriente de “El Niño”. La precipitación totalizó 251 mm en 54 horas, de los cuales 150 mm precipitaron en un día. Esta cantidad duplicó el máximo registro diario en Trelew en los 50 años observados por el Servicio Meteorológico Nacional. Aunque no fueron detectadas referencias pluviométricas históricas similares en la región del valle inferior del río Chubut, cabe destacar que la geomorfología de los cañadones es un indicador de la ocurrencia pasada de eventos extraordinarios, aún mayores al registrado.

Los terraplenes del cañadón del Parque Industrial colapsaron durante el evento. Un peritaje efectuado por el Departamento de Ingeniería Civil Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la U. N. Patagonia y las deliberaciones y conclusiones del Taller de Evaluación Técnica sobre La Seguridad en las Obras Hidráulicas de Control de Crecidas en Cuencos Aluvionales Urbanos del Valle Inferior del río Chubut y Puerto Madryn, reunido ad-hoc en la Universidad para la evaluación de los hechos con la participación de más de 80 personas asistentes, concluyeron que el proceso que llevó al colapso fue el descripto a continuación.

El escurrimiento generado durante este evento extraordinario colmató la Presa II, la que inició su desagüe por el vertedero de emergencia hacia la Presa III. Por acciones de vandalismo, habían sido quitadas del vertedero de gaviones de la primera presa las mallas de hierro zincado de protección a la erosión. La abertura de una brecha entre éste y el cuerpo de la presa produjo la disminución del volumen de almacenamiento de la presa. Cuando el volumen acumulado en la Presa III exigió la entrada en operación del vertedero lateral de emergencia, el mismo se encontró obstruido por camionadas de escombros depositadas en él, y hasta un chasis abandonado en su cuenco. Esto produjo la sobre elevación por varios minutos del agua del embalse por sobre la cresta del terraplén, erosionando fuertemente sus paredes y debilitando el cuerpo de la presa. Simultáneamente, la presión del agua en la embocadura del vertedero provocó la remoción abrupta de los escombros depositados, generando una primera y sorpresiva “onda de crecida”. La misma sobrepasó inmediatamente el Cierre IV, inundó abruptamente el Barrio Constitución y continuó su rumbo por la calle canal hacia la Laguna.

Debido al incesante escurrimiento, uno de los estribos de la Presa III cedió, provocando la segunda onda de crecida. Pocas horas después rompió el “terraplén de la vía” sobre dicha presa, generando la tercera onda de crecida. Luego de 48 hs. los embalses quedaron vacíos, habiendo circulado por ellos un volumen estimado en 1.000.000 de m³ de agua. Este volumen de agua colmó la laguna Chiquichano a niveles inusuales, hecho que sumado al agua de lluvia acumulada en el casco urbano, produjo la inundación de una enorme superficie urbana anegada (Foto 6.2). La situación de inundación se agravó por el endicamiento producido por la ruta 25.

Si no hubieran existido las presas durante la crecida, los picos de caudales en el Barrio Constitución hubieran sido algo menores. Pero el

volumen de agua ingresado a la laguna hubiera sido el mismo y en un período de un día y medio en lugar de los cuatro días que demoró por efecto de retardo de las presas, aún fallidas. Esta situación hubiera generado crecidas de magnitud mayores en populosos barrios alrededor de la Laguna.



Foto 6.2. Imagen del Sector Mil Viviendas, dentro del Sistema del Cañadón del Parque Industrial, Trelew, durante la tormenta extraordinaria del 24/25 de abril de 1998.

Para solucionar el problema se plantearon varias alternativas, desde el retiro de todas las presas (volver al estado natural inicial del cañadón), hasta varias alternativas de refacción y mejoras del sistema de presas. La solución final contempló el rediseño de todo el sistema de regulación. En el contexto descripto, las presas no resuelven todo el problema, pero establecen un control importante de las crecidas del cañadón, dando mayor almacenamiento en un sector que compensa el almacenamiento perdido por el avance urbano en otros.

El proyecto final incluyó:

- Para lluvias muy frecuentes a frecuentes: almacenamiento de toda el agua que llega al cañadón, con evacuación por el entubado subterráneo bajo la calle canal;

- Para lluvias de hasta 10 años de recurrencia: operación del vertedero de la Presa I, pero la Presa II absorbe totalmente la crecida, la que desagüa sus caudales por el conducto entubado;
- Para lluvias del orden de 20 a 40 años de recurrencia: se esperan caudales desde el vertedero de la Presa III, que circularán por la calle canal, con riesgos en zonas localizadas;
- Para tormentas como las de abril de 1998 o mayores, se espera que funcionen además los vertederos fusibles, con caudales importantes, pero no superiores a los que sucederían sin las presas. Para estos casos extremos, aunque el efecto de regulación de las presas es reducido, las obras otorgan un tiempo adicional, que resulta importante en la organización de acciones de defensa civil en la supuesta emergencia.

Las obras así concebidas son necesarias y efectivas. Y deben ser acompañadas de estrictas normas constructivas, programas de mantenimientos preventivos y correctivos, de monitoreo durante sus crecidas y planificación de situaciones con hipótesis de emergencias.

Los hechos de 1992 y 1998, marcan una necesaria modificación de las pautas de planificación urbanística de Trelew y su toma de conciencia pública, teniendo presente las limitaciones de uso de suelos inundables, el manejo de la masa de agua pluvial en lluvias de magnitud y la seguridad hídrica, cuyo debate aún es una asignatura pendiente. El caso sirve para remarcar, además, la necesidad de contemplar a los rasgos geomorfológicos de una región como elementos fundamentales para mitigar probables desastres hídricos ante eventos excepcionales o episódicos. Por último, la falta de mantenimiento y el vandalismo constituyen dos aspectos colaterales del problema que no pueden soslayarse en las actuales circunstancias de América Latina.

CAPITULO 7

INUNDACIONES EN AREAS URBANAS DE LAS REGIONES ANDINAS

Jorge Adolfo Maza

7.1 - Problemática de las urbanizaciones en laderas y pedemontes

Las laderas pedemontanas poseen problemas que son únicos para la construcción y mantenimiento de asentamientos humanos. Están expuestos a peligros naturales, y topográficamente limitan el diseño de las urbanizaciones. Por esto, los terrenos del pedemonte frecuentemente permanecen sin acciones durante largo tiempo mientras las tierras adyacentes de la planicie se urbanizan.

A pesar de las limitaciones, son lugares atractivos para vivir por las vistas que poseen y por el hecho de estar cerca de la naturaleza. Pero la urbanización excesiva puede disminuir las mismas vistas y deteriorar el hábitat de fauna y flora silvestre que los residentes valoran.

Se debe regular la urbanización del pedemonte por una variedad de razones. Estas incluyen la protección de:

- vidas y propiedades por deslizamientos de laderas y aluviones
- recursos naturales
- sistemas y aspectos ambientales, tales como cauces aluvionales, hábitat de fauna silvestre, y vegetación natural
- calidad estética o paisajística
- accesos para residentes, visitantes, y servicio público o proveedores.

En la práctica, estas metas se superponen frecuentemente. En Argentina existen una gran cantidad de casos de ciudades que habiendo sido fundadas al pie de serranías tienden en la actualidad a expandirse hacia donde la topografía se hace más abrupta. Se pueden mencionar los casos de San Salvador de Jujuy (B° Los Perales), Salta, Catamarca (se expande hacia la cuenca del A° Fariñango), Gran Mendoza (se trata en el ítem siguiente), Neuquén, Gral. Roca (Río Negro) y los casos de ciudades y pueblos de las serranías cordobesas.

7.2 - Estudio de caso: Area pedemontana de Mendoza

7.2.1 - El Gran Mendoza

El Gran Mendoza es un conglomerado urbano integrado por las ciudades departamentales de: Capital, Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz, Maipú y Luján. Emplazada en el centro de un oasis, a una altitud media de 769 m.s.n.m., ocupa una superficie de 16.692 has. urbanizadas, con una población de 973.011 habitantes. Estas se comportan como una unidad funcional, donde Capital es el centro político, administrativo y comercial más importante.

El clima de Mendoza es templado continental seco, lo que se ve reflejado en los siguientes datos:

- La temperatura media anual es de 16°C variando las medias diarias mensuales de 8°C en Julio a 24°C en Enero. Las máximas medias diarias oscilan de 15°C en Julio a 32°C en Enero y las mínimas medias diarias van de 2°C en Julio a 16°C en Enero.
- La humedad relativa media es de 52%, oscilando a lo largo del año de 42 a 62% (medias mensuales).
- La precipitación media es de 200 mm. anuales, variando en el interior de la provincia de 80 a 340 mm.
- Las precipitaciones se desarrollan generalmente en el verano como tormentas convectivas de alta intensidad y corta duración (90 mm en 1 hora, el 31 de diciembre de 1959), teniendo registros de intensidades de hasta 5 mm/min.

7.2.2 - Descripción del proceso

El incremento poblacional del Área Metropolitana del Gran Mendoza en los últimos años determinó modificaciones en la configuración de la superficie urbanizada y en la distribución espacial de la misma. El crecimiento alcanzado y desarrollado hacia las áreas periféricas, sin un orden urbano preestablecido, debido a la falta de planes estructurales que orienten y conformen un tejido urbano ordenado y articulado, ha generado falencias urbanísticas. Son de destacar:

- La gran extensión del tejido urbano.
- Crecimiento hacia sectores que no cuentan con infraestructura y equipamiento.

- Existencia de importantes huecos urbanos con infraestructura periférica.
- Falta de consolidación y jerarquización del equipamiento estructural.

Históricamente la ciudad de Mendoza ha soportado severas inundaciones derivadas del hecho de estar asentada en el pedemonte de la Precordillera Andina, en el cono de deyección de varias cuencas aluvionales.

De este pedemonte bajan innumerables cauces de diferente importancia, en forma más o menos paralela. Mendoza, que está situada donde el pedemonte se va transformando en planicie, los intercepta. Hoy, esta importante urbe denominada Gran Mendoza, ha quedado surcada por una serie de canales que han tratado de respetar lo que la naturaleza ha impuesto desde el comienzo (Figura 7.1).

Existen antecedentes comprobados de problemas aluvionales desde el año 1607 (Mendoza fue fundada por españoles encabezados por Don Pedro del Castillo en el año 1561). Dichos antecedentes se encuentran plasmados en antiguos documentos y manuscritos, de sacerdotes y vicarios jesuitas y de altas autoridades de la época.

Estos problemas fueron surgiendo debido a la insuficiente capacidad de conducción con que cuentan dichos canales y a las características peculiares del sistema de drenaje pluvial. Esta insuficiencia puede atribuirse a la disminución paulatina tanto de su pendiente como de su sección transversal. Esta última es el resultado de la presión urbana por ocupar espacios. No es necesario resaltar para los mendocinos la situación crítica de la ciudad, ni tampoco hacer notar que el centro de Mendoza constituye un caso de núcleo urbano donde con el pasar de los años se producen crecientes en las zonas bajas provocadas por lluvias cada vez menores.

El diagnóstico es simple: Mendoza es un caso típico de urbanización clásica, agravado en los últimos años por la excesiva urbanización especulativa. Sin un criterio urbanístico adecuado, la misma está sujeta no sólo a una reducción cada vez mayor del tamaño de los lotes sino también a la falta de reservas de adecuados espacios para su parquización. Al respecto, cabe volver la vista hacia los años en que se estableció el parque General San Martín y comparar el tamaño del área urbana de entonces con el tamaño del parque, para deducir la extraordinaria visión que se tenía en aquel momento de la necesidad de espacios verdes.

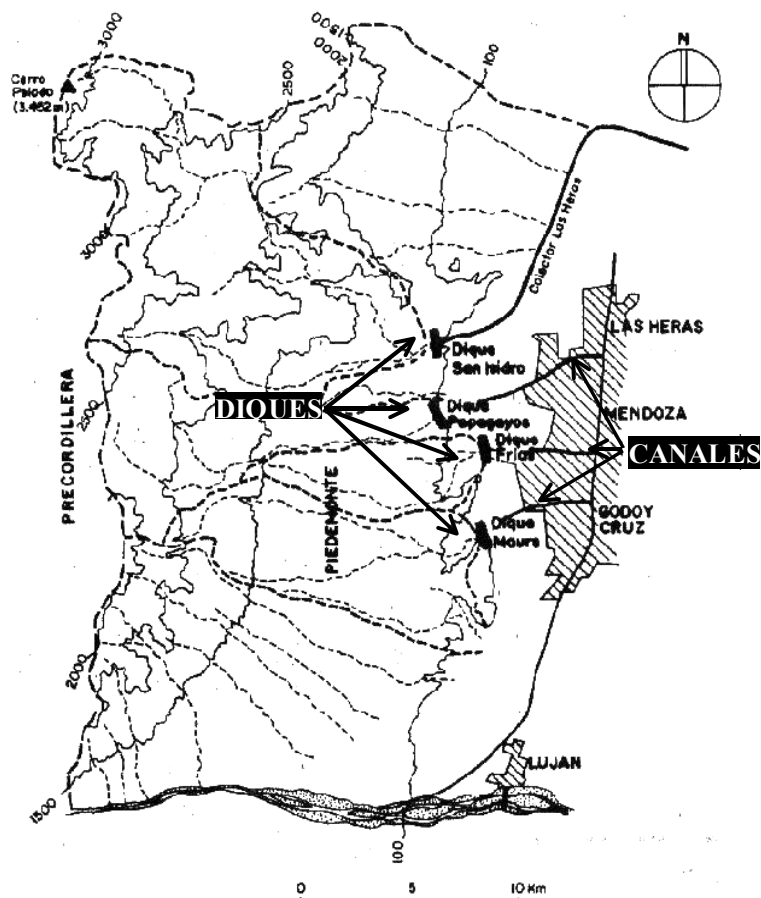


Figura 7.1. Pedemonte y conglomerado urbano del Gran Mendoza. Ubicación de diques aluvionales.
(Fuente: INA-CRA).

Actualmente la ciudad crece hacia el Oeste de manera inadecuada, ya que prácticamente se está "pavimentando el pedemonte" con loteos que están indefectiblemente dejando totalmente anuladas las posibilidades de extensión del parque hacia el Sur y hacia el Norte.

En los últimos 40 años la población urbana del Gran Mendoza se ha triplicado con el consecuente efecto de impermeabilización, y las asiduas crónicas periodísticas durante la temporada estival dan cuenta de la gravedad de los daños que ocasiona el escurrimiento que originan las intensas tormentas convectivas.

El sistema de drenaje pluvial natural (acequias de irrigación de la arboleda pública), no está adecuadamente diseñada para aquella función y por lo tanto el rol de conducción es asumido por las calzadas con los obvios inconvenientes que se producen durante los eventos.

Si bien el problema pertenece al ámbito municipal, el Poder Ejecutivo Provincial debería coordinar las acciones de los municipios en el caso del Gran Mendoza, por su particularidad de conglomerado urbano, donde las divisiones políticas no coinciden con las divisorias de agua, y porque en muchos casos los colectores aluvionales inciden en el funcionamiento de los desagües pluviales.

El conglomerado urbano intercepta una gran cantidad de cauces naturales, muchos de los cuales han desaparecido y otros se han convertido en calles. Los más importantes se han respetado y hoy son canales que conducen el agua retenida y laminada por los diques aluvionales al colector principal.

Los diques aluvionales Papagayos, Frías y Maure se ubican al Oeste de la ciudad de Mendoza, en el comienzo de los conos de deyección y donde las pendientes pedemontanas adquieren valores menores. Estos diques tienen descargadores de fondo que no son regulados y vertederos de seguridad. Estos diques aluvionales forman una especie de escudo que normalmente protege de una forma efectiva a la ciudad de las avenidas que se forman en estas cuencas, las cuales poseen una importante pendiente media y por consiguiente, cortos tiempos de concentración y elevados caudales pico.

7.3 - Medidas de control recomendables

7.3.1 - Consideraciones generales

Debido a la variedad de factores geológicos que afectan a la urbanización y a los diferentes objetivos que pueden conducir al gobierno a formular las regulaciones sobre urbanizaciones, no existe un conjunto de regulaciones "mejores" o "modelos" que puedan recomendarse. Desde luego, deben hacerse muchas negociaciones y elecciones cuando se toman decisiones sobre políticas de urbanización. No es suficiente esperar que una ordenanza de otra comunidad pueda resolver todos los problemas ya que se pueden plantear una infinidad de consideraciones como las que siguen:

- ¿La comunidad quiere permitir la construcción de un número grande de unidades habitacionales sin riesgo?
- ¿O se limitaría más bien la urbanización en el pedemonte a una baja densidad de casas de tipo residencial de gran poder adquisitivo?
- ¿Se quiere conservar solamente el aspecto del pedemonte?
- ¿O se quisiera enfatizar más bien el hábitat de fauna silvestre y el ambiente natural?
- ¿Se prefieren caminos más amplios con mayor seguridad o más estrechos que minimicen la perturbación de la pendiente natural?
- ¿Se desea contar con una vegetación nativa densa por motivos estéticos y ambientales, o un paisaje irrigado?

La lista podría ser aún más extensa. Las regulaciones de pedemonte pueden clasificarse como:

Recomendaciones sobre pendiente/densidad. Éstas reducen las densidades permisibles en pedemonte ya que a mayor pendiente menor densidad. Esto puede complementarse con:

1. Establecimiento de dimensiones mínimas para lotes para mayores pendientes.
2. Especificaciones de porcentajes de cada sitio para ser mantenido en estado natural.
3. Reducción del número de unidades habitacionales permisibles en pendientes pronunciadas.

Suelos. Estas recomendaciones ponen las regulaciones de la urbanización en función del tipo de suelo basados en mapas.

Técnica de principios guías. Esta técnica crea distritos que ponen todas las tierras del pedemonte en una única jurisdicción. Se aplica un conjunto de principios guía a todas las propuestas de urbanización en estas áreas. Estas regulaciones son usualmente flexibles, permitiendo diseñar la urbanización de acuerdo a cada sitio y aplicar técnicas innovadoras para obtener el fin deseado.

Las regulaciones sobre *pendiente / densidad* son, quizás, las técnicas más comunes para controlar las urbanizaciones en pedemonte. La mayoría de las comunidades deberían reducir los impactos negativos típicos de las urbanizaciones en laderas: excesivos desmontes y terraplenado, problemas de erosión y drenaje. Es lógico dirigir estos problemas reduciendo la intensidad del uso del suelo en tanto se incrementa la pendiente. En particular las regulaciones sobre *pendiente / densidad* se han visto como una manera de responder a las realidades geométricas de la nivelaciones en el pedemonte: los movimientos de

suelo que se requieren para obtener superficies niveladas incrementa fuertemente con la pendiente, hasta que, para pendientes de 50% (2 horizontal a 1 vertical) se requieren desmontes o terraplenes 2:1 que se extenderán teóricamente en forma ilimitada.

7.3.2 - Pautas para la urbanización del pedemonte

- Las urbanizaciones deben considerar la materialización de defensas para proteger el interior de los barrios y loteos, pero al mismo tiempo se deberá resolver la evacuación final de los excedentes hídricos ya que el actual sistema de colectores se encuentra saturado.
- Tendrá que regularse el mercado inmobiliario a fin de evitar la excesiva urbanización especulativa, que atenta contra: el tamaño de lotes, servicios y equipamientos adecuados como también espacios verdes. Tanto uno como el otro, inciden significativamente en el coeficiente de escorrentía que tiene que ver con la generación de volúmenes, en la cantidad de caudales torrenciales y en el efecto inmediato producido. Es decir a mayor impermeabilización, se producirán mayores caudales y en menor tiempo. Es conveniente efectuar loteos con parcelas superiores a 400 m², con el fin de que sea más efectiva la infiltración, así como la preservación de espacios verdes que actúen de freno a las corrientes de agua, producto de las crecidas aluvionales, a manera de bulevares por ejemplo. Debe desterrarse el criterio simplista de proyectar espacios verdes o plazas en el centro de los barrios que no permiten la infiltración y retención de escurrimientos pluviales.
- Los movimientos de tierra que se efectúen para urbanización tendrán que realizarse de manera tal que modificando las características del terreno, se respeten los cauces naturales.
- Se deberá evitar la configuración de barrios en damero, tratando de materializar las calles siguiendo las curvas de nivel. Es inadmisibles seguir con el criterio de urbanización ajustado a ciudades de llanura.
- En vista de la saturación de cauces colectores y de riego, tendrá que estudiarse la posibilidad de que cada barrio cuente con reservorios que amortigüen los excedentes hídricos torrenciales.
- Tendrán que realizarse obras de control para las cuencas superiores, consistentes en la materialización de pequeños diques o bordos transversales con material del lugar. En tanto para los torrentes generados en cuencas medias, será necesario efectuar obras de corrección que defiendan a la ciudad. Siempre deberá considerarse el

problema aluvional en forma integral teniendo en cuenta todas las variables tanto físicas como humanas.

Una revisión reciente de proyectos de control de crecidas para áreas urbanas ejecutados en EEUU y Canadá, demostró que donde solamente se consideraron medidas de tipo estructural, con el lógico y significativo esfuerzo financiero, los daños se siguieron produciendo y los relevantes costos, no pudieron ser evitados. Con esta mención se quiere hacer resaltar la importancia que tienen como complemento la toma de decisiones de tipo *no-estructural* consistentes, por ejemplo en:

- Legislaciones específicas sobre el tema abarcando aspectos como: uso del suelo, reglamentación sobre loteos y urbanizaciones, códigos de edificación, manual de drenaje de ámbito municipal, etc.
- Acciones de emergencia sobre la base de un sistema de alerta hidrológica en tiempo real
- Disponibilidad de seguros contra crecidas.-
- Aspectos a contemplar en las etapas de planificación urbana.
- Limpieza de calles para evitar la obstaculización del escurrimiento y la contaminación aguas abajo.
- Implementación de un sistema de pago de tasas destinadas a recaudar fondos para la operación y mantenimiento del sistema de drenaje y para la inversión en nuevas obras. Si estas tasas fueran proporcionales al escurrimiento producido por cada propiedad (equivalente a superficie impermeable) alentarían al propietario a que tal escurrimiento infiltre total o parcialmente en su propiedad (por ejemplo: jardín) aliviando así al sistema de drenaje existente.
- Educación pública sobre la problemática.

Se ha comprobado, a través de algunas experiencias en el exterior, que con una buena planificación y diseño de calles se puede ayudar sustancialmente a reducir las dimensiones, y algunas veces eliminar, el sistema de acequias en futuras áreas urbanas.

En varios países desarrollados se han realizado proyectos en el marco de la concepción denominada "Azul-verde" (blue-green) que consiste en la utilización de grandes espacios abiertos para el "almacenamiento temporario o permanente" del agua pluvial, desde un punto de vista estético y/o recreacional. Así también, y bajo el mismo concepto, se han diseñado plazas y paseos públicos en general.

Naturalmente, tanto el diseño de soluciones estructurales como la toma de decisiones no-estructurales necesitan del conocimiento cuantitativo de parámetros hidrológicos e hidráulicos.

CAPITULO 8

INUNDACIONES REPENTINAS EN AREAS SERRANAS DE CORDOBA

Osvaldo Barbeito y Silvio Ambrosino

8.1 - Estudio de caso: Ciudad de Mina Clavero

8.1.1 - Introducción

La ciudad de Mina Clavero constituye uno de los centros turísticos más importantes de la Provincia. La misma se localiza al pié de la vertiente occidental abrupta del cordón Central (Cumbres de Achala), a las márgenes del colector principal de la cuenca de recepción, inmediatamente a la salida del bloque montañoso. Las particularidades naturales ligadas a la generación de las crecientes repentinas adquieren en esta ciudad gran significación, hecho corroborado por diversos antecedentes históricos. (Barbeito y Ambrosino, 1993).

La ciudad se situa en la cuenca del río Los Sauces. Las subcuencas de los ríos Mina Clavero y Panaholma que la componen, conforman el área de recepción del sistema. La primera se conforma por los ríos Del Sauce, Las Manzanas y Hondo, abarcando el conjunto una superficie de 175 km² hasta el centro de la ciudad de Mina Clavero. El cauce principal desde las nacientes (2.262 m.s.n.m) hasta el centro urbano (880 m.s.n.m), tiene una longitud de 17 Km, que resulta en una pendiente media de 5,41%. Por su parte la segunda, la conforman los ríos Los Hornillos, Laguna Verde y San Lorenzo, abarcando el conjunto una superficie de 425 km². El cauce principal (Laguna Verde) tiene nacientes a una altitud de 2.270 m.s.n.m. y un recorrido de 57 km hasta la confluencia con el río Mina Clavero (pendiente media 2,36 %). De la confluencia de ambas subcuencas, se genera el río Los Sauces que surca la depresión del valle de San Alberto, flanqueada al Este por los bloques de las Cumbres de Achala y al Oeste por los de las Sierras de Pocho. El río Los Sauces es de carácter endorreico. Presenta un régimen de escurrimiento pluvial permanente hasta el embalse La Viña. A partir de allí y luego de un breve recorrido se insume en los materiales permeables (fluviotorrenciales) que rellenan los bolsones occidentales de la Provincia de Córdoba (Olsacher, 1972).

8.1.2 - Zonificación geomorfológica: carta de amenaza por inundaciones

Metodología empleada

Para la determinación de las características geológicas y geomorfológicas regionales y locales, se empleó información temática contenida en imágenes satelitales (cuartos de imagen) a escala 1:250.000 en banda 7 del año 1983, TM. a escala 1:100.000 y fotografías aéreas a escalas aproximadas 1:20.000 y 1:5.000 del año 1970. Como base topográfica se utilizaron las Hojas Mina Clavero y Panaholma editadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), a escala 1:50.000.

La metodología empleada contempló dos niveles interactivos: (a) nivel regional y (b) nivel de semidetalle y detalle. Para el primer nivel fueron empleadas imágenes satelitales. Las tareas incluyeron el reconocimiento, definición, caracterización y mapeo de los siguientes aspectos a nivel de cuenca hidrográfica:

- Clases litológicas dominantes de acuerdo, fundamentalmente, a los parámetros ligados a la permeabilidad (génesis, estructura, grado de rocosidad, texturas, etc.).
- Sistema de drenaje a nivel de cuenca y subcuencas.
- Pendientes naturales en base a su inclinación y distribución.
- Vegetación natural según fisonomía y densidad de cobertura (enfoque fisonómico-estructural). Uso actual.

Los datos temáticos fueron volcados a mapas a escala 1:100.000. De la intersección de los mapas de materiales geológicos de superficie y las pendientes naturales, se obtuvo un mapa de clase geomorfológicas definidas en base a la naturaleza del terreno, la permeabilidad e inclinación. Esta información fue cotejada con el cálculo y análisis de las forma planas y verticales de la cuenca (áreas, perímetros, formas, pendiente medias, etc.). Ello posibilitó el conocimiento del grado a la tendencia a la generación de crecientes repentinas que presenta la cuenca.

Para el segundo nivel de detalle fueron empleadas fotografías aéreas. Mediante el análisis de fotointerpretación se reconocieron, definieron y caracterizaron los siguientes aspectos:

- Formaciones geológicas
- Ambientes y unidades hidrogeomorfológicas, con especial énfasis en las trazas y elementos indicativos de la dinámica de las inundaciones.

- Situaciones de inestabilidad actuales y potenciales ligadas a la tendencia evolutiva de la erosión de márgenes (estrangulamientos de meandros, desbordes en paleocauces, etc.).

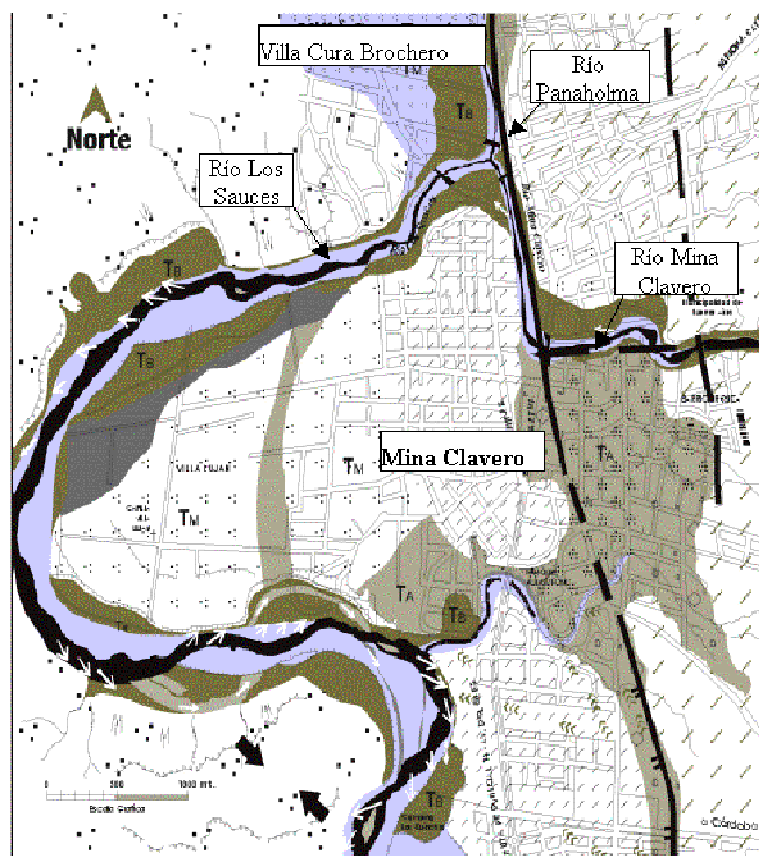
La información obtenida fue chequeada en campaña mediante un exhaustivo control “in-situ” y ajustada en base a la obtención y análisis de la información histórica recabada de antiguos pobladores de la zona. Ello posibilitó realizar la zonificación final considerando las áreas inundables ante la ocurrencia de eventos ordinarios y extremos. La cartografía final, se obtuvo en colores a escala catastral (1:5.000).

8.1.3 - Interpretación de resultados

La ciudad de Mina Clavero y su entorno se extiende, en su mayor parte, sobre la baja pendiente de la escarpa tectónica de los bloques que integran las Cumbres de Achala, a ambas márgenes del río Mina Clavero inmediatamente a la salida de la sierra. La parte restante de la ciudad se desarrolla sobre el borde oriental de la depresión del valle de San Alberto, en donde el río Mina Clavero confluye con el río Panholma (Figura 8.1).

En el primer caso la litología y la estructura geológica juegan un papel preponderante en el grado de amenaza a inundaciones ribereñas. El río atraviesa la zona urbana encajado en el basamento cristalino (granito) por efecto de una falla longitudinal en primera instancia O-E y luego N-S en cuyo trazo confluye frontalmente con el río Panaholma, también controlado por dicha falla. Aquí el río, debido a la marcada predominancia del relieve y la estabilidad de márgenes dada por el tipo litológico, no ha generado un típico lecho de inundación. Así, actúa sobre la margen derecha en un nivel de terraza de erosión labrada en el basamento con una débil cobertura de material fluvial, sobre la que se asienta la estructura edilicia.

La dinámica de las crecidas es controlada por la presencia de fallas geológicas. Este hecho restringe el desarrollo lateral, potencializa el incremento vertical y, consecuentemente, el avance frontal. Estas crecidas de fuerte poder destructivo significan un alto grado de amenaza a la población. En el paisaje del Valle de San Alberto la situación geomorfológica e hidrológica es diferente. En las márgenes del río Los Sauces se sitúan edificaciones aisladas y sectores de campamentismo. El canal colector de la cuenca de recepción del río Panaholma tiene un recorrido de 19 Km hasta la confluencia, hecho que involucra un retardo temporal del pico de crecida con respecto a la subcuenca del río Mina Clavero, que sólo recorre 3,5 Km. Ello da lugar a la generación de dos picos de crecida.



BARETTO-AMEROSIO

Carta N° 1

Referencias

Geológicas-Geomorfológicas

- Curso de agua temporario
- Dirección gral. de escurrimiento pluvial
- Borde de terraza
- Barrancas
- Fallas probables
- Fallas comprobadas con ubicación de labio hundido
- Dirección de desbordes
- Tendencia a la erosión de margen
- Extrangulamiento potencial de meandro
- Erosión hídrica concentrada en cárcavas

Zonas sin amenaza de inundación por acción del río

- Basamento cristallino (Granito paleozoico inferior) Relieve accidentado
- Basamento cristallino (Granito paleozoico inferior) con cubierta Sedimentaria poco potente, Cuaternario Relieve accidentado
- Depósitos fluviales (Arenas medias-alta holoceno) Disectados por corrientes esporádicas. Relieve de lomas
- Depósitos fluviales recientes Aterrazados. Relieve plano
- Trazas de paleocausas no difícadas por neotectónias. Areno-conglomerados
- Nivel de terrazas altas estables

Zonas bajo amenaza de inundación por acción del río

- Zonas de baja amenaza Lecho de inundación episódico. Áreas inundables por avance y crecimiento lateral de las aguas de crecida (Amenazamiento)
- Nivel de terrazas medias parcialmente inundables
- Zonas restringidas. Lecho de inundación episódico. Áreas inundables por avance frontal de aguas de crecida (Poder destructivo)
- Zonas de alta amenaza. Lecho de inundación anual. Áreas inundables en forma total o parcial ante la ocurrencia de crecientes anuales.
- Lecho ordinario. Canal de estiaje. Áreas inundables en forma total ante la ocurrencia de crecientes anuales
- Nivel de terrazas bajas totalmente inundables.

Figura 8.1. Carta de zonificación de amenazas por crecidas repentinas. Mina Clavero.

Inmediatamente aguas abajo de la confluencia, el río pierde en gran parte el control estructural y comienza a adoptar un patrón de escurrimiento meandriforme. Ello es debido a un incremento en la carga sedimentaria producto del brusco cambio de pendiente entre la vertiente de la sierra y el valle. En primera instancia, dentro del ejido urbano, el río describe un amplio meandro labrado en los rellenos aluvionales. Allí, la dinámica se caracteriza por la tendencia de la erosión de márgenes ligada a la evolución del meandro. Este mecanismo se ve favorecido por el carácter friable de las márgenes. Al comienzo del meandro el río corre encajado sobre rocas graníticas del basamento cristalino, lo cual imposibilita la tendencia al estrangulamiento. Aguas abajo, luego de describir una amplia curva y siguiendo la dinámica características de estas geoformas con erosión en la parte externa, deposición en la interna y migración aguas abajo, se evidencia una situación potencial cierta de estrangulamiento (Figura 8.1).

En este tramo del río, a diferencia del tramo urbano antecedente, el mismo ha generado un lecho de inundación periódico, un lecho de inundación episódico (actuando en parte como tal), un nivel de terraza (poligenética) y un bajo inundable. Todas estas unidades que se distinguen claramente en el análisis fotogeomorfológico. Es en este tramo, en donde debe ponerse mayor atención en la adopción de medidas de mitigación no-estructurales y estructurales, sobre todo teniendo en cuenta que la tendencia del crecimiento urbano es en ese sentido.

La determinación de la carta de zonificación de amenazas por inundaciones contempló, a su vez, la siguiente clasificación (ONU, 1976 modificada):

A - Medios estables: no inundables por la acción del río y sólo por escorrentías locales. Se incluyen las geoformas del paisaje del piedemonte distal no comprendidas en el ámbito fluvial.

B – Medios inestables: inundables por la acción del río. Se incluyen las geoformas que componen el ámbito fluvial activo, las que en base al aspecto hidrodinámico se subdividen en:

- Zona de alta amenaza ante la ocurrencia de crecientes repentinas ordinarias: comprende el lecho ordinario del río claramente definido.
- Zona de seguridad con amenaza de inundación ante la ocurrencia de eventos extremos. En este caso se distinguen dos subzonas:
 - (i) bajo fuerte amenaza: se incluyen los elementos hidrogeomorfológicos que implican el avance frontal y fuerte poder destructivo de los picos de crecida;

- (ii) bajo amenaza moderada: se incluyen los sectores que, por las condiciones hidrogeomorfológicas, implican el avance y crecimiento lateral de los picos de crecida con menor poder destructivo.

-Interpretación de la carta de amenazas por inundaciones:

De las cuencas de recepción del río Los Sauces, la subcuenca del río Mina Clavero es la que presenta mayor tendencia a la generación de crecientes repentinas de magnitud. Entre los factores con mayor incidencia sobre tal tendencia se destacan:

- la fuerte energía del relieve condicionada por el aspecto tectónico,
- la baja permeabilidad del sustrato rocoso de carácter cristalino,
- las formas planas y verticales del sistema de drenaje y,
- la ocurrencia de tormentas convectivas severas por el efecto orográfico.

El grado de amenaza por crecientes repentinas a que está expuesta la ciudad de Mina Clavero, está ligado a la posición geomorfológica que ocupa la ciudad y su entorno en relación a los lechos de los ríos.

El tramo sobre el río Mina Clavero antes de su confluencia con el río Panaholma, es el que presenta la situación de riesgo más significativa, en particular ante la ocurrencia de eventos extremos. Su corto tiempo de respuesta (aproximadamente una hora), la dinámica fluvial que implica la rápida traslación de crecidas no amortiguadas y el grado de ocupación del sector son elementos que se combinan para generar un escenario potencialmente crítico.

Aguas abajo de la confluencia con el río Panaholma, el grado de amenaza-riesgo decrece en función del cambio de la dinámica fluvial y del menor grado ocupacional. No obstante, la amenaza por erosión de márgenes asociada a la tendencia evolutiva del meandro, constituye una situación de inestabilidad que debe ser considerada convenientemente para mitigar las situaciones potenciales de riesgo. Para tal fin deben implementarse medidas estructurales y no-estructurales a corto plazo.

Los datos cartográficos obtenidos complementados con los aportados por la red telemétrica instalada en la cuenca (lluvia-altura de ríos), permitieron implementar una estrategia de mitigación dirigida, en particular, a brindar la alerta temprana ante la ocurrencia de eventos extraordinarios.

La información lograda mediante planes de divulgación específicos y en general a nivel de organismos públicos y privados, posibilitaron la implementación de las estrategias de la Defensa Civil (ubicación y

reubicación de centros estratégicos, planes de evacuación, asistencia, etc.) y la concientización de la población, dirigida a lograr la autoevacuación.

Los datos meteorológicos, hidrológicos y geomorfológicos, certifican el carácter extraordinario del evento atmosférico del 10 y 11 de noviembre de 1993, el cual generó la creciente episódica que afectó a la población de Mina Clavero.

8.2 - Estudio de caso: localidades de Villa Anizacate y Costa Azul

8.2.1 - Introducción

Villa Anizacate y Costa Azul constituyen dos villas turísticas serranas localizadas sobre las márgenes del río Anizacate, aproximadamente a 65 km al Sudoeste de la ciudad de Córdoba.

La cuenca del río Anizacate tiene nacientes en la vertiente oriental de la parte media del lineamiento orográfico central de las Sierras de Córdoba (Cumbres de Achala), a una altitud promedio superior a los 2.000 m.s.n.m.

Conjuntamente con la cuenca del río Los Molinos, conforma las nacientes del sistema hidrológico de la cuenca del río Xanaes o Segundo, de carácter endorreico, con nivel de base en la laguna de Mar Chiquita. El área de recepción la conforman las subcuencas de los ríos La Suela y San José, abarcando en conjunto una superficie de 517 km² (Figura 8.2).

El sistema de drenaje presenta un sistema dendrítico angular en correspondencia a la litología dominante de la cuenca (rocas cristalinas), con fuerte control estructural por efectos de fallas, fracturas y diaclasas.

La densidad de drenaje es alta, en respuesta a la baja permeabilidad (secundaria) de los materiales geológicos. La misma alcanza un valor medio de 3,5 cursos/km². Los cauces tributarios son cortos, predominan trazos rectos y encajados en valles en “V”, donde la dinámica fluvial se caracteriza por el neto predominio del arranque y del transporte sobre la deposición.

En la actualidad la cobertura del suelo de la zona presenta un grado moderado de alteración por efecto de incendios frecuentes e incontrolados, hecho que disminuye la densidad de cubierta de mediana protección hidrológica.

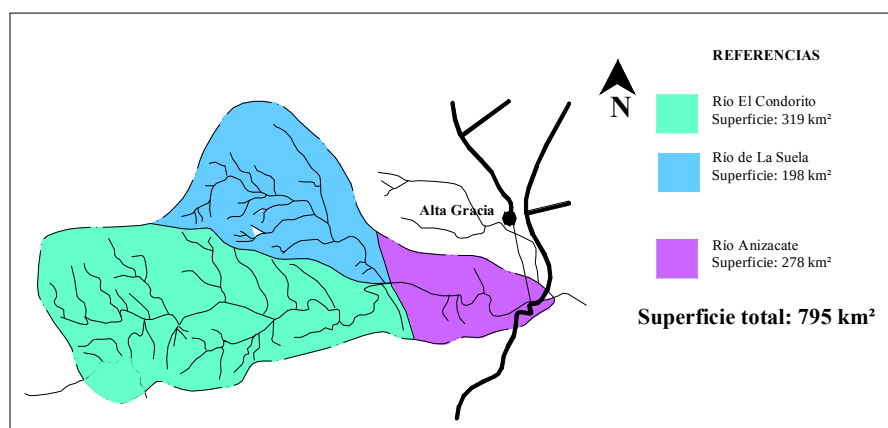


Figura 8.2. Cuenca de aporte del río Anizacate hasta Villa Anizacate y Costa Azul.

8.2.2 - Zonificación geomorfológica: carta de amenaza por inundaciones

Siguiendo una metodología similar a la descrita en el estudio del caso precedente, se confeccionó la carta de amenaza por inundaciones. A continuación se describe una interpretación de los resultados obtenidos.

- Interpretación de resultados

Desde su ingreso a la zona pedemontana proximal, hasta la ruta nacional Nro. 36, en un recorrido de 7 km, el río Anizacate adopta un diseño fuertemente controlado por la estructura geológica (fallas y fracturas), hecho que se evidencia en la abundancia de trazos rectos a lo largo de su recorrido y en frecuentes afloramientos del sustrato cristalino en el fondo y márgenes del lecho.

En este tramo la pendiente del curso (0,44%) determina el predominio del arrastre sobre la deposición, que se evidencia por el escaso desarrollo de los planos aluviales y la inexistencia de un típico lecho de inundación.

Aguas abajo del puente la situación es diferente. A partir de dicho punto el río ingresa al ámbito del piedemonte distal, con un importante cambio en la pendiente (0,16%) y en las características del entorno geológico. El curso pierde el control estructural del tramo anterior y evoluciona sobre los propios sedimentos aluvionales (gravas, arenas y limos arenosos) adoptando un diseño de escurrimiento meandiforme, denotando un cierto equilibrio entre la carga y el transporte. También se nota un aumento en el desarrollo natural del ambiente fluvial por erosión

de márgenes. El lecho ordinario alcanza hasta los 250 m de ancho y la planicie de inundación activa, incluyendo el lecho periódico y episódico, los 600 m.

En este ambiente, por efecto de cambios climáticos y/o neotectónicos que dieron lugar a pulsos de sedimentación y erosión, los planos aluviales se presentan aterrazados en tres niveles principales: el nivel superior más antiguo (T1), el nivel medio (T2) y el nivel inferior reciente (T3). Estos tres niveles se visualizan en la Figura 8.3.

En la zona, la dinámica fluvial (caracterizada por la erosión de márgenes en las partes externas de los meandros con evolución final en el extrangulamiento), se evidencia por las numerosas espiras abandonadas que indican diversas situaciones antecedentes. Ello se aprecia claramente en el análisis de fotografías aéreas.

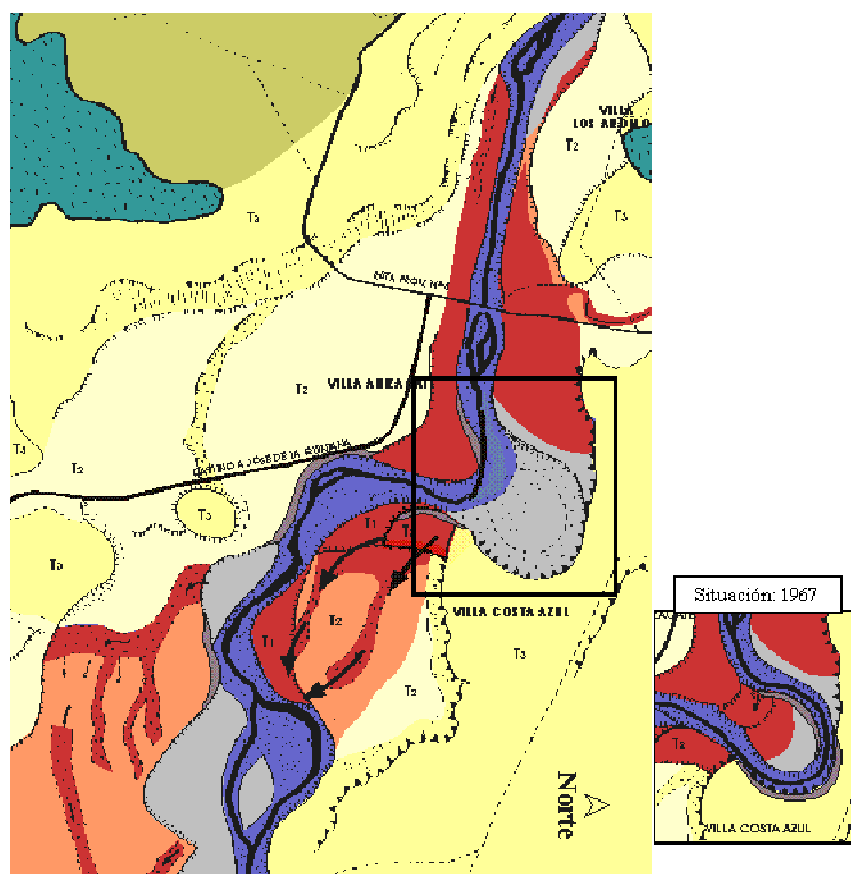
A diferencia del tramo anterior, el río ha definido claramente en este sector los ambientes, unidades y elementos que componen el ámbito fluvial y que tienen alta participación en la dinámica y alcance de las inundaciones repentinas.

En efecto, en esta cuenca se produce una importante generación de crecientes repentinas de gran magnitud. Éstas se dan principalmente por las propiedades físicas de la cuenca, conjuntamente con la forma casi circular del área de recepción, que implica la rápida respuesta de la misma (bajos tiempos de concentración). Se suman a estas condiciones las frecuentes ocurrencias de tormentas convectivas severas, favorecidas por el efecto orográfico y el grado intermedio de protección hidrológica que ofrece la vegetación natural.

- Dinámica y alcance de las inundaciones en áreas pobladas y su entorno

En el tramo comprendido entre la salida de la sierra y el puente de la ruta nacional Nro. 36, el curso del río presenta cierta estabilidad. Las crecientes, en respuesta al control estructural y al escaso desarrollo del ámbito fluvial, adoptan una dinámica que se caracteriza por el marcado predominio del crecimiento progresivo (longitudinal) de los picos.

En el caso particular de las comunas de Villa Anizacate y Costa Azul, cabe analizar la evolución registrada en la zona desde 1967 (Figura 8.3). En aquel año se evidenciaba el avanzado estado evolutivo de un amplio meandro semiencajado próximo al estrangulamiento. El corte del mismo se produjo finalmente ante la ocurrencia de una crecida ordinaria en el verano de 1993, generando en consecuencia sustantivos cambios en la dinámica fluvial y en las situaciones de amenaza asociadas.



Referencias:

Medios Estables

No inundables por acción del río

- Basamento cristalino
- Valles amplios plano-cóncavos
- Relieve positivo de planicie inclinada
- Nivel superior de terraza fluvial
- Posición geomorfológica no comprometida
- Del nivel medio de terrazas fluviales
- Palcoscenicos inactivos y espiras abandonadas
- Borde de terraza

Medios Inestables

Inundables por acción del río

Zona de alta amenaza de inundación ante crecientes repentinas

- Áreas inundables en forma total (Lecho ordinario)
 - Áreas inundables en forma total o parcial
 - Áreas sujetas a intensa erosión de márgenes
- Zona de seguridad con amenaza de inundación ante crecientes repentinas extremas
- Áreas bajo fuerte amenaza por el avance frontal de las aguas de crecida
 - Áreas bajo amenaza moderada por el avance y crecimiento lateral de los picos de crecida

Figura 8.3. Carta de riesgo de inundación de Villa Anizacate y Costa Azul.

En el nivel medio de la terraza T2 (sobre la margen derecha del curso), donde se emplazan sectores urbanos de Costa Azul, los frentes de crecidas con anterioridad al estrangulamiento describían el trazo del meandro. Esta situación mostraba cierta estabilidad en el sistema.

Sin embargo, luego de producido el estrangulamiento, los frentes de crecidas comenzaron a dirigirse en forma frontal hacia el borde de dicha terraza.

Como consecuencia de ello, durante la crecientes estivales se generaron rápidos e intensos procesos de erosión de márgenes. Estos procesos implicaron la destrucción de diversas viviendas localizadas en el sector. En la Foto 8.1 se aprecia la magnitud de la erosión y los daños materiales provocados.



Foto 8.1. Destrucción de viviendas costeras. Márgenes del río Anizacate (Córdoba).

8.2.3 - Conclusiones y Recomendaciones

La cuenca del río Anizacate presenta una fuerte tendencia a la generación de crecientes repentinas de picos considerables, en respuesta a las características del medio físico, hecho que a la vez se corrobora con datos históricos.

Las comunas de Villa Anizacate y Costa Azul están expuestas a una significativa amenaza frente a la ocurrencia de crecientes extraordinarias. Esta situación se torna severa frente a la ocurrencia de un evento de carácter extremo, en particular el caso de la comuna de Costa Azul.

El estrangulamiento del meandro ha dado lugar a significativos cambios en la dinámica fluvial. Dicha condición se traducirá progresivamente en situaciones de inestabilidad en el sitio y aguas abajo, implicando una amenaza potencial en las zonas pobladas (comuna de Dique Chico).

- Recomendaciones

Los casos previamente descriptos son representativos de situaciones similares que se presentan en diversas regiones serranas de la provincia de Córdoba. La región se caracteriza por la ocurrencia de crecientes repentinas, que constituyen la amenaza natural por excelencia para aquellos emplazamientos urbanos que, sin ninguna planificación en este sentido, se han ido asentado sobre las zonas inundables próximas a los ríos. Aunque este tipo de fenómenos se produce con alta frecuencia, aún no se toman en la provincia las medidas y precauciones necesarias.

La estrategia de base geomorfológica y el uso de las técnicas de sensoramiento remoto, constituye una herramienta de alta utilidad para la detección y mitigación de situaciones de esta naturaleza, debido a que:

- Posibilita evaluar la tendencia y característica de la dinámica fluvial a través del tiempo geológico y situaciones de amenazas presentes y futuras.
- Significa la obtención de datos claros y precisos a corto plazo y bajo costo.
- Suministra información que involucra la seguridad de propiedades, vidas de vecinos y turistas.
- Constituye el punto de partida para la implementación de acciones de mitigación.
- Complementada con información de carácter interdisciplinar, posibilita la adopción de las restricciones de uso definitivas.

CAPITULO 9

INUNDACIONES SEVERAS POR CRECIDAS EXTREMAS

**Oswaldo Barbeito, Silvio Ambrosino, Juan C.
Bertoni y Carlos Ubaldo Paoli**

9.1 - Introducción

En los últimos años se han producido en el país diversas inundaciones severas que afectaron a poblaciones ribereñas. En varios casos estos eventos implicaron pérdidas de vidas humanas e importantes daños materiales. Por la rapidez y violencia de las crecidas, que originaron verdaderas catástrofes en la poblaciones afectadas, se destacan dos casos: San Carlos Minas (Provincia de Córdoba) y Cañada de Gómez (Provincia de Santa Fe).

Ambas experiencias, de características trágicas, pusieron de manifiesto la posibilidad real de repetición de hechos similares en otros centros urbanos del país. Pese a ello, poco se ha avanzado en el país en lo relativo a los estudios de zonificación por inundaciones ribereñas.

Estos estudios están orientados a determinar el riesgo hidrológico por inundación a que están expuestos los distintos sectores urbanos y semiurbanos. Los mismos brindan las bases necesarias para la planificación ordenada del territorio a fin de prevenir y minimizar la pérdida de bienes y vidas humanas.

La descripción que se realiza a continuación de los eventos antes citados, como así también de las consecuencias y soluciones adoptadas, apuntan a incentivar la toma de conciencia acerca de la necesidad de encarar dichos estudios.

9.2 - Estudio de Caso: San Carlos Minas (Pcia. de Córdoba)

9.2.1 - Introducción

La localidad de San Carlos Minas (740 m.s.n.m) se localiza en la baja pendiente de la vertiente occidental de las Cumbres de Gaspar (31° 11' de

latitud Sur y 65° 16' de longitud Oeste), integrantes del cordón central de las Sierras Pampeanas de la Provincia de Córdoba (Figura 9.1).

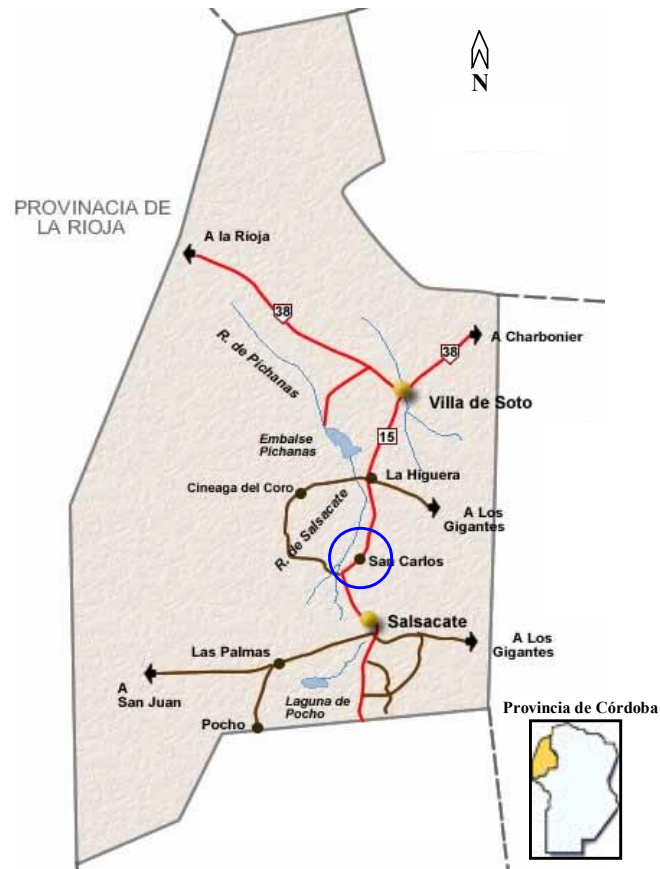


Figura 9.1. Localización de San Carlos Minas, Provincia de Córdoba.

Su núcleo urbano concentra aproximadamente 1.000 habitantes y se localiza en las márgenes del río Vallecito o Noguinet. La cuenca de aporte del mismo posee una superficie de 260,4 km². Ésta está integrada por dos subcuencas principales: la del río Vilchez (179,9 km²) y la del río Sauce de los Quevedos (73,9 km²), cuyas nacientes se localizan sobre el área cumbral de las Cumbres de Gaspar, a una altitud media sobre el nivel del mar de 1.750 m.

El 6 de enero de 1992 se produjo sobre este curso de agua un evento de características severas, con consecuencias trágicas sobre la población de San Carlos Minas. Durante el mismo, un sector de la localidad fue prácticamente arrasado. El saldo fue de 30 muertos, 40 desaparecidos e importantes daños materiales.

Cabe señalar que en las sierras de la provincia de Córdoba es frecuente observar asentamientos urbanos y suburbanos de varios centros turísticos, y gran parte de los lugares utilizados para campamentismo, localizados sobre los niveles de terrazas fluviales que integran el lecho de crecidas episódicas de los ríos. Por su localización geomorfológica dentro del cauce natural (episódico), estos asentamientos están sujetos a riesgos potenciales similares a los de San Carlos Minas.

9.2.2 - Descripción del evento

El evento hidrológico del 06/01/92 fue provocado por una tormenta convectiva de inusitada intensidad. La precipitación fue registrada por tres pluviómetros de la Dirección Provincial de Hidráulica de Córdoba (DPH) localizados en el área de la cuenca o en sus límites. En la cuenca alta, sobre las Cumbres de Gaspar (Guasta), se registraron 240 mm en 6 h; en la cuenca media (Tala Cañada) se registraron 140 mm en 7 h y en la cuenca baja (Sauce de Los Quevedos), 204 mm en 6 h. Además, el evento fue registrado en varios pluviómetros de la DPH ubicados en cuencas colindantes a la del Arroyo Noguinet. No hubo registros pluviográficos, por lo que la distribución temporal de la precipitación fue estimada en base a los informes de los observadores pluviométricos.

Dada la naturaleza convectiva del evento, las mayores intensidades se concentraron en un período de 3 h. Se estima que en los intervalos de mayor actividad la intensidad de la precipitación alcanzó 180 mm/h.

Cabe consignar que esta célula convectiva se produjo dentro de una situación de precipitaciones intensas generalizadas que abarcaron gran parte de la región Central y Norte de la provincia.

La creciente que originó esta célula arribó a la localidad aproximadamente a las 9 h. La misma ingresó al valle a través del brazo de crecida principal (curso ordinario). Cuando el caudal sobre el curso principal superó un umbral estimado en 1.000 m³/s, se activó el paleocauce existente por detrás del pueblo (Figura 9.2).

La capacidad de transporte de dicho paleocauce fue rápidamente superada, hecho que produjo el desborde lateral en varios puntos. La

consecuencia inmediata fue la ocupación del pueblo por parte del flujo, con traslado del escurrimiento de Oeste a Este. Las aguas alcanzaron una altura aproximada de 1,50 m sobre el nivel del terreno natural, afectando así gran parte de la zona céntrica de la población. Sin embargo, no se produjeron hasta allí daños materiales de importancia ni pérdidas de vidas humanas.

Paralelamente, el puente carretero de acceso a la localidad comenzó a actuar como sección de control sobre el curso principal. Dicho puente posee una capacidad de evacuación en torno de $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Dicha capacidad fue reducida debido a la presencia de grandes ejemplares arbóreos arrastrados por la creciente. De este modo se produjo un remanso de importantes dimensiones, con efecto de embalse hacia aguas arriba.

Luego de producida la rotura de las defensas laterales existentes, se produjo una onda frontal repentina. El caudal que no escurrió por la sección del puente ingresó al pueblo en forma vertiginosa, cubriendo la totalidad del nivel de la terraza bajo el valle (Foto 9.1 y Foto 9.2) . En este caso el nivel del flujo superó con creces al desborde provocado por la activación del paleocauce. Este ingreso frontal repentino fue el que produjo los mayores daños en la infraestructura edilicia y el principal causante de la pérdida de vidas humanas (Foto 9.3 y Foto 9.4).

9.2.3 - Estudios geomorfológicos e hidrológicos realizados

Con el propósito de evaluar la incidencia de las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e hidráulicas en la tragedia asociada al evento extremo del 6 de enero de 1992, el Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida (CIRSA-INA), efectuó un estudio que empleó como material de base fotogramas del año 1970 a escala 1:20.000, tomas aéreas posteriores al fenómeno e información hidrológica básica proveniente de organismos públicos provinciales. La utilización de fotogramas anteriores a la ocurrencia del fenómeno en cuestión posibilitó el análisis comparativo.

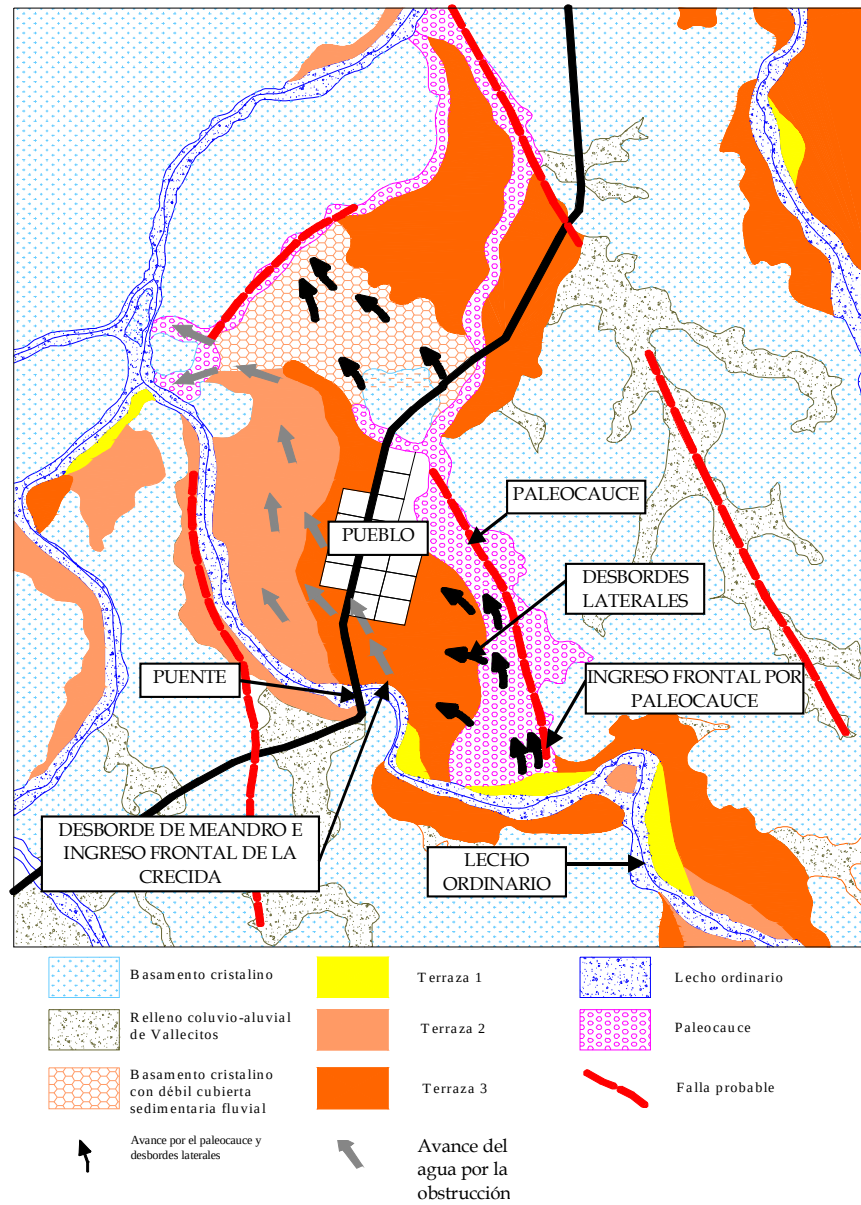


Figura 9.2. Avance del evento del 06/01/92 en San Carlos Minas.

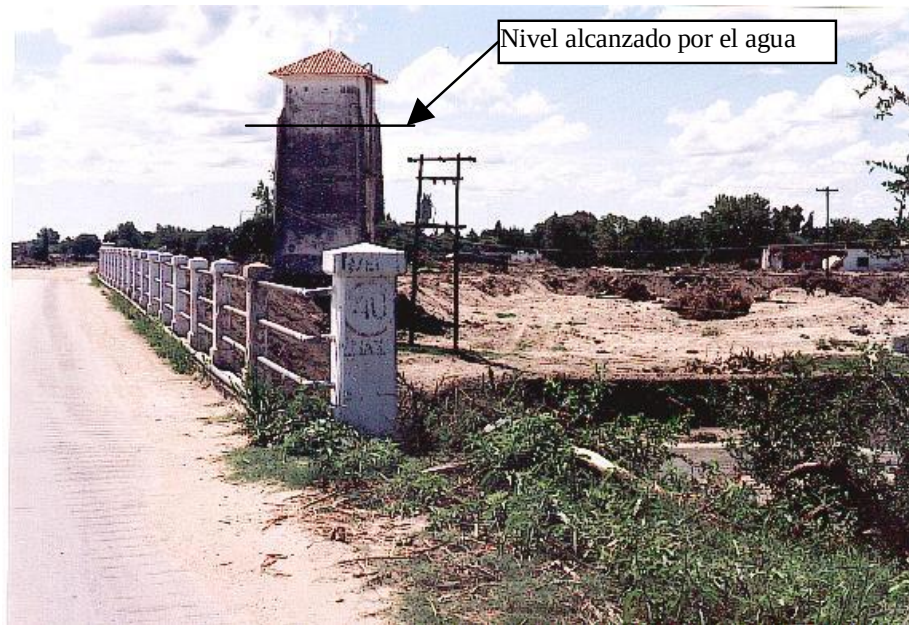


Foto 9.1. Sector inmediato aguas arriba del puente. Evento del 06/01/92 en S. C. Minas.



Foto 9.2. Estado típico de las construcciones luego evento del 06/01/92 en S. C. Minas.



Foto 9.3. Daños sobre viviendas en el barrio IPV. Evento del 06/01/92 en S. C. Minas.



Foto 9.4. Daños sobre viviendas. Evento del 06/01/92 en S. C. Minas.

-Aspectos hidrológicos

El análisis de frecuencia de precipitaciones máximas sobre la cuenca, realizado por la DPH en base a las series históricas de precipitación de la cuenca, demostraron la extraordinariedad del fenómeno. El hecho se corrobora al comparar el evento ocurrido con la creciente de proyecto de un embalse aguas abajo de la localidad de San Carlos Minas, todo lo cual indica que la recurrencia del evento fue superior a 5.000 años.

A los efectos de reconstruir la repuesta hidrológica de la cuenca ante la ocurrencia de este evento extraordinario, esta última fue segmentada en tres subcuencas. Las subcuencas de los ríos Vilchez y Sauce de los Quevedos confluyen 5 km aguas arriba de San Carlos Minas, por lo tanto desde allí la creciente se propaga por el río con el aporte distribuido de la subcuenca del río del Vallecito.

Para evaluar el hidrograma resultante en San Carlos Minas fue empleado el modelo hidrológico IPHS1 (Tucci et al., 1989), optándose por el procedimiento del Servicio de Conservación de Suelos de EEUU para considerar las pérdidas por infiltración y retención superficial, por el hidrograma sintético de Clark para la transformación lluvia efectiva-caudal y por Muskingum-Cunge con planicie de inundación para la propagación en el río.

El modelo fue verificado con las líneas de resaca dejadas en la planicie de inundación. El caudal estimado en San Carlos Minas, mediante la aplicación del modelo IPHS1 para este evento extraordinario fue de 1.900 m³/s.

-Aspectos geomorfológicos

La reconstrucción del evento fue realizada considerando fotografías aéreas del año 1970, otras tomas aéreas afectuadas con posterioridad al evento extremo y verificaciones de campo.

El análisis permitió deducir que si no hubiese existido el puente el efecto devastador hubiera sido menor, pero el traslado de las aguas habría inundado igualmente la totalidad de la terraza baja, produciendo también importantes efectos destructivos. Así lo indican las trazas de escorrentía visibles en las fotos aéreas del año 1970 (Figura 9.3a). Las áreas más afectadas de este sector, en donde se localizaban los barrios del BHN y del IPV, tienen un desnivel promedio entre el techo de la terraza y el fondo del río que no supera los 2 metros.

Los antecedentes brindados por los pobladores indican que el sector fue afectado en forma parcial durante las crecientes anuales más

importantes. Lo mismo aconteció con el brazo de crecida principal que afecta el nivel más alto de la terraza que se activó superando el umbral de $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

9.2.4 - Soluciones encaradas

La Dirección Provincial de Hidráulica (DPH, 1992) encaró a través de su Departamento de Estudios y Proyectos una serie de soluciones de tipo estructural. Para definir los caudales de paso en San Carlos Minas se estudiaron las precipitaciones en la cuenca. Conforme citado previamente, las mismas se caracterizaron por ser abundantes y de corta duración, con montos variables entre 60 y 250 mm y con duraciones próximas a 2 h, localizadas fundamentalmente en las Cumbres de Gaspar.

Se determinó un caudal máximo de $1.950 \text{ m}^3/\text{seg}$ correspondiente a una recurrencia de 5.000 años. Con este caudal y por medio de modelaciones matemáticas fue posible definir a lo largo del cauce, la zona de ocupación de la crecida y su modalidad de ingreso en la población. Por otra parte fueron ajustados los caudales para distintos períodos de recurrencia, los que se resumen en la Tabla 9.1. Como control de estos estudios se encaró el procesamiento de datos obtenidos en el Dique Pichanas (receptor final del aporte de la cuenca), donde se había registrado el ingreso de la crecida a lo largo del tiempo. Con ello se confirmaron los valores de caudales y recurrencia calculados.

Tabla 9.1. Caudales máximos asociados a diferentes recurrencias. Arroyo Noguineta en San Carlos Minas, Provincia de Córdoba.

Recurrencia	Caudal máximo
[años]	[m^3/s]
50	750
100	980
500	1.200
1.500	1.500

Definida así la causa y la mecánica del fenómeno, fueron planteadas alternativas de obra para diferentes caudales y, por ende, para diferentes grados de seguridad para la población. Estas alternativas incluyeron:

- Defensa con puente y vado.
- Defensa con puente.
- Sistema canal.

Las dos primeras alternativas definían obras en el mismo sector del puente, habiéndoselas diseñando para caudales del orden de $1.250 \text{ m}^3/\text{seg}$ y una recurrencia de 500 años. Para el caso de caudales mayores estaba previsto el sobrepaso de las estructuras y la inundación de algunos sectores de la urbanización en forma controlada.

La tercera alternativa fue la adoptada finalmente como solución, dado que se consideró que brindaba los mayores coeficientes de seguridad a la población. La misma permitiría, además, el ingreso de agua en crecida suficientemente controlado y la posibilidad de la recuperación de las tierras degradadas por la inundación. Las obras diseñadas, para un caudal de $1.950 \text{ m}^3/\text{seg}$, con una recurrencia de 5.000 años, reubicaron al cauce del río, alejándolo de la población hacia el sector Sur (Figura 9.3b).

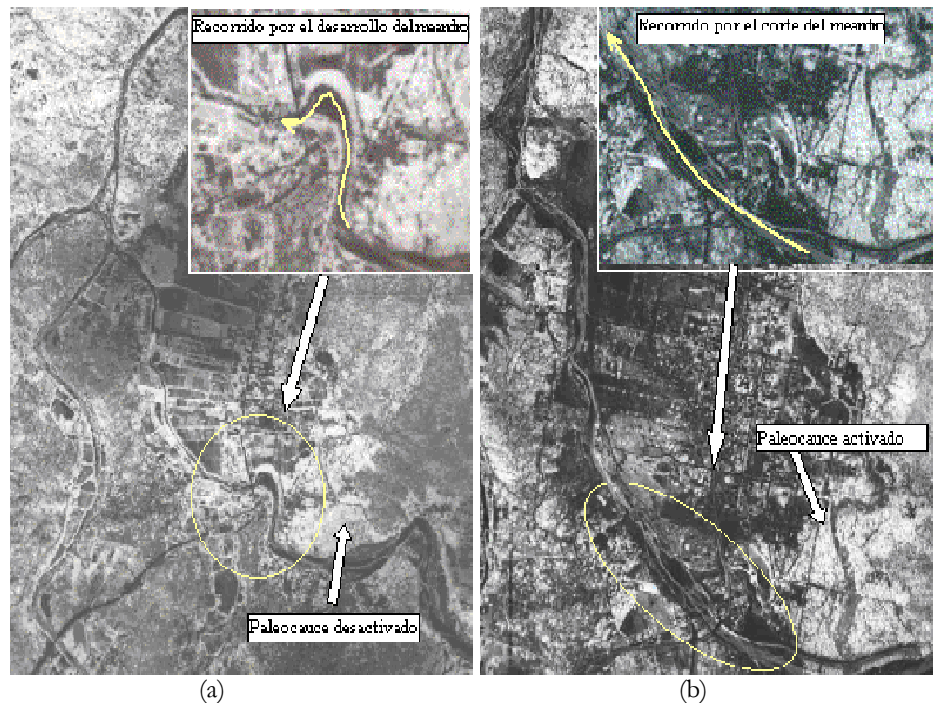


Figura 9.3. Foto aérea (a): año 1970 y (b) año 1998, luego de efectuada la obra de rectificación del meandro natural (“canalización”).

Mediante esta obra quedó anulada la curva del río a través de la cual se produjo el ingreso incontrolado de las aguas el día de la catástrofe.

Las obras que se propusieron para el proyecto consistieron en:

- Un canal de 815 m, ancho variable entre 40 y 80 m y profundidad variable hasta 10 m. El mismo fue excavado parcialmente en roca y el restante en suelo, determinando un volumen total de movimiento de suelo de 180.000 m³.
- Cierre transversal del río de 180 m de longitud y 6,40 m de altura máxima referida a la cota del lecho, ejecutado con materiales sueltos, provenientes de los excedentes de excavación del canal de sistematización. El cierre posee un sistema de inyecciones en el aluvión y un núcleo de mezcla de materiales finos y gruesos en el cuerpo principal.
- Cierre longitudinal en el brazo de crecidas, de 550 m de longitud y una altura promedio de 1,50 m, compuesto de materiales sueltos.
- Puente carretero sobre el canal de 48 m de longitud. La infraestructura, pila y estribos de hormigón armado fueron fundados directamente en roca.
- Reconstrucción de la Ruta Provincial N° 15 en las zonas afectadas.
- Sistematización del cauce, aguas abajo desde la salida del canal hasta la desembocadura en el río Salsacate.
- Reacondicionamiento de la cañada de desagüe sobre el antiguo brazo de crecidas.
- Reacondicionamiento de las acequias de riego en zonas afectadas de acuerdo a la nueva urbanización.
- Construcción de un nuevo sistema de alimentación, almacenamiento y conexión con la red existente de agua potable.
- Sistema de alimentación de agua para futuro balneario.

9.2.5 - Conclusiones

El estudio de todos los factores intervinientes evidenció que en la inundación analizada tuvieron alta participación factores naturales de tipo meteorológicos, hidrológicos y geológico – geomorfológicos. En la transformación de esta inundación en catástrofe el gravitante fue el factor antrópico.

La magnitud e intensidad de las precipitaciones producidas, como así también las características de la geología de superficie de la cuenca

(que indican importantes porcentajes de roca cristalina desnuda alternantes con suelos discontinuos muy superficiales y de rápida saturación), y la torrencialidad de la cuenca (que se deduce de los parámetros morfométricos calculados), han sido sin duda los aspectos naturales de mayor incidencia en el carácter extraordinario de la creciente producida.

El grado de alteración a que está expuesta la cuenca, que puede considerarse de un grado intermedio por degradación de la vegetación natural, si bien tuvo cierta incidencia, adquirió un papel secundario.

La dinámica fluvial generada afectó a unidades y elementos geomorfológicos perfectamente definidos y reconocibles tanto en el análisis de los fotogramas como en el control de campaña.

De los estudios realizados se desprendió que la totalidad de la población y su entorno estaba localizada en un área inestable desde el punto de vista hidrológico, en grados que variaban según la posición geomorfológica. Es por ello que el factor antrópico, en base a la incorrecta localización de la infraestructura edilicia, fue el que adquirió el mayor peso en el desastre ocurrido.

Para la localización del pueblo y en particular de barrios nuevos del BHN e IPV, como así también del puente carretero que produjo el efecto de embalse, no fueron consideradas las características evidentes del riesgo hidrológico que estos sectores presentaban.

El grado que adquirió la catástrofe, como así también el nivel de inversiones posteriores en la búsqueda de soluciones, es un claro ejemplo de la falta de planificación en acciones tanto previas a un evento crítico como “a posteriori” del mismo.

En efecto, durante la urbanización del pueblo ni el estado provincial ni el nacional dedicaron esfuerzos con el fin de reorientar la ubicación del mismo. Sin embargo, las inversiones realizadas “a posteriori” demostraron un alto grado de aversión al riesgo hídrico por parte de las autoridades.

La adopción de una medida estructural de la envergadura de la realizada (proyectada para un tiempo de recurrencia de 5.000 años) no se compatibiliza ni con las arcas públicas ni con la existencia de numerosas urbanizaciones serranas sujetas a amenazas similares, sobre las cuales poco o nada fue realizado desde entonces.

9.3 - Estudio de Caso: Cañada de Gómez (Pcia. de Santa Fe)

9.3.1 - Introducción

La ciudad de Cañada de Gómez, cabecera del Departamento Iriondo, en la provincia de Santa Fe, se encuentra ubicada entre los paralelos 32° y 33° y los meridianos 61° y 62° (latitud Sur y longitud Oeste respectivamente), a una altitud de 82,9 m.s.n.m. Su ubicación geográfica es estratégica, ya que se encuentra sobre la ruta nacional N° 9 a 75 km de la Ciudad de Rosario, en el centro del eje Buenos Aires, Córdoba y Rosario (Figura 9.4). Su población es de aproximadamente 33.000 habitantes. La trama urbana de la ciudad se desarrolla en torno a las vías del ex FFCC Mitre (actual NCA). Sobre el sector Sur de la ciudad la misma ocupa las planicies de inundación próximas al arroyo homónimo. A lo largo de su historia, la ciudad sufrió frecuentes inundaciones de tipo ribereñas.

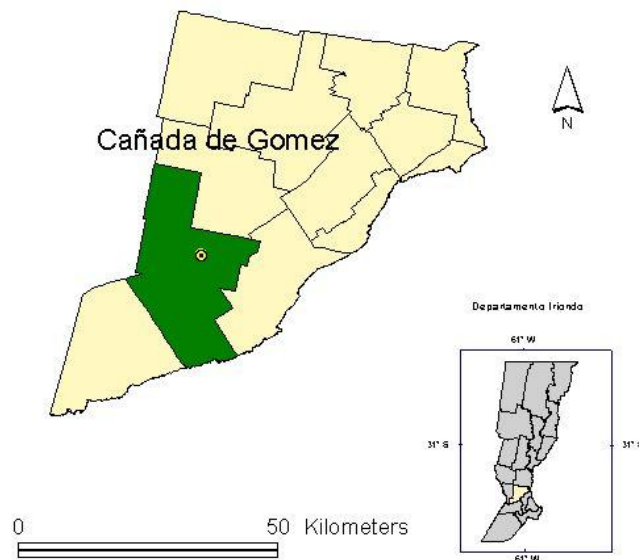


Figura 9.4. Ubicación geográfica de la localidad de Cañada de Gómez, Pcia. de Santa Fe.

9.3.2 - Descripción sintética del evento

En el fin de la tarde del 22 de noviembre de 2000 la ciudad sufrió la crecida ribereña más importante de su historia. La crecida del arroyo Cañada de Gómez se generó a partir de una lluvia intensa estimada de 390 mm, de los cuales 150 mm precipitaron en 1 h. La crecida afectó a un importante sector de la ciudad, fundamentalmente a los barrios 2 de Agosto (también conocido como barrio Usina) y Arroyito, ambos localizados en el sector Sur, desarrollados sobre las márgenes del arroyo. El primero fue el más afectado. En el sector viven alrededor de 10.000 personas.

En esa oportunidad el torrente avanzó, en pocos minutos, hacia el centro por calle Laprida y cubrió el 80 por ciento de las 140 manzanas que se extienden al Sur de las vías del ferrocarril, el cual que divide en dos a la ciudad de Cañada de Gómez. El agua arremetió entrando por las ventanas de las viviendas, barriendo con los muebles y desguazando el interior de muchos de los hogares de la zona afectada. La crecida arrasó con casas, autos, animales y árboles.

En los sectores más afectados la crecida superó 1,80 m de altura sobre las calles, obligando a los vecinos a treparse a los techos de las casas y árboles de la zona para salvar sus vidas.

La inundación comenzó alrededor de las 18 h y continuó hasta las 3 h de la madrugada siguiente. A esa hora empezó a retirarse el agua y las lanchas recién entonces pudieron rescatar a los que esperaban sobre los techos.

El lamentable saldo del evento fue 3 víctimas fatales y aproximadamente 4.500 evacuados. Más de 300 viviendas fueron afectadas por la onda del arroyo. El flujo arrastró dos puentes peatonales y dejó en precario estado a otros. Las pérdidas fueron estimadas en un valor superior a los 20 millones de dólares. Más de 3.000 pobladores pudieron salvar sus vidas porque el aluvión llegó al atardecer, a una hora en que la mayoría de ellos se encontraban aún levantados.

La Figura 9.5 y la Figura 9.6 reflejan la magnitud de las zonas afectadas como así también la ubicación de la trama urbana en relación al cauce del arroyo.



Figura 9.5. Imagen satelital LandSat 7 del 17/11/00 que refleja la situación imperante en la zona de Cañada de Gómez antes del evento.
(Fuente: Archivo CONAE)

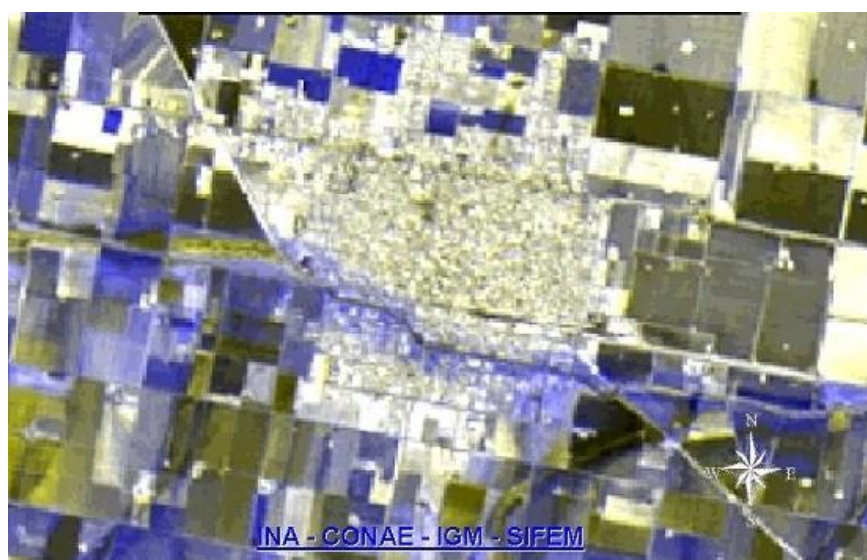


Figura 9.6. Imagen satelital compuesta de los días 16 y 22/11/00 referida a los sectores afectados por la crecida del arroyo Cañada de Gómez. Los sectores en azul se encuentran afectados por el agua.
(Fuente: Archivo CONAE)

9.3.3 - Medidas encaradas

Las frecuentes crecidas del arroyo Cañada de Gómez afectan sistemáticamente a los barrios de esta ciudad santafesina que se encuentran localizados sobre zonas naturalmente inundables.

El arroyo, afluente del río Carcarañá, ya venía siendo objeto de una serie de obras de ensanche y canalización al momento de la ocurrencia del evento descrito (Figura 9.7). Sin embargo, los trabajos se encontraban incompletos. Lo propio ocurrió con la construcción de retardadores de flujo previstos para la amortiguación de los caudales máximos de las ondas de crecidas.



Figura 9.7. Aspecto del arroyo Cañada de Gómez, Pcia. de Santa Fe

El gobierno nacional destinó en su momento 2 millones de dólares para la reconstrucción de obras, viviendas y ayuda de carácter social. El evento extraordinario produjo pérdidas millonarias en la zona rural, a partir del efecto negativo ocasionado sobre las cosechas y de la infraestructura vial zonal. Es evidente que estas pérdidas habrían sido muy difíciles de minimizar. En contrapartida, las ocurridas en el casco urbano de Cañada de Gómez, como así también el luctuoso saldo del

mismo, hubiesen sido evitados o minimizados a partir de la adecuada planificación del desarrollo urbano.

Luego del evento la ciudad reorientó su plan estratégico de desarrollo urbano. Por su parte, la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas (DPOH) de la Provincia de Santa Fe elaboró un plan de obras. Las medidas estructurales se centralizaron en el proyecto de obras de conducción y control del flujo.

Las primeras incluyeron la canalización del arroyo en el sector urbano, en una longitud de 3, 5 km. Dicho canal, previsto para un caudal máximo de 450 m³, tendrá 55 m de boca.

Estudios encarados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación incluyeron, además, la ampliación del puente ferroviario NCA (ramal Cañada de Gómez-Casilda), el reacondicionamiento de la red de drenaje urbano y de la infraestructura adyacente, como también de varios puentes carreteros y pasarelas.

En cuanto a las obras de control las mismas corresponden a una presa de regulación de crecidas conformada con materiales sueltos. La misma tendrá 1.400 m de coronamiento y afectará, durante la crecida de diseño, a un área de 450 has. La medida no estructural prevista ha sido el desarrollo de una Red de Alerta Hidrológica completa.

CAPITULO 10

EVALUACION FINAL Y RECOMENDACIONES

Jorge Adolfo Maza y Juan Carlos Bertoni

10.1 - Urbanización y problemas sociales en América Latina

La situación de los grandes centros urbanos de los países en vías de desarrollo es preocupante: el desequilibrio entre un rápido aumento de la población y un lento crecimiento económico van acompañados de problemas como hacinamiento, pobreza, degradación ambiental, déficit habitacional cuantitativo y cualitativo, insuficiencias en materia de infraestructura, etc. Se trata, apuntando a los factores estructurales, de encontrar un desarrollo urbano-ambiental sustentable.

La actual urbanización acelerada, descapitalizada y no planificada se produce en un marco de crisis y transformaciones económicas que acentúan el desequilibrio en la distribución de la riqueza. Hoy es más concentrada e inequitativa que en la década del '70. Por las características actuales del mundo, el mejoramiento de los medios de transporte y comunicación, la multiplicación de los intercambios comerciales y la apertura de fronteras nacionales y culturales hará inevitable el incremento de la movilidad humana (de un país a otro, de un continente a otro), y la concentración urbana como resultado de la atracción que ejercen las grandes metrópolis, a través de las posibilidades, reales o supuestas, que ellas ofrecen. Este tráfico urbano que comenzó en los países industrializados se intensifica en las grandes ciudades de Latinoamérica.

Los responsables de las áreas metropolitanas de los países en desarrollo tienen que enfrentarse con un crecimiento acelerado, sin contar con la infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades y servicios indispensables en la actualidad. Tampoco parecen tener posibilidades de acompañar debidamente los nuevos procesos de urbanización que traen aparejado la migración y la densificación poblacional, agregando a la problemática descrita la falta de oferta laboral y el estado de pobreza de los nuevos habitantes (situaciones económico-sociales de gravedad, insuficiencias estructurales de servicios públicos y aparatos político-administrativos desbordados e impotentes).

Se debe tener en cuenta la limitación de recursos de los países en vías de desarrollo para la implementación de una política urbana que permita el adecuado desarrollo de las zonas metropolitanas, sin hipotecar el desarrollo económico y social de todo el país. La experiencia permite hoy apreciar la dimensión del fenómeno metropolitano, que debe entenderse como un sistema dinámico en continuo proceso de transformación, que mantiene un profundo intercambio con las regiones vecinas y con el ecosistema natural.

La enorme complejidad de la problemática urbana es uno de los motivos que ha llevado a un replanteo de las técnicas y metodología de planificación en todo el mundo, haciéndose hincapié en la participación efectiva de los diferentes sectores de la sociedad, para garantizar el éxito y la viabilidad de las políticas y estrategias a implementar.

La ciudad, en cuanto medio construido, es una dimensión más de la realidad, estrechamente interdependiente con las demás dimensiones (ambientales, culturales, tecnológicas, económicas, productivas) de esa realidad social.

10.2 - Situación de los grandes conglomerados urbanos de la Argentina

Numerosos autores ya han señalado que la crisis económico-social ha contribuido a la generación de situaciones de movilidad poblacional hacia los grandes centros urbanos. Al mismo tiempo, se ha ignorado la prevención y la respuesta a las situaciones de emergencia ambiental y la gran vulnerabilidad social en que se encuentran las poblaciones urbanas, sobre todo en la periferia (por inundaciones, catástrofes, falta de infraestructura de soporte, emergencias ambientales, contaminación o carencia de oferta de tierra urbana apta).

El permanente proceso de urbanización que se produce, sin reglas ni frenos, en la periferia de ciudades como Buenos Aires, Rosario y Córdoba, a consecuencia del proceso de industrialización que se inicia en las décadas del cuarenta al sesenta, no ha sido debidamente acompañado por políticas adecuadas de planificación territorial y urbanas que previeran los impactos negativos del fenómeno.

El acceso a una posibilidad de vivienda digna también aparece complicado para los sectores de mayor demanda. Por más que el presupuesto para el gasto social en vivienda se ha incrementado y los

fondos se transfieren en forma directa a las provincias para su ejecución, el acceso al crédito y planes de vivienda en la región metropolitana no supera el 11,5 % para los pobres estructurales y el 25,3 % para los sectores pauperizados; el resto se dirige a otros sectores sociales. En el territorio de mayor demanda, la carencia de infraestructura adecuada acrecienta los riesgos derivados de la contaminación hídrica.

En la región metropolitana, un escaso 25 a 28 % de la población tiene acceso a los servicios de alcantarillado regularmente confiables. En la Capital Federal, estadísticamente caracterizada como servida en un 100 por ciento, la obsolescencia manifiesta de redes de infraestructura, particularmente en materia de conductos pluviales, impone una contradictoria realidad que requerirá una fuerte inversión pública en los próximos años para evitar la crisis del sistema.

Básicamente, puede afirmarse que la ausencia de una estrategia ambiental inserta en una política de desarrollo que privilegie el enfoque regional y la utilización de recursos naturales para satisfacer las necesidades básicas de la población y mejorar su calidad de vida, es el factor que ha impedido enfrentar con eficacia este serio proceso de degradación de las condiciones ambientales en los centros urbanos y en su periferia, acentuando el desplazamiento de los grupos de menores recursos hacia la marginalidad.

Este proceso se ha agudizado en las últimas décadas, llegando a situaciones de alto riesgo para la salud de vastos sectores de la población en los grandes conglomerados urbanos y especialmente en el Conurbano Bonaerense. La reiteración cada vez más frecuente de "accidentes" ambientales es un signo elocuente del agotamiento de la capacidad de soporte del territorio urbanizado.

En decir, puede asegurarse que actualmente, los grandes centros urbanos del país han dejado de ser sustentables. Se ha superado la capacidad de carga del ecosistema y se han hipotecado las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras. Comenzar a pensar en la sustentabilidad de los conglomerados urbanos en Argentina supone previamente el reconocimiento de la magnitud del problema a enfrentar.

La posibilidad de compromiso en la construcción de ciudades verdaderamente sustentables en nuestra realidad local aparece vinculada a distintos factores estructurales.

Se ha señalado que las acciones que se generen para dar respuesta a las problemáticas de las ciudades y el ambiente en general, deben apuntar a resolver las consecuencias de los fenómenos socio-económicos que les

dan origen. Para que este proceso desemboque en una solución "permanente" es necesario promover, con políticas específicas, la resolución del problema central, de origen, que es la pobreza y el deterioro social.

10.3 - Planificación para el Futuro

Por ello, la vida en un ambiente apto no será válida para las generaciones futuras si no media en este proceso la puesta en marcha de un modelo de desarrollo y estrategias de acceso a fuentes de trabajo genuinas y sostenibles en el tiempo. Nadie puede razonablemente negar que la planificación es una tarea imprescindible para cualquier nivel de actividad. Y no hay actividad más importante que la acción de gobierno, en tanto que su función es transformar en realidad los principios de justicia social, (ya sea en el terreno económico, o de salud) la educación, la vivienda o el derecho a un ambiente sano.

Consecuentemente, la única solución posible a esta problemática, dada la magnitud de la demanda y la escasez de recursos para atender dichos requerimientos, deberá surgir de la optimización y articulación de los recursos disponibles que se encuentran dispersos en la sociedad. Un esfuerzo semejante no necesita partir de cero. Existen valiosas contribuciones, que aportan una serie de elementos conceptuales, técnicos y metodológicos, alrededor de los cuales puede apoyarse y orientarse nuestra reflexión y nuestro accionar.

- El Modelo de Planificación y Gestión Participativa

Importantes recursos financieros y también técnicos han sido puestos en marcha para paliar la situación de áreas urbano-social ambientalmente comprometidas. Sin embargo, la experiencia permite inferir que los recursos financieros no son suficientes si no media la adecuada planificación y que la misma no resulta eficaz si no se realiza mediante la participación de la comunidad involucrada. La participación no supone únicamente la denuncia de la demanda, sino también el compromiso efectivo en la construcción de las alternativas de solución y, esta construcción de alternativas sólo es posible si se instalan previamente los escenarios adecuados para establecer mecanismos sinceros y perdurables de concertación.

En síntesis, resulta necesario comprender que el proceso de construcción de la ciudad auténticamente sustentable se fundamente en el tránsito de la planificación pública a la construcción participativa de los escenarios de la concertación. La aparición de estas nuevas metodologías de planificación urbana, está basada en los principios de la planificación estratégica del sector privado adaptado a la gestión pública, y en una concepción ambiental que incorpora el concepto de desarrollo sustentable regional y se caracterizan por:

- Incorporar el concepto de Planificación y Gestión como un proceso indisoluble.
- La participación activa de los diferentes sectores de la sociedad.
- Ser multisectorial, interdisciplinaria y comprometer la participación de los decisores políticos desde el inicio.
- Trabajar desde el conflicto y la contraposición de intereses en base al consenso.
- Definir cuestiones estratégicas y acciones tácticas.
- Determinar intervenciones de coyuntura, al mismo tiempo que se definen los lineamientos del medio y largo plazo, cuidando la direccionalidad y la viabilidad de las mismas.

La planificación para la sustentabilidad debe basarse:

- En las personas y no en las cosas.
- En los objetos y no en los medios para alcanzarlos.
- En las necesidades, mitos y creencias de la comunidad.

Las ciudades existen no como lugares para realizar vagabundeos académicos, complejas interpretaciones o expediciones teóricas; existen como lugares que satisfagan los requerimientos de las personas, lo que dependerá de lo equilibrado y armónico de nuestras acciones.

10.4 - Consideraciones y criterios sobre el almacenamiento en el drenaje pluvial

10.4.1 - Soluciones estructurales

Uno de los factores principales a considerar en el manejo del escurrimiento pluvial es el almacenamiento. La disponibilidad o ausencia de infraestructura para almacenamiento de escurrimiento temporario o permanente es un importante elemento en la selección de la metodología de análisis y en el establecimiento de la filosofía fundamental para el diseño. Si bien el almacenamiento es importante, no debe verse como la

solución para todos los casos, la capacidad de almacenamiento requerida para asegurar tanto la máxima seguridad como la máxima conveniencia, no es económicamente posible.

El almacenamiento puede reducir picos de escurrimiento, ayudar en el suministro de agua potable, proveer mecanismos de atenuación, disminuir la posibilidad de inundaciones aguas abajo y erosión de cauces y sedimentación; y puede utilizarse en la urbanización de áreas de aguas arriba para evitar el incremento de picos de escurrimiento que impacten en la infraestructura existente aguas abajo.

El almacenamiento se produce naturalmente en pequeña escala en la mayoría de las áreas drenadas. El almacenamiento natural se produce durante el escurrimiento superficial debido a las depresiones y a la vegetación. Los almacenamientos mayores son posibles cuando existen grandes depresiones y donde hay áreas de recarga altamente permeables. Los drenajes que tienen flujo lento con césped en el fondo y laterales y amplia superficie de agua dan una significativa capacidad de almacenamiento lo cual produce el beneficio de la disminución de picos aguas abajo y la recarga subterránea. Los canales naturales amplios proveen un espacio abierto urbano. La mayoría del almacenamiento natural es temporario, de pequeño volumen y puede desaparecer a través de urbanizaciones. Este volumen puede reemplazarse por vegetación y utilizando bocas de tormenta especiales que controla la erogación desde áreas de almacenamiento planificadas.

Como se ha mencionado, el almacenamiento artificial y la detención del agua proveen el mayor potencial para reducir el costo del drenaje urbano. Los métodos que se presentan dan las técnicas básicas necesarias para definir los efectos de almacenamiento. Un área puede diseñarse para que tenga un considerable almacenamiento artificial por depresión y detención, para lograr reducir el escurrimiento. Esto puede realizarse usando técnicas como la de almacenamiento en techos con erogación controlada.

10.4.2 - Soluciones no estructurales

- Tasas por drenaje pluvial:

Si estas tasas fueran proporcionales al escurrimiento producido por cada propiedad (equivalente a superficie impermeable) alentarían al propietario a que tal escurrimiento infiltre total o parcialmente en su propiedad (por ejemplo: jardín) aliviando así al sistema de drenaje existente.

El Municipio podría establecer por ordenanza una tasa por drenaje pluvial a ser pagada por los propietarios de inmuebles en una determinada cuenca. Tal tasa debe ser de un monto tal que provea los fondos suficientes para la construcción de obras que se necesitan en toda la cuenca para la operación, administración y mantenimiento del sistema de drenaje pluvial.

La evaluación de tasa que le corresponde a cada propiedad debe hacerse sobre la base "por metro cuadrado" aunque no necesariamente debe ser igual en todos los casos, ya que se puede variar en función del tipo de mejoras en la propiedad relativas al desagüe pluvial.

-Tasa de desagüe pluvial para loteos:

El monto de la tasa que paga el urbanizador puede reducirse por el costo estimado de construcción de las obras recomendadas en el plan maestro de la cuenca. Después de la concreción de tales obras el monto de la reducción será ajustado sobre la base del costo real de las obras. Tal determinación debe basarse en:

- El costo de las obras necesarias a construirse.
- El área de cada propiedad.
- El coeficiente de escurrimiento de cada propiedad.
- La cantidad de embalses de detención si fueran necesarios.

Para propiedades que exceden los 1000 m² la tasa se podría calcular en base a la siguiente ecuación para los primeros 1000 m²:

$Tasa = coef. \text{ escurr.} \times FR \text{ emb. det.} \times tasa \text{ base} \times \text{área}$

y para la superficie restante:

$Tasa \text{ restante} = coef. \text{ escurr.} \times FR \text{ emb. det.} \times tasa \text{ base} \times \text{área restante} \times 0,25$

donde coef. escurr. es el coeficiente de escurrimiento y FR emb. det es el factor de reducción por embalse de detención, este último basado en el volumen del embalse por hectárea servida.

La tasa base es determinada en función del costo estimado o real de las mejoras y obras necesarias establecidas en los planes maestros de cada cuenca como también en base al costo de operación y mantenimiento del sistema.

-Legislación sobre ordenamiento territorial y uso del suelo:

Resulta imprescindible la promulgación de normas de urbanización adecuadas a cada zona. Es imprescindible e impostergable regular adecuadamente el crecimiento urbanístico, evitando a toda costa que sea sólo la especulación inmobiliaria la que marque pautas creando condiciones tales que su control será imposible.

La subdivisión de tierras debe permitir la existencia de espacios verdes, de modo que la nueva urbanización no se transforme totalmente en un área impermeable, que aporta a la ciudad baja el total de sus escurrimientos. También se puede contemplar la construcción de embalses de detención o retención con la finalidad de que el caudal erogado sea: igual al que se produciría si no existiera la urbanización, o nulo respectivamente, dependiendo de la dimensión del sistema de desagüe de aguas abajo.

- *Código de edificaciones:*

En algunas zonas residenciales, especialmente las de aguas arriba del sistema de drenaje, se podría modificar el Código de Edificaciones de manera tal de que, si la propiedad posee jardín u otro tipo de espacio abierto, el escurrimiento pluvial originado por su superficie impermeable sea conducido para su infiltración.

- *Sistemas de Alerta Hidrológica en Tiempo Real:*

Constituyen una de las medidas no estructurales más empleadas a nivel mundial. Actualmente se encuentran en operación en el país dos sistemas de alerta hidrológica para áreas urbanas. En el siguiente ítem se describen las características generales de cada uno de ellos.

10.5 - Experiencias en sistemas de alerta hidrológica en tiempo real

- *Sistema del INA-Centro Regional Andino (CRA):*

El INA-Centro Regional Andino opera desde 1975 una red de estaciones hidrometeorológicas en el área pedemontana de la cadena precordillerana al Oeste de la ciudad de Mendoza. A partir de 1982 esta red de instrumental convencional fue ampliada y automatizada con un sistema de teletransmisión de datos "por eventos", cuyas características funcionales le permiten trabajar en "tiempo real", es decir que la información sobre precipitación o escurrimiento está disponible en una central de recepción y procesamiento simultáneamente con la ocurrencia del fenómeno hidrológico o meteorológico en estudio o evaluación.

Las características del fenómeno de tormentas de alta intensidad de precipitación localizadas en áreas relativamente pequeñas y el muy corto tiempo de concentración de estas cuencas debido a su pendiente elevada y escasa protección vegetal, crea condiciones muy dificultosas para un sistema de alerta hidrológica exigiendo un equipo de transmisión en verdadero tiempo real, sin pérdidas de tiempo.

Durante el período estival se organiza la campaña de alerta hidrológica para estas cuencas de la que participan, además del equipo técnico del INA-CRA, personal debidamente entrenado de los distintos organismos provinciales interesados: Departamento General de Irrigación, Dirección de Hidráulica, Dirección de Defensa Civil, Servicio Meteorológico Nacional, Dirección de Lucha Antigranizo y Obras Sanitarias Mendoza.

Diariamente se tiene un pronóstico del Servicio Meteorológico Nacional que mediante un radiosondeo matutino indica la posibilidad o no de actividad convectiva. En los días positivos se monta un operativo PREALERTA en combinación con la Dirección de Lucha Antigranizo, cuyos radares meteorológicos ubicados en la ciudad de San Martín cubren una amplia zona que incluye el área de interés. En caso de detección de nubes o núcleos convectivos de alta reflectividad, que supone un alto nivel de probabilidad de lluvia, se comunica esta información vía telefónica o radial a la central del INA-CRA. Se indica además la localización de estas nubes y su dirección de desplazamiento. Esta información mantiene prevenido al operador de turno.

Si comienza a llover sobre una o más estaciones de la red, éstas transmiten automáticamente el valor acumulado en milímetros junto con los datos de identificación de la estación. A estos datos se les agrega la hora al ingresar en la computadora, éste proceso dura sólo milisegundos y evita problemas de sincronización ya que sólo un reloj, el de la computadora, coordina temporalmente toda la red. La información así obtenida se va archivando según la estación de procedencia.

Para cada una de las estaciones se puede definir un nivel de alerta en términos de intensidad (mm/hora) y duración (minutos) en relación con las posibilidades de escurrimiento de la cuenca afectada y su grado de control y peligrosidad.

En caso de alerta el operador avisa telefónica o radialmente a las personas a cargo de los organismos pertinentes, para lo cual dispone de una lista de nombres y teléfonos oficiales y particulares.

- *Sistema del INA-Centro de Investigaciones de la Región Semiárida (CIRSA):*

El CIRSA proyectó, instaló y opera desde 1986 una red telemétrica para pronósticos hidrológicos a tiempo real, con fines de investigación dentro del campo de los recursos hídricos y proveer servicios de alerta hidrológica a la ciudad de Villa Carlos Paz.

El río San Antonio constituye uno de los mayores afluentes al embalse del lago San Roque. Con sus tributarios principales, los ríos Icho Cruz y El Malambo, definen una cuenca de aproximadamente 500 Km² (Figura 10.1).

En esta cuenca, se producen durante el período estival tormentas convectivas que generan, en un lapso de pocas horas, importantes crecidas.

SISTEMA TELEMETRICO CIRSA COBERTURA POTENCIAL

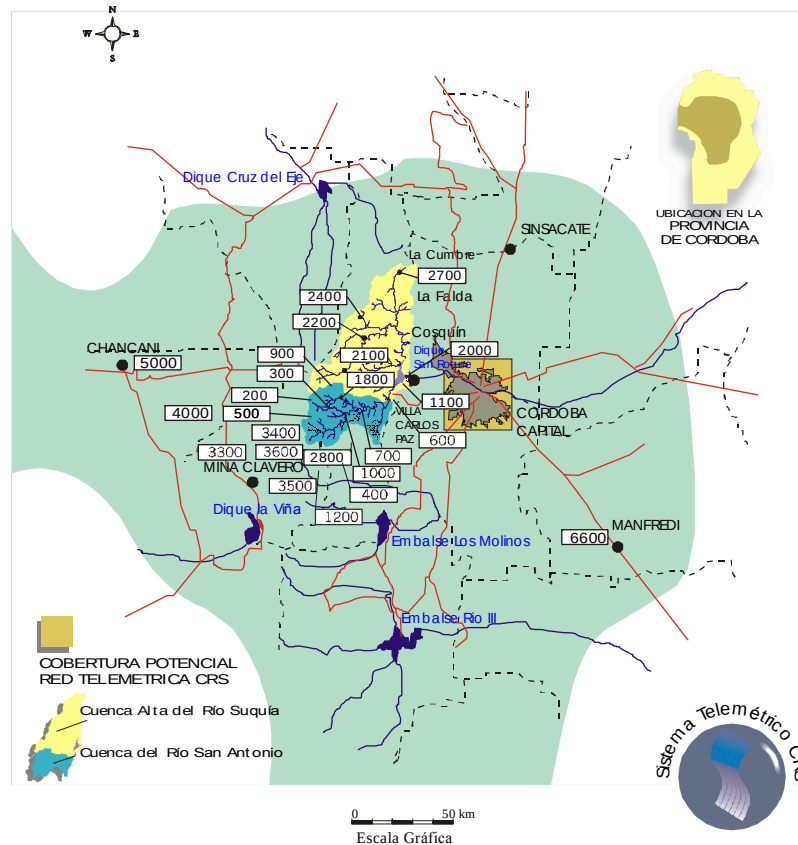


Figura 10.1. Red telemétrica del río San Antonio para el sistema de alerta de la ciudad de Villa Carlos Paz (Pcia. de Córdoba).

Esta red cuenta, para la citada cuenca, de 10 estaciones automáticas de medición que transmiten los datos a tiempo real a la estación de recepción y procesamiento ubicada en la sede del CIRSA en la ciudad de Villa Carlos Paz. Las computadoras procesan e incorporan a una base de datos esa información generando informes numéricos y gráficos de la evolución de la situación en la cuenca. A partir de ellos, un equipo de profesionales y técnicos en hidrología, puede estimar niveles y caudales de los ríos, así como el pico de las crecidas y el tiempo en que se producirán, haciendo uso de distintas técnicas entre las que se incluyen, modelos matemáticos de pronósticos a tiempo real. Para los períodos estivales desde 1987 al presente, se puso en operación un sistema de alertas de crecidas a tiempo real, con resultados altamente positivos.

Para su cumplimiento, el CIRSA programa habitualmente un sistema de guardias pasivas y activas que entran en funcionamiento a partir de la ocurrencia de eventos hidrológicos sobre la cuenca, transfiriendo a distintos organismos externos los cuadros de situación y los pronósticos respectivos para cada caso. Básicamente, el aviso se transmite por vía radial y /o telefónica a Defensa Civil y por su intermedio, según la magnitud del fenómeno detectado, al Cuerpo de Bomberos, Unidad Regional de Policía, etc. de la ciudad de Villa Carlos Paz, y comunidades restantes en el área de cobertura.

La implementación del sistema de adquisición de datos a tiempo real en la Cuenca del Río San Antonio (CRSA), tiene entre otros, los siguientes objetivos científicos y operativos:

- Investigaciones sobre técnicas modernas de adquisición de datos, procesamiento y su disponibilidad a tiempo real. Desarrollo y adecuación de tecnologías para uso de instrumental de medición en cuencas de respuesta rápida.
- Formación y capacitación de personal, en aspectos referidos a métodos y prácticas de observación en sistemas automáticos de recolección de datos, su procesamiento primario y su disponibilidad para elaboración, análisis de pronósticos hidrológicos a tiempo real en investigaciones sobre los procesos que dan origen a las crecidas de la cuenca.
- Conocimientos de aportes al embalse del Lago San Roque, del cual depende la provisión de agua potable a la Ciudad de Córdoba y agua de riego para el cinturón verde de la misma.
- Investigación del comportamiento de algunos procesos hidrológicos especiales, tales como: erosión, sedimentación, evapotranspiración,

etc., lo que permite el desarrollo y calibrado de técnicas para su extrapolación a otras áreas similares.

- Fuente de información para distintos proyectos de investigación internos y externos.
- En relación al ámbito de cobertura del sistema telemétrico operado por el CIRSA y de acuerdo a las posibilidades que ofrece el sistema de transmisión en VHF, al disponer de una estación repetidora ubicada en los Cerros Lisos, cercanías del macizo de Los Gigantes, aproximadamente a 2300 metros sobre el nivel del mar, se puede llegar a cubrir un área aproximada de 104.000 Km², con la configuración inicial.

Mediante la incorporación de una estación repetidora, instalada en el departamento Pocho, en el Oeste cordobés, la cobertura se amplió en más de 35 % del área antes mencionada, cubriendo zonas importantes de provincias vecinas. El sistema CIRSA cuenta con distintos tipos de radioenlaces dependiendo de la ubicación de la estación remota.

10.6 - Conceptos básicos recomendados

Los siguientes conceptos claves, que no son todos, encierran una filosofía básica que debe recibir una amplia difusión y especial consideración.

- La lluvia que precipita en un sitio dado debe, en una solución ideal de diseño, ser absorbida o retenida en el sitio con el objetivo que después de la urbanización la cantidad de agua que se eroga desde ese sitio no sea significativamente diferente de la que escurría cuando el lugar era natural. Este objetivo puede ser conflictivo con status legales actuales, lo cual no reduce su validez.
- El diseño óptimo de dispositivos de colección, almacenamiento y tratamiento debe complementarse con un balance entre costos de capital y de operación y mantenimiento, conveniencia pública, protección ambiental, riesgos de daños por inundación y otros objetivos comunitarios.
- Debe haber un continuo reconocimiento de que hay un balance entre responsabilidades y obligaciones para coleccionar, almacenar y tratar el agua pluvial entre propietarios y la comunidad como un todo.

- Una nueva aceptación de que el agua pluvial es una componente del total de los recursos hídricos de un área la cual no debe descartarse sino que debe utilizarse para completar este recurso.
- La reevaluación de las técnicas de manejo del escurrimiento en una cuenca es una necesidad universal que es de responsabilidad del sector público y debe ser también un objetivo.

CAPITULO 11

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agostini, M. C. (1942). *Determinación del par de valores intensidad-duración de la lluvia que produce los máximos caudales en canalización de desagües pluviales*. Informe technique. Buenos Aires, Argentine.
- Anderson R. J., Dos Santos N. y Diaz H. F. (1993). *An analysis of flooding in the Parana/Paraguay Basin*. LATEN Dissemination Note N° 5. The World Bank. Latin America and the Caribbean Region TD. Washington, USA.
- Ballester, R. y Álvarez, G. (2001). *Problemática provocada por el ascenso de la napa freática en el municipio de Lomas de Zamora. Conurbano de la provincia de Buenos Aires*. III° Jornadas de Saneamiento Pluvial Urbano. Ponencias. Municipalidad de Rosario. Disponible en CD.
- Banco Mundial (2000). *Argentina, Gestión de los recursos hídricos. Elementos de política para su desarrollo sustentable en el siglo XXI*. Volumen I-Informe Parcial. Informe N° 20729-AR.
- Barbeito, O. y Ambrosino, S. (1993). *Geomorphological Study of San Carlos Minas Catastrophe. Cordoba Province. Argentine*. Anales del Primer Simposio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Gramados. Brasil.
- Bell, F. Ch. (1969). *Generalized rainfall duration frequency relationships*. Journal of the Hydraulics Division. ASCE, V.95, n° 1.
- Bertoncello, R.; García, P.; Galante, A. y López, S. (1997). *Geografía* 8, Ed. Santillana, Buenos Aires, 303 p.
- Bertoni, J.C. (1996). *Inundaciones Urbanas: La necesidad de conjugar acciones municipales, provinciales y nacionales*. XVI Congreso Nacional del Agua, Neuquén, Argentina.
- Bertoni, J.C. y Tucci, C.E.M. (1993). *Precipitação*, capítulo 5 in: Tucci, C.E.M. (org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Coleção ABRH, Vol. 4. 2^{da}. Edição. 943 p. Brasil.
- Bertoni, J.C. (2001). *Etude hydrologique et analyse des incertitudes sur trois bassins versants semi urbanisés de la région centrale d'Argentine*. These de Doctorat. Université Montpellier II, Montpellier, France. 303 p y anexos.
- Bertoni, J.C. y Chevallier, P. (2001). *Histoire de l'Hydrologie et l'Assainissement Urbain en Argentina. Periode 1850-2000*. Colloque des Origines et Histoire de l'Hydrologie, IAHS/AISH, PHI International, Dijon, France.
- Bertoni, J.C., Miatello, F., Campana, N. y Chevallier, P. (2002). *Estimation of impervius areas in urban regions of Brazil and Argentina*. Submitted to Urban Water Journal, Elsevier Ltd..

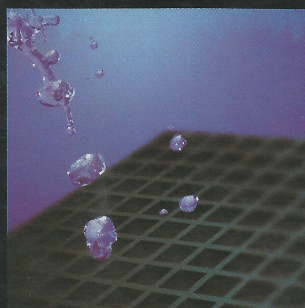
- Bertoni, J.C.; Ganancias, F. y Fontana, G. M. (2004). *Análisis relativo a la estimación de curvas i-d-f mediante regionalización en el territorio argentino*. Sometido al XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Campina, Brasil.
- Bertrand-Krajewski, J.L., Laplace, D., Joannis, C. y Chebbo, G. (2000). *Mesures en hydrologie urbaine et assainissement*, Ed. Tec. & Doc., Paris, 794 p.
- Buenos Aires (1869). *Mejoras en la Ciudad de Buenos Aires. Plan, informe y presupuesto del ingeniero Coghlan*. Publicación oficial. Imprenta de Buenos Aires, p.3
- Bouvier, Ch. (1990). *Analyse et Modélisation des Écoulements en Milieu Urbain Africain*, Thèse de Doctorat, UMII. Éditions de l'Orstom. Paris.
- Caamaño Nelli, G.E.; Fertoni, M.E.; Prendes, H.H., Quinodoz, H.A.M. (1979). “*Análisis de sistemas hidrológicos no típicos – Bases teóricas y criterios metodológicos*”. Proyecto Generación y Aplicación de Metodologías hidrológicas para Áreas de Llanura”, Departamento de Hidrología General y Aplicada, U. N. Litoral, Santa Fé, Argentina.
- Cabral, S. (1967). *La creciente anual 1965-66, Interpretación de sus efectos*. Informe de la DNCPVN, Departamento Paraná Medio. Paraná, Argentina.
- Campana, N.A. y Tucci, C.E.M. (1994). *Estimativa de área impermeável de macro bacias urbanas*, RBE, Caderno de Recursos Hídricos, 12, 2, 79-94. Brasil.
- Campana, N.A. (1995). *Impacto da urbanização nas cheias urbanas*. Tesis de Doctorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, IPH/UFRGS, Porto Alegre, Brasil. 200 p.
- Calcagno, A. (2001). *Informe sobre la gestión del agua en Argentina*, Global Water Partnership-SAMTAC.
- Centro Editor de América Latina, C.E.A.L., (1982), *Atlas Total de la República Argentina*. Buenos Aires.
- Chocat, B. (1997). *Aménagement urbain et hydrologie*, La Houille Blanche, N° 7, 12-18.
- Chocat, B. (coord.) (1997). *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*, Eurydice 92, Ed. Lavoisier, Paris, 1124 p.
- Ciccolella, P.; Fernández Caso, M.V.; Gurevich, R y Montenegro, I. (1995). “*Geografía Argentina*”. Ed. AIQUE, Buenos Aires, Argentina.
- Daniele, A. (2001). *El sistema de drenaje urbano de la ciudad de Rosario*, III° Jornadas de Drenaje Pluvial Urbano de Argentina, Municipalidad de Rosario.
- Depettris, C.A. y Pilar, J.V. (2001). *Uso de medidas no estructurales para controlar el aumento de las áreas impermeables en la ciudad de Resistencia*, I° Seminario de drenagem urbana do Mercosul, P. Alegre, Brasil. Livro de resumos, 229-232.
- Desbordes, M. (1974). *Reflexions sur les méthodes de calcul des réseaux urbains d'assainissement*, thèse Docteur Ingénieur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 171 p.
- Desbordes, M. (1985). *Linear reservoir misteries*, (Informe no publicado). 93 pp.

- Desbordes, M. (1987). *Contribution à l'analyse et à la modélisation des mécanismes hydrologiques en milieu urbain*, Thèse, Académie de Montpellier, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 242 p.
- Desbordes, M. (1989). *Principales causes d'aggravation des dommages dus aux inondations par ruissellement superficiel en milieu urbanisé*, Bulletin hydrologie urbaine, SHF; Paris, N° 4, 2-10.
- Devoto, G.A. (2002). *Regionalización de lluvias intensas en Argentina*. XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Argentina. Anales en CD.
- DPH Córdoba (1992). *Memoria descriptiva del proyecto "Defensas Hídricas San Carlos Minas"*. Tomo 1. Dirección Provincial de Hidráulica. Dpto. de Estudios y Proyectos. Córdoba. Argentina
- Esteve, J. R. (2001). *Planes generales de desagües pluviales de la ciudad de Córdoba*. III° Jornadas de Saneamiento Pluvial Urbano. Ponencias. Municipalidad de Rosario. Disponible en CD.
- Falczuk, B. (2001). *Plan Director de Ordenamiento Hidráulico de la ciudad de Buenos Aires*. III° Jornadas de Saneamiento Pluvial Urbano. Ponencias. Municipalidad de Rosario. Disponible en CD.
- Fertonani, M. (1978). *"Lineamientos básicos para el desarrollo de la investigación hidrológica en áreas de llanura - Aspectos conceptuales y problemática"*. Depto. de Hidrología General y Aplicada. U.N. Litoral. Santa Fé, Argentina.
- FICH (2000). *"El Río Paraná en su Tramo Medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura"*. 2 Volúmenes. FICH-UNL.
- Fondo de las Naciones Unidas de Asistencia de Población, FNUAP (2000). *Estimaciones de crecimiento poblacional a nivel mundial*. UNESCO.
- Giacosa, R. (1983). *Efectos de la creciente del Río Paraná 1982/83 en el tramo Santa Fe-La Guardia*. Informe Técnico N° 04/83. CRL-INCYTH. Santa Fe.
- Giacosa, R y otros (1998). *Redimensionamiento hidráulico puente sobre el río Salado en autopista Santa Fe-Rosario*. Convenio INA CRL-AUFE S.A.
- Giraut, M., Gaviño Novillo, M. y Ludueña, J. (1997). *Cuencas hídricas de la República Argentina*, in: Calcagno, A. (2001). *Informe sobre la gestión del agua en Argentina*, Global Water Partnership-SAMTAC.
- Quitarrá de Maguitman, O. (1993). *Distribución de la población: Vigencia de un problema*, Geodemos N° 1 PRIGEO, Buenos Aires.
- Guglielmo, R. (1996). *Les grandes métropoles du monde et leur crise*, Ed. A. Colin, Paris, 268 p.
- Halcrow S.W. & Partners. (1994). *Estudio de regulación del valle aluvial de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el control de las inundaciones. Informe Final*. Anexo B: Hidrología. Trabajo realizado para la Sub Unidad Central de Coordinación de Emergencias del Ministerio del Interior del Gobierno Argentino.
- INA (2003) *Informe sobre la situación de crecida del Río Salado en el 2003* (En elaboración).

- INCYTH-CRL (1976). *Rectificación del curso inferior del río Salado y dimensionamiento hidráulico de obras de arte en la autopista Santa Fe - Rosario*. Convenio DNV e INCYTH- CRL.
- INCYTH-CRL (1986). *Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado*. Informe Final del Proyecto INCYTH-BID 3.1. Volumen I y II. Santa Fe.
- INCYTH-CRL (1992). *Delimitación de áreas de riesgo hídrico en Santa Fe*. Convenio CFI-INCYTH. Informe Final. Tomo II. Sistema Salado.
- INDEC (1999). *Anuario Estadístico*, Instituto Nacional de Estadística y Censos, Buenos Aires.
- INDEC (2001). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Buenos Aires.
- Inglese, V.L. (1940). *Proyecto de una red de desagües pluviales. Utilización del diagrama de FRÜHLING*. Informe technique. Buenos Aires.
- Leopold, L.H. (1968). *Hydrology for urban land planning*. Washington, U.S. Gov. Print. Off. Geological Survey circular 554.
- Levit, H.G. y Pérez de Odriozola, M. (2001). *El programa del Banco Mundial para protección contra Inundaciones*. III° Jornadas de Saneamiento Pluvial Urbano. Ponencias. Municipalidad de Rosario. Disponible en CD.
- Lopes da Silveira, A.L. (1996). *Contribution à l'étude hydrologique d'un bassin semi-urbanisé dans le Brésil subtropical*, Thèse de Doctorat, Académie de Montpellier, Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc, France, 170 p. et annexes.
- Lopes da Silveira, A.L. (1998). *Hidrologia urbana no Brasil*, Chap. 1 in: Braga, B.; Tucci, C. & Tozzi, M., *Drenagem urbana, gerenciamento, simulação, controle*. Ed. ABRH, Porto Alegre, Brésil, 203 p.
- Malnero H. (1995). *Estudio de Crecidas de Embalse*, SCyT, U. N. de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew, Argentina.
- Maza, J.A. y Nanía Escobar, L.S. (2001). *Sustentabilidad hidrológica en el desarrollo urbano pedemontano*. I° Seminario de drenagem urbana do Mercosul, Porto Alegre, Brasil; Livro de resumos, 223-228.
- Obras Sanitarias de la Nación, OSN (1924). *Memoria del Directorio Correspondiente al año 1923*. Buenos Aires, 223-229.
- Olsacher, J. (1972). *Descripción de la Hoja 21h, Cerro Champaquí 1:200.000*. Servicio Nacional Geológico Minero. Boletín 133.
- Organización de las Naciones Unidas-ONU (1976). *Prevención y Mitigación de los Desastres Naturales*. Compendio de los Conocimientos Actuales. Volumen II.
- Paoli, C. (1985). *Los efectos de la crecida 1982-83 en la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas. Pautas de solución*. Informe Técnico CRL-INCYTH. Santa Fe. Argentina.
- Paoli, C. (1994). *Inundaciones en ríos de llanura con creciente ocupación*. X Seminario del Centro Interamericano de Estudios Avanzados de los Recursos del Agua (CIRA). Anales pp 151 a 158. Salvador, Bahia, Brasil

- Paoli C. y otros (1998). *Estudios hidrológicos y de modelación Hidrodinámica. Nueva Conexión Vial Santa Fe – Santo Tomé*. Convenio DPV-INA-UNL.
- Pilar, J. y Depettris, C. (2000). *Uso de medidas no estructurales para controlar el aumento de las áreas impermeables en la ciudad de Resistencia*. Dpto. de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, UNNE, Argentina.
- Pedraza, R.; Macor, J. Ocampo, C.; Pusineri, G. (1997). *Estudio hidrológico en una cuenca urbana de Santa Fe, Argentina*, in: Proc. Seminario Internacional sobre Drenaje Urbano. Grupo de Universidades Montevideo, FICH-UNL, UBA, Argentina.
- Pelletier, J. y Delfante, Ch. (2000). *Villes et urbanisme dans le monde*, 4° édition, Ed. A. Colin, Paris, 199 p.
- Radovanovic, E. y Tartarini, J. (1999). *Agua y Saneamiento en Buenos Aires 1580–1930*, Proyecto Patrimonio Histórico CONICET-Aguas Argentinas, Bs. As.
- Rühle, F.G.O. (1966). *Determinación del derrame máximo superficial de las cuencas imbríferas*. La Ingeniería, n° 987. Centro Argentino de Ingenieros, 2° edición. Bs. Aires.
- Sainz Trápaga J.M., Malnero H.A. (1994). *Modelo de Operación de Embalse Florentino Ameghino: Formulación y evaluación de Modelos Básicos Alternativos, y Operación de Embalse bajo severas restricciones por capacidad de conducción del cauce en el VIRCh*, SCyT, U. N. de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew, Argentina.
- Secchi, A.; Giacosa, R. ; Bianchi, H. y Mazzón, R. (2001). *Nuevas tecnologías para contribuir a la solución de las inundaciones en grandes ciudades*, I° Seminario de drenagem urbana do Mercosul, P.Alegre, Brasil. Livro de resumos, 223-228.
- Serra J.; Malnero, H.; Sainz Trápaga, J. y Chachero, M. (1995). *Informe Final PI “Estimación de crecidas en el VIRCh” y publicaciones anexas*. SCyT, U. N. de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew, Argentina.
- Serra J. y Malnero, H. (1998). *P.I. Ordenación del Cuenco Aluvional Área Dique Boca Toma y su Impacto Ambiental en el VIRCh*. SCyT, U. N. de la Patagoni San Juan Bosco. Trelew, Argentina.
- Serra, J.J. (2000). *Limitaciones de Disponibilidad Hídrica del Río Chubut para Nuevas Areas Bajo Riego o Derivaciones Para Otros Fines en el Valle Inferior*. Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Córdoba 22-27 de Octubre del 2.000, Tomo II, Págs. 693 a702.
- Serra, J., Malnero, H., Sainz Trápaga J., Chachero, M., (2001), *Caracterización de crecidas y riesgo aluvional en el Valle Inferior del Río Chubut*, Facultad de Ingeniería, Secretaría de Ciencia y Técnica. U. N. de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew , Argentina.
- Serra, J.J. (2002). *Lluvia equivalente por fusion de nieves en la estimacion del caudal máximo en cuencas pluvionivales sin datos hidrometricos*. XIX Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, Argentina. Anales en CD.
- Serra, J.J. (2002). *Metodologia integrada de estimacion de crecidas en ambientes torrenciales típicos de áreas de meseta en la region semiárida patagonica*. Tesis de Maestría en Recursos Hídricos en Zona de Llanura. Escuela de Carreras de Postgrado y

- Educación Continua, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario.
- Serra, J.J., Malnero, H., Sainz Trápaga, J. y Chachero, M. (2002). *Aspectos más relevantes de la problemática hídrica en el valle inferior del río chubut* (UNPSJB, Trelew, Chubut). XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo; Puerto Madryn.
- Shamsi, U.M. (1999). *GIS and water resources modeling: state-of-the-art*, chapter 5 in: James, W. (ed.), *New applications in modeling urban water systems*, monograph 7. Computational Hydraulics International, Ontario.
- Soil Conservation Service (1975). *Urban Hydrology for Small Watershed*, Technical Release N° 55 Revision, W.Resour. Publ., Colorado, USA.
- Soubie, L. (1940). Los desagües pluviales de la Capital Federal- Parte "d" Palermo – 1ra Sección –Zona Sud. Obras del Contrato I. Informe technique. Buenos Aires.
- Stampone J., (1997) *Informe de Impacto Ambiental para la etapa de explotación – proyecto Minera Ameghino* SAMIC, FCN, UNPSJB.
- Stampone, J.; Haller, M. y Serra, J. (1998). "Estudio del impacto ambiental hidrodinámico superficial y subterráneo de los efluentes de la ciudad de Puerto Madryn, en zona de terraza", FCN, UNPSJB.
- Toya, M.A.; Rahmane, I.; Olivera, B. ; Bertoni, J.C. y Esteve, J. (2003). *Gestión de cuencos de retardo en el sistema de drenaje pluvial urbano de Córdoba*. XIII Congreso Argentino de Ingeniería Sanitaria y Medio Ambiente. AIDIS. Bs. As.
- Tucci, C.E.M. (ed.) (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, Coleção ABRH, Brasil, Vol. 4, 943 p.
- Tucci, C.E.M. (1994). *Enchentes Urbanas no Brasil*, Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 12/N° 1, 117-136.
- Tucci, C.E.M. (1997). *Environmental Issues in the Plata River*. Federal University of Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, Brazil.
- Tucci, C.E.M.; Zamanillo, E. y Pasinatto, H. (1989). *Sistema Hidrológico-Hidráulico IPHS1*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Brasil.
- UNESCO (1987). *Manual on drainage in urbanizing areas*. Vol. I. Planning and design of drainage systems. Studies and reports in hydrology. N° 43.
- Vela Huergo, J. (1937). *Qué es y qué hace Obras Sanitarias de la Nación*. Boletín de Obras Sanitarias de la Nación. Buenos Aires, Nnro. 1, p.18.
- World Bank (1995). *1995 World Development Indicators*, N.Y. USA.
- World Bank (1998). *1998 World Development Indicators*, N.Y. USA.



Este libro describe los principales aspectos relativos al proceso de urbanización, la evolución del drenaje urbano y la problemática de las inundaciones en áreas urbanas de Argentina. Los autores desarrollan sus actividades en distintas regiones del país, hecho que le otorga al texto el enriquecimiento derivado de la descripción y el análisis de las diferentes problemáticas que presenta la Argentina.

El material presentado incluye el análisis de una serie de casos destacados relativos a inundaciones ocurridas en los últimos años en diversas ciudades del país.