



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

**“REGULACIÓN DE CAUDALES EN UNA CUENCA DE
LLANURA INTERVENIDA CON OBRAS DE
CANALIZACIÓN, MEDIANTE LA GESTIÓN
PARTICIPATIVA”**

Carlos Gustavo Ferreira

Tesis remitida al Comité Académico de la Maestría
como parte de los requisitos para la obtención
del grado de
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL
de la
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

2019

Comisión de Posgrado, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Ciudad Universitaria, Paraje “El Pozo”,
S3000, Santa Fe, Argentina



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

**“REGULACIÓN DE CAUDALES EN UNA CUENCA DE
LLANURA INTERVENIDA CON OBRAS DE
CANALIZACIÓN, MEDIANTE LA GESTIÓN
PARTICIPATIVA”**

Carlos Gustavo Ferreira

Director:

Dra. Leticia Rodríguez **UNL-FICH**

Jurado Evaluador:

Dr. Carlos Marcelo García **UNC-FCEFyN**

Mag. Silvia Albarracín **INTA–Misiones**

Dr. José Macor **UNL-FICH**

Dr. Oscar Duarte **UNL-FICH**

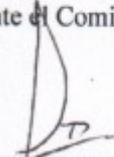
2019

Certificación del Jurado de la Tesis y del Director de la Tesis

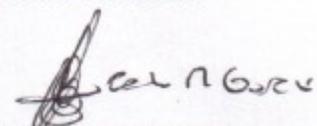
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

Santa Fe, 3 de octubre de 2019.

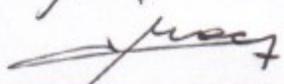
Como miembros del Jurado Evaluador de la Tesis de Maestría titulada "*Regulación de caudales en una cuenca de llanura intervenida con obras de canalización, mediante la gestión participativa*", desarrollada por el Ing. Carlos Gustavo FERREIRA, certificamos que hemos evaluado la Tesis y recomendamos que sea aceptada como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental. La aprobación final de esta disertación está condicionada a la presentación de dos copias encuadradas de la versión final de la Tesis ante el Comité Académico de la Maestría en Gestión Ambiental.



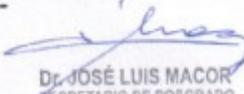
Dr. Oscar Duarte



Dr. Carlos Marcelo García



Mag. Silvia Albarracín



Dr. José L. Macor

(*) La Mag. Silvia Albarracín participó por video conferencia

Dr. JOSÉ LUIS MACOR
SECRETARIO DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería y Cs. Hídricas

Santa Fe, 3 de octubre de 2019.

Certifico haber leído esta Tesis preparada bajo mi dirección y recomiendo que sea aceptada como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental.



Dra. Leticia Rodríguez
Directora de Tesis

Universidad Nacional del Litoral	Ciudad Universitaria
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas	C.C. 217
	Ruta Nacional Nº 168 - Km. 472,4 (3000) Santa Fe
Secretaría de Posgrado	Tel: (54) (0342) 4575 229
	Fax: (54) (0342) 4575 224
	E-mail: posgrado@fich.unl.edu.ar

DECLARACIÓN LEGAL DEL AUTOR

Esta tesis ha sido remitida como parte de los requisitos para la obtención del grado académico Maestría en Gestión Ambiental ante la Universidad Nacional del Litoral y ha sido depositada en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas para que esté a disposición de sus lectores bajo las condiciones estipuladas por el reglamento de la mencionada Biblioteca.

Citaciones breves de esta Tesis son permitidas sin la necesidad de un permiso especial, en la suposición de que la fuente sea correctamente citada. Solicitudes de permiso para la citación extendida o para la reproducción parcial o total de ese manuscrito serán concebidos por el portador legal del derecho de propiedad intelectual de la obra.

DEDICATORIA

A los tres soles que iluminan mi camino, por orden de aparición:
Pablo Ignacio, Virginia Andrea y Matías Santiago.

A mi esposa y compañera en este viaje de la vida, Viviana.

A la memoria de mi padre, Licenciado en Hormigón Armado
Carlos Ignacio Ferreira, quien fue la persona que más veces
en mi carrera me mencionó la palabra
“HIDRÁULICA”.

*La tierra misma se enluta
porque las aguas padecen
y así los tormentos crecen
como la hierba cicuta.
Parece que ni se inmuta
el hombre frente a este duelo
pues derrama sobre el suelo
sus sobras y desperdicios
desacrando los oficios
y el canto de los abuelos.*

(Las Venas – Nano Stern)

AGRADECIMIENTOS

La tarea de elaborar la tesis, que por diversas razones se prolongó en el tiempo, puso en mi camino a numerosas personas que de una u otra manera contribuyeron a que alcanzara el objetivo. Para ellas va mi profunda y permanente gratitud.

En primer lugar debo agradecer a los colegas, profesores y personal de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. En particular a los integrantes del Centro de Estudios Hidro-Ambientales (CENEHA) y del Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM). Entre ellos, especialmente a Emiliano López por haberme inspirado a retomar el trabajo; a Emiliano Veizaga, Carlos Ocampo y Guillermo Contini por las charlas en los numerosos viajes a la cuenca y a Marta Marizza por sus observaciones, comentarios y consejos. Debo hacer mención además al estímulo permanente e incondicional apoyo recibido de parte de Virginia Margenet, colega de la Cátedra de Proyecto Final de Carrera.

En segundo lugar al personal de la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Santa Fe, en particular a mis compañeros de la Dirección General de Servicios Técnicos Específicos (DGSTE) y del Centro de Documentación. De entre ellos y muy especialmente a María Paula Gagliardi, Andrés Robul, Melina Pérez, Gabriela Pairetti y Griselda Storani.

Finalmente a Francesco Visentín de la Universidad Ca' Foscari en Venecia, Italia, por la bibliografía actualizada acerca de los consorcios de riego y drenaje en Europa.

Un párrafo aparte -donde el simple agradecimiento no alcanza- para Leticia Rodríguez, mi Directora de tesis, por su guía, sugerencias, correcciones y por sobre todo, por su pasión con el tema y paciencia con este maestrando.

Un agradecimiento especial a mi familia que supo tolerar mis ausencias y me alentó para concluir esta etapa.

I. ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	18
1.1.	Contexto general	18
1.2.	Inundaciones: problemas asociados	18
1.3.	Sequías: problemas asociados	21
1.4.	Actores involucrados en la gestión del agua	24
1.4.1.	Gobierno: aspectos institucionales provinciales y política hídrica.....	26
1.4.1.1.	<i>Organización político-administrativa actual</i>	27
1.4.1.2.	<i>La política hídrica de la provincia de Santa Fe y el Plan Estratégico Provincial</i>	28
1.4.2.	El modelo de producción agrícola actual	29
1.5.	Motivación	31
1.6.	Objetivos	33
1.6.1.	General	33
1.6.2.	Particulares.....	33
1.7.	Contenido de la tesis	34
2.	MARCO TEÓRICO	36
2.1.	Introducción	36
2.2.	Problemática de la región pampeana – caso Santa Fe.....	37
2.3.1.	Gestión de cuencas hidrográficas y conservación del agua.....	38
2.3.2.	Información hídrica para la toma de decisiones	44
2.3.2.1.	<i>El caso de la provincia de Santa Fe</i>	46
2.3.3.	Gestión participativa.....	48
2.3.4.	Hidrosolidaridad.....	52
3.	METODOLOGÍA.....	57
3.1.	Introducción	57
3.2.	Recopilación de antecedentes.....	57
3.3.	Mapa de actores.....	57
3.4.	Análisis de series mensuales de precipitación y caudal	58
3.5.	Modelación de la cuenca a paso diario.....	59
3.6.	Análisis de casos exitosos en el extranjero.....	62
4.	LA CUENCA DEL A° CULULÚ	64
4.1.	Descripción general.....	64
4.2.	Dinámica hídrica	66
4.3.	Red de drenaje	69
4.3.1.	Características generales	69
4.3.2.	Evolución histórica de la red de drenaje artificial	71
4.3.3.	Modelación hidráulica de la red de drenaje artificial	72
4.3.4.	Red de medición hidrológica.....	75
4.3.5.	Régimen de precipitaciones.....	78
4.3.6.	Régimen de escurrimiento superficial	79
4.3.7.	Niveles freáticos	81
4.3.8.	Uso del suelo	82
5.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
5.1.	Introducción	84
5.2.	Mapa de actores.....	84

5.2.1.	Listado general y clasificación.....	84
5.2.2.	Comités de Cuenca en la provincia de Santa Fe.....	87
5.2.3.	Comités de Cuenca del A° Cululú.....	91
5.2.4.	Principal actor institucional: SRH-MIT	94
5.3.	Análisis de series mensuales de precipitaciones y caudales.....	97
5.3.1.	Introducción. Justificación de la tarea	97
5.3.2.	Análisis de caudales mensuales.....	98
5.3.3.	Análisis de precipitaciones mensuales.....	101
5.3.4.	Conclusiones parciales	103
5.4.	Modelación hidrológica de la cuenca a paso diario.....	106
5.4.1.	Introducción	106
5.4.2.	Descripción del modelo matemático utilizado	107
5.4.2.1.	<i>El modelo HEC-HMS</i>	107
5.4.2.2.	<i>Justificación del uso del modelo HEC-HMS implementado por el Instituto Nacional del Agua</i>	109
5.4.3.	Armado del modelo, sistematización de datos, estimaciones y criterios...	114
5.4.4.	Etapa de calibración	115
5.4.4.1.	<i>Periodo 1980</i>	115
5.4.4.2.	<i>Periodo 2010</i>	118
5.4.5.	Etapa de verificación.....	123
5.4.5.1.	<i>Periodo 1980</i>	123
5.4.5.2.	<i>Periodo 2010</i>	125
5.4.6.	Explotación del modelo.....	129
5.4.6.1.	<i>Comparación de crecidas de diseño entre 1980 y 2010, duración de la tormenta (D) un día.</i>	130
5.4.6.2.	<i>Obtención de crecidas de diseño para la situación actual (2010) y duración semejante al tiempo de concentración de la cuenca (D = 5 días)</i>	134
5.4.6.3.	<i>Simulación hidrológica de la cuenca en estado actual con la incorporación de reservorios propuestos</i>	138
5.4.7.	Comparaciones y conclusiones parciales	148
6.	PROPUESTA DE CREACIÓN DE UN ORGANISMO DE GESTIÓN HÍDRICA PARA LA CUENCA DEL A° CULULÚ.....	150
6.1.	Introducción	150
6.2.	Análisis de experiencias seleccionadas en el extranjero	154
6.2.1.	Introducción	154
6.2.2.	Caso 1: Comité de las cuencas hidrográficas de los ríos Piracicaba, Capivarí y Jundiá – CHB-PCJ – Brasil	156
6.2.2.1.	Características generales del Comité de Cuenca	157
6.2.2.2.	Organización	162
6.2.2.3.	Cámaras Técnicas.....	163
6.2.2.4.	Agencia del Agua.....	164
6.2.2.5.	Desafíos: inundaciones y sequías	165
6.2.2.6.	La participación del Consorcio PCJ y la creación de los Comitês PCJ....	165
6.2.3.	Caso 2: CONSORZIO DE BONIFICA BRENTA – Italia.....	166
6.2.3.1.	Características generales del Consorcio	166
6.2.3.2.	Órganos de Gobierno	172
6.2.3.3.	Instrumentos del Consorcio.....	173
6.2.3.4.	Desafíos: la evolución del territorio	176

6.2.4.	Observaciones finales acerca de los ejemplos tratados	177
6.3.	Propuestas para la gestión participativa de la cuenca.....	177
6.3.1.	Creación de un OC	177
6.3.1.1.	<i>Aspectos financieros</i>	179
6.3.1.2.	<i>Fines del OC</i>	182
6.3.1.3.	<i>Desafíos y ventajas</i>	183
6.3.2.	Medidas de regulación de caudales	184
6.3.2.1.	<i>Implementación de los reservorios (aspectos ambientales)</i>	184
6.3.2.2.	<i>Generación de conciencia acerca de las ventajas de la ejecución distribuida de pequeñas obras de regulación en todo el territorio de la cuenca</i>	186
6.4.	Comentarios finales.....	189
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	190
7.1.	Conclusiones	190
7.2.	Recomendaciones.....	192
8.	ANEXOS	195
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196

II. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localidades con riesgo hídrico en la provincia de Santa Fe (DPOH, 2003 b).....	20
Figura 1.2. Secuencia de sucesos de sequía y sus efectos para tipos de sequías comúnmente aceptados (Fuente: Centro Nacional de Mitigación de Sequías, Universidad de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos de América).....	22
Figura 1.3. Niveles diarios (HR) en la Estación Recreo sobre el río Salado, en la Ruta Provincial N° 70 (situada a 25 km aguas arriba de la ciudad de Santa Fe) Fuente: elaboración propia con datos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación-SSRH y del Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente-MASPYMA.....	24
Figura 1.4. Distribución geográfica de la intensidad de producción de soja y porcentaje por provincia para el periodo 2005/6-2009/10. (Fuente: SAGPyA).....	30
Figura 1.5. Evolución temporal de la superficie sembrada de soja en la provincia de Santa Fe (Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Industria y Comercio-MAGIC-Santa Fe).	30
Figura 2.1. Sistema de gerenciamiento (Ciclo/Proceso) de recursos hídricos. Adaptado de Beekman (s/f).....	42
Figura 3.1. Estrategia de simulación: calibración, verificación y explotación del modelo.....	60
Figura 4.1. Ubicación de la cuenca del A° Cululú (adaptado de Giampieri et al., 2003).	64
Figura 4.2. Subcuencas del A° Cululú (modificado de INA-FICH-INTA, 2007; INA-MASPyMA, 2012).	66
Figura 4.3. Ejemplo de sección transversal del A° Cululú: Izq. A° Cululú y RP N°62-s, Sección completa. Der. Detalle del cauce menor. La ubicación de la sección se muestra en la Fig. 4.5. en prog. 40 Km. Elaboración propia. Fuente: Centro de Documentación- MIyT.....	70
Figura 4.4. Evolución temporal de la longitud de la red de drenaje (1850-2018).....	72
Figura 4.5. Red de drenaje de la cuenca del A° Cululú modelada por Ferreira y Rodriguez (2013). El segmento verde indica la posición de la sección transversal presentada en Fig. 4.3.	74
Figura 4.6. Red de drenaje artificial (en azul) –detalle sobre imagen georreferenciada.	75
Figura 4.7. Distribución actual de estaciones pluviométricas en la cuenca del A° Cululú.	77
Figura 4.8. Distribución actual de estaciones hidrométricas en la cuenca del A° Cululú. Fuente: SRH-MIT.	78
Figura 4.9. Registro histórico de las precipitaciones anuales en la estación INTA Rafaela (1930-2017).	79
Figura 4.10. Precipitación media mensual. Estación INTA Rafaela (serie 1930-2017).	79
Figura 4.11. Caudales medios mensuales del A° Cululú (serie 1977-2017 con interrupciones).	81
Figura 4.12. Niveles freáticos medios mensuales en la estación INTA Rafaela (1969-2017).	82
Figura 5.1. Mapa de actores (vista parcial).	85
Figura 5.2. Mapa de actores: distribución de ACTORES RESPONSABLES.	86

Figura 5.3. Comités de Cuenca de la prov. de Santa Fe (Schmidt, 2018).....	91
Figura 5.4. Distribución territorial de los Comités de la Cuenca del A° Cululú. Fuente: SRH-MIT.	93
Figura 5.5. Caudales medios mensuales del A° Cululú (Periodos 1980 y 2010).....	99
Figura 5.6. Diferencia porcentual entre los caudales medios mensuales de los periodos “2010” (subserie 2004-2017) y “1980” (subserie 1977-1988) en el A° Cululú.	100
Figura 5.7. Precipitación mensual de Rafaela vs. Precipitación mensual de la cuenca del A° Cululú (tomado de Ferreira, 2004).	101
Figura 5.8. Precipitación media mensual en la Estación INTA Rafaela; Periodo “1980”; Periodo “2010”.	102
Figura 5.9. Porcentajes de diferencias entre la precipitación media mensual para los periodos “2010” y “1980”, Estación INTA Rafaela.	103
Figura 5.10. Comparación entre los caudales medios semestrales (semestre Frío y Cálido) para los periodos “2010” y “1980”.	104
Figura 5.11. Subcuencas del A° Cululú (tomado de INA-FICH-INTA, 2007).....	110
Figura 5.12. Hietograma de precipitaciones diarias de abril de 1981. Estación INTA Rafaela.	117
Figura 5.13. Resultados de la calibración en el A° Cululú en RPN° 50-S para abril de 1981: hidrograma simulado vs. observado.	117
Figura 5.14. Hietogramas utilizados para la distribución de los datos de lluvia, abril de 2014.	121
Figura 5.15. Resultados de la calibración en el A° Cululú en RPN° 50-S, para abril de 2014: hidrograma simulado vs. observado.	122
Figura 5.16. Hietograma de precipitaciones diarias de abril de 1983. Estación INTA Rafaela.	124
Figura 5.17. Resultados de la verificación del modelo para el Periodo “1980”. A° Cululú en RP 50-S. Abril de 1983: hidrograma simulado vs. observado.	125
Figura 5.18. Hietogramas utilizados para la distribución de los datos de lluvia de las estaciones de la DGCP, noviembre de 2013.	128
Figura 5.19. Resultados de la verificación del modelo para el Periodo “2010” en el A° Cululú en RP 50-S. Noviembre de 2013: Hidrograma observado vs. Simulado.	129
Figura 5.20. Ejemplo de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (genérica).....	130
Figura 5.21. Resultados de las corridas para recurrencias de 10, 50 y 100 años en el A° Cululú en RPN° 50-S. Tormentas duración un día.....	132
Figura 5.22. Resultados de las corridas para recurrencias de 10, 50 y 100 años en el A° Cululú, Sección Cavour. Tormentas duración un día.....	132
Figura 5.23. Hietogramas adimensionales de las estaciones de la cuenca del A° Cululú y aledañas y curva promedio aplicada en este estudio	135
Figura 5.24. Hietograma de diseño (R = 100 años) promedio areal de la cuenca del A° Cululú combinando los estudios de Incociv (2012) y Serra et al. (2017).	136

Figura 5.25 Resultados de las corridas para recurrencias de 2,10, 50 y 100 años. Duración de la tormenta 5 días, distribución areal según INCOCIV (2012) y temporal según Serra et al. (2017). A° Cululú en Sección Cululú (RP 50-S).	137
Figura 5.26. Resultados de las corridas para recurrencias de 2,10, 50 y 100 años. Duración de la tormenta 5 días, distribución areal según INCOCIV (2012) y temporal según Serra et al. (2017). A° Cululú en Sección Cavour.....	137
Figura 5.27. Vertedero central en el azud de Tostado, sobre el río Salado (prov. de Santa Fe), visto desde aguas abajo. Fuente: foto del autor.....	139
Figura 5.28. Ubicación de los reservorios propuestos.....	141
Figura 5.29. Croquis de ubicación del reservorio R1. (El segmento blanco abajo a la derecha indica 1 km, en azul la traza parcial de la presa).....	143
Figura 5.30. Curva Cota (IGN)-Volumen para el Reservorio 1.....	143
Figura 5.31. Curva Altura-Caudal para el Reservorio 1.....	144
Figura 5.32. Diagrama topológico modificado con los 9 (nueve) reservorios.	145
Figura 5.33. Escenario 2. Estación Cavour.	146
Figura 5.34. Escenario 3. Estación Cavour.	147
Figura 5.35. Escenario 4. Estación Cavour.	147
Figura 6.1. La región hídrica III (MAH, 2006).	151
Figura 6.2. Plano de la cuenca del río Piracicaba. Fuente: http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhpcj/apresentacao	159
Figura 6.3. Jurisdicción del Consorcio de Bonifica Brenta.....	167
Figura 6.4. Ejemplo de canales en el Consorcio Brenta. (tomado de http://www.consorziobrenta.it/)	169
Figura 6.5. Red hidrográfica del consorcio Brenta (tomado de http://www.consorziobrenta.it/)	170
Figura 6.6. Sitio San Lázaro. Central hidroelectrica de 1° salto (izq.) y Central hidroelectrica, detalle (der.)	171
Figura 6.7. Sitio San Lazaro, vista general.....	172
Figura 6.8. Organigrama de funcionamiento de un OC (Sánchez, 2005).	178
Figura 6.9. Ejemplo de medida de regulación: Sistemas reservorio-estación de bombeo (Foto: Catálogo Flygt).....	187
Figura 6.10. Ejemplo de medida de regulación: Vertedero de la Laguna del Dentado (Foto: INA-MiyT, 2018).....	188
Figura 6.11. Ejemplo de medida de regulación: obras de retención, cuenca Arizmendi (fuente: INA-MiyT, 2018).....	188

III. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Actores involucrados en la gestión del agua en la provincia de Santa Fe.....	26
Tabla 1.2. Evolución de variables productivas relativas a la soja a nivel nacional. (*) estimado según SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos) Julio 2002.....	29
Tabla 1.3. Área sembrada y producción de soja en la Provincia de Santa Fe, serie 2000/01-2013/14 (Fuente: Http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php - (Sistema Integrado de Información Agropecuaria – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca).....	31
Tabla 2.1. Objetivos y etapas de la gestión de cuencas (modificado de Dourojeanni, 1996).	40
Tabla 2.2. Acciones principales y complementarias de la gestión (adaptada de Beekman, s/f.).	41
Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de la participación ciudadana.....	50
Tabla 2.4. Articulación de los conceptos operativos (elaboración propia).	55
Tabla 4.1. Caudales de desborde de canales y revancha modelados (Ferreira y Rodríguez, 2013).	74
Tabla 4.2. Organismos encargados del funcionamiento de la Estación Hidrométrica Cululú en RP50 y serie relacionada.	80
Tabla 4.3. Caudal medio mensual (m3/s) – Serie 1977-2017.	80
Tabla 5.1. Comités de Cuenca de la cuenca del A° Cululú.....	92
Tabla 5.2. Datos de los Comités de Cuenca de la cuenca del A° Cululú.	93
Tabla 5.3. Organización de la SRH-MIT y unidades de organización técnico-administrativas dependientes.....	97
Tabla 5.4. Subseries para caracterizar a nivel mensual los periodos bajo análisis.....	98
Tabla 5.5. Caudales mensuales característicos de los periodos bajo análisis – Estación Hidrométrica RP 50, A° Cululú.	100
Tabla 5.6. Información de las subseries para caracterizar a nivel mensual los periodos de precipitación bajo análisis. Estación INTA Rafaela.....	102
Tabla 5.7. Precipitaciones mensuales características de los periodos bajo análisis – Estación INTA Rafaela.	103
Tabla 5.8. Características de las subcuencas del A° Cululú (tomado de INA-FICH-INTA, 2007).	111
Tabla 5.9. Parámetros de modelación (tomado de INA-FICH-INTA, 2007).....	113
Tabla 5.10. Precipitaciones diarias en estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del A° Cululú. Abril de 1981.....	116
Tabla 5.11. Resultados de la calibración para abril de 1981, A° Cululú en RP-50-S: características del hidrograma observado y simulado.	118
Tabla 5.12. Precipitaciones diarias en estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del A° Cululú. Abril de 2014.....	121

Tabla 5.13. Áreas impermeables urbanas de las ciudades de San Francisco, Frontera, Rafaela y Sunchales y subcuenca de influencia, para el periodo “2010”.....	122
Tabla 5.14. Resultados de la calibración para abril de 2014. A° Cululú en RP 50-S: características del hidrograma observado y simulado.....	122
Tabla 5.15. Precipitación diaria en estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del A° Cululú. Abril de 1983.....	124
Tabla 5.16. Resultados de la verificación. Período “1980”. A° Cululú en RP 50-S: características del hidrograma observado y simulado.....	125
Tabla 5.17. Precipitación diaria en estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del A° Cululú. Noviembre de 2013.....	128
Tabla 5.18. Resultados de la verificación. Período “2010”. A° Cululú en RP 50-S: características del hidrograma observado y simulado.....	129
Tabla 5.19. Precipitaciones para la obtención de hidrogramas de diseño. Duración de la tormenta D = 1 día. Estación INTA Rafaela (tomado de Bertoni et al., 2008).	131
Tabla 5.20. Resultados destacados de las corridas para distintas recurrencias con tormentas de duración D=1 día. (secciones en RP50-S y Cavour).....	133
Tabla 5.21. Precipitación Media Areal de la cuenca del A° Cululú, Maximizada, Duración = 5 días (tomado de Incociv (2012)).	134
Tabla 5.22. Hietogramas de tormentas de diseño para distintas recurrencias, con una probabilidad del 90 % y una duración total de 5 días.	136
Tabla 5.23. Caudal pico y volumen de las crecidas de diseño de las dos secciones del A° Cululú	138
Tabla 5.24. Características de los reservorios propuestos. Cuenca del A° Cululú.....	140
Tabla 5.25. Características de las crecidas de diseño para los reservorios propuestos.	142
Tabla 5.26. Escenarios de construcción de reservorios.....	144
Tabla 5.27. Caudal pico y porcentaje de efectividad para distintas recurrencias en la sección Cululú, según cada escenario.	145
Tabla 5.28. Caudal pico y porcentaje de efectividad para distintas recurrencias en la sección Cavour, según cada escenario.	146

IV. RESUMEN

Los impactos de los eventos climáticos extremos (inundaciones y sequías) son claramente observables en la Provincia de Santa Fe. Particularmente en la cuenca del A° Cululú de 9500 km² de extensión, las intervenciones humanas impactantes ya superan ampliamente los 100 años de historia mediante la explotación de sus recursos naturales y la ejecución de obras de infraestructura. Sin embargo aún se carece de un verdadero manejo de la cuenca hidrográfica como unidad lógica de planificación. En tal sentido, los Comités de Cuenca actuales ocupan apenas las 2/3 partes del área y por tal razón no están representados todos los distritos de la cuenca. Para que la gestión de la misma tenga éxito se deben contemplar múltiples dimensiones incluyendo la participación de más de un centenar de actores relevados.

Los análisis realizados basados en la información de precipitación y caudales recopilada permiten demostrar que en las últimas décadas (1990-2010 versus 1970-1980), la combinación de tormentas más intensas sobre suelos con mayor porcentaje de uso urbano y agrícola, con un manejo del agua que favorece el escurrimiento superficial sumado al crecimiento cuasi-exponencial de la longitud de la red de drenaje artificial, ha tenido como efecto la alteración del ciclo hidrológico de la cuenca, haciéndola más vulnerable a los impactos de los extremos hídricos. Además, como resultado de la modelación matemática mediante el modelo HEC-HMS a nivel de eventos para los dos periodos mencionados se puede afirmar que, para tormentas de diseño de 10, 50 y 100 años de recurrencia, se producen notables incrementos en el caudal pico de entre 19 al 53 % y 32 y 59 % para los volúmenes de escurrimiento, respectivamente, en la Sección Cavour situada a la salida de la cuenca.

La propuesta de un plan de manejo para regular estos caudales, se compone de dos acciones compatibles y complementarias: como medida estructural se prevé la construcción de 9 reservorios de detención en la zona de descarga de la cuenca, que reducen hasta un 31 % el caudal pico de una crecida de 100 años de recurrencia. Como medida no estructural, se propone la conformación de un Organismo de Cuenca para la cuenca del A° Cululú, de acuerdo a las pautas que fija la actual Ley de Aguas N° 13740, donde será preponderante la gestión participativa de los numerosos actores responsables y contribuyentes representados.

ABSTRACT

Impacts of extreme climatic events (floods and droughts) are clearly observed in Santa Fe Province. In particular, in Cululú Creek Basin (9500 km²), human interventions started more than 100 years ago, with the exploitation of its natural resources and the construction of infrastructure. However, the basin still lacks a water management plan considering the territory as a planning unit. In this regard, current Comités de Cuenca occupy 2/3 of the area, therefore not all basin districts are represented. A successful water resources management requires including the participation of more than one hundred stakeholders identified on the basin.

Precipitation and streamflow data analyses allowed to demonstrate that on the last decades (1990-2010 versus 1970-1980), the combination of more intense storms over soils with greater urban and agricultural use, the water management that favors surface runoff and the exponential growth of the length of artificial canals, altered the hydrological cycle on the basin. Consequently, the territory has become more vulnerable to extreme events.

Besides, the results of storm events modeling performed with the HEC-HMS model for return periods of 10, 50 and 100 years, showed that considerable increments of flood peaks between 19 al 53 % and flood volumes between 32 and 59 % are produced on the stream section Cavour, located at the basin outlet.

The proposal of a streamflow regulation water management plan comprises two compatible and complementary actions: a structural measure consisting on the construction of nine regulation reservoirs on the discharge zone of the basin, whose operation reduce up to 31 % of the flood peak caused by a 100 year-storm, and a non-structural measure consisting on the creation of a Basin Body for the Cululú Creek Basin according to the guidelines set on the Water Law N° 13740, where participative management will be a key feature to integrate numerous responsible and contributing “actors” present on the basin.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto general

A nivel global, las llanuras juegan un rol importante en la producción de alimentos y en la provisión de espacio para el asentamiento y desarrollo de áreas urbanas. Mientras que la población urbana va en aumento, descienden los porcentajes de población rural. Por otro lado, de acuerdo con Schultz (2001), en las zonas húmedas templadas la agricultura generalmente se desarrolla bajo un sistema en secano, sin un sistema de gestión del agua, o solamente se implementan sistemas de drenaje y en determinados casos riego suplementario. Esto provoca la creciente necesidad de evitar la degradación del ambiente a través de una adecuada provisión de drenaje, gestión y control de las inundaciones.

En un trabajo pionero sobre hidrología en las grandes llanuras del planeta, Kovacs (1978) describió que el clásico concepto de que la respuesta de una cuenca a la precipitación (el escurrimiento superficial) es sólo aplicable en cuencas con pendientes suficientes para producir la concentración del flujo hacia la salida. En contraste, en las grandes llanuras, el escurrimiento es casi despreciable en comparación con el almacenamiento en superficie, en la zona no saturada y en la zona saturada, donde las pendientes son pequeñas pero el relieve está compuesto de numerosas depresiones locales de tamaño variable que se interconectan irregularmente dependiendo de los pulsos hidrometeorológicos. En estos ambientes el trazado de divisorias de agua es uno de los problemas más complejos. Generalmente las divisorias se definen a partir de consideraciones prácticas, asumiendo que los límites son aproximadamente constantes cuando en realidad pueden variar. Por lo tanto, la gestión del agua en estos sistemas es dificultosa debido a la complejidad del funcionamiento hídrico.

En la Rep. Argentina, la gestión del agua en general no es adecuada. En la zona llana central del país, uno de los principales desafíos que debe afrontar la gestión está relacionada con una característica fundamental del factor climático: la sucesión de ciclos hidrológicos interanuales secos y húmedos, que se alternan entre sí en un patrón irregular. Como consecuencia de esto se producen numerosos problemas, entre los que se pueden mencionar: uso ineficiente del agua, escasez de agua, anegamiento de extensas zonas agro-ganaderas que perdura en el tiempo, salinización y lavado de suelos, operación y mantenimiento de infraestructura inadecuados, contaminación, inundación de zonas urbanas e industriales, deterioro de la red vial y ferroviaria, entre otros impactos. Si bien se cuenta con herramientas técnicas para prevenir y mitigar esos impactos, las soluciones no siempre son encaradas en tiempo y forma.

1.2. Inundaciones: problemas asociados

Según el Glosario Hidrológico Internacional, inundación es “El desbordamiento de agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua”, o “Acumulación de agua

procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas” (OMM, 2012). Evidentemente, en áreas de llanura, estas definiciones adquieren facetas variadas.

Las causas y alcances de las inundaciones son diversos e impactan tanto el medio rural como el urbano, en distinto grado. Entre las causas se pueden citar las que obedecen a factores climáticos, geomorfológicos o de origen antrópico (Ambrosino et al., 2004; Ferreira, 2008), las que en general no se presentan aisladas, sino por el contrario, combinadas. En tal sentido Celis y Herze (2003) prefieren hablar de “factores detonantes” y no de causas del desastre puesto que éstas son mucho más complejas e involucran numerosos factores y procesos, naturales y sociales, que se combinan dando como resultado poblaciones vulnerables a las inundaciones. A manera de ejemplo: precipitaciones intensas extraordinarias pueden generar caudales superficiales de importancia y también producir en forma concomitante, un incremento rápido de los niveles freáticos; esto por un lado aumentará el potencial de escurrimiento del área y por otro, puede agravar la situación que pudiera estar controlada con adecuados desagües diseñados para condiciones normales.

De acuerdo al Banco Mundial (2000), en escala mundial la República Argentina se encuentra entre los 14 países más afectados por catástrofes de inundaciones, totalizando pérdidas superiores al 1,1 % del PBI nacional. El citado organismo informa que “la frecuencia de la afectación es elevada, por encima de un evento importante cada diez años”. Si se toma en consideración que en los últimos 50 años del siglo pasado han ocurrido al menos 12 episodios importantes, la frecuencia media se mantiene cercana a un evento cada cuatro años, con elevadas pérdidas en la infraestructura, producción agropecuaria, bienes privados y actividades económicas, y vidas humanas.

En la provincia de Santa Fe se han identificado algo más de 150 localidades con problemas de anegamiento (Figura 1.1). Dichas localidades involucran aproximadamente 2.250.000 habitantes afectados directa e indirectamente, lo que representa el 43% del total de comunas y municipios y el 75% de la población de la provincia, respectivamente (Ferreira, 2008, 2009).

Los problemas de **anegamientos urbanos y rurales** pueden estar provocados por eventos de corta duración más o menos localizados o por eventos pluviométricos de alcance regional. Los primeros son provocados por tormentas locales, con duración de algunas horas a varios días, cuya frecuencia puede ser anual o plurianual. Las mayores afectaciones se deben al aporte de caudales desde aguas arriba. Por efecto de las inundaciones, las áreas urbanas son impactadas en su infraestructura sanitaria y de servicios, además del impacto en la propiedad privada. Generalmente se producen anegamientos de calles; cortes de rutas y caminos de accesos a las localidades y además evacuados, heridos y hasta víctimas fatales (Ferreira, 2001; Vionnet et al., 2006). Por su parte, el medio rural sufre incomunicación por cortes prolongados y deterioro de

caminos, aislamiento de poblados por vía terrestre, anegamientos de campos productivos, falta de piso y/o exceso de humedad que impide o retarda las tareas de laboreo, deterioro paulatino de la infraestructura rural y de servicios implantada (p.ej.: en almacenajes y alambrados) (Ferreira, 2001; CEPAL, 2003).

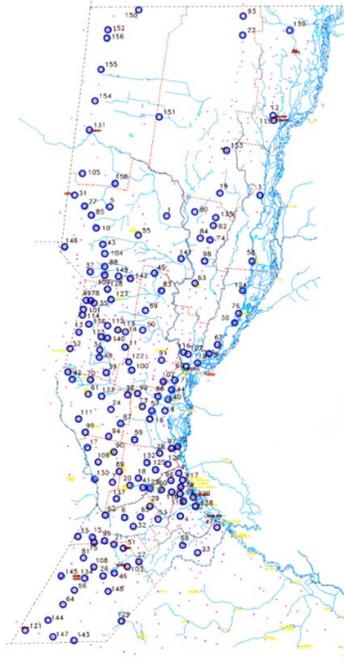


Figura 1.1 Localidades con riesgo hídrico en la provincia de Santa Fe (DPOH, 2003 b).

En respuesta a los reiterados anegamientos, en los últimos treinta años en la provincia de Santa Fe se han ejecutado numerosas obras en pos de la mitigación de los impactos de las inundaciones urbanas y rurales. Sin embargo, a la fecha no es posible conocer cuál es el mínimo de seguridad que dichas obras ofrecen al territorio, medido en términos de recurrencia de la amenaza.

Paralelamente, en la mayor parte de los casos de zonas urbanas, la tendencia ha sido intentar abatir los riesgos mediante una respuesta puntual a una situación específica (p.ej.: construir terraplenes de defensa para el control de inundaciones). Se trata de medidas estructurales, en general aisladas, que no forman parte de soluciones más integrales.

El comportamiento y eficacia de las obras ejecutadas, sean canales de drenaje o terraplenes de protección ha sido dispar, dependiendo de la recurrencia asociada a los eventos a las que se vieron solicitadas las mismas (Ferreira, 2001) y a las acciones de emergencia encaradas. Como casos destacados y opuestos, para la ciudad de Santa Fe en el año 1998, en oportunidad de la crecida del río Paraná, no se produjeron mayores inconvenientes en el área urbana y suburbana.

Por el contrario, en el año 2003 las consecuencias de la inundación del río Salado fueron catastróficas (CEPAL, 2003).

En los años 1966, 1977, 1982-83, 1998, la provincia sufrió inundaciones catastróficas ocasionadas por el sistema Paraná, todas ellas con grandes pérdidas económicas en el sector privado y estatal. Sin embargo, recién con posterioridad a la catástrofe ambiental producida por el desborde del río Salado en abril-mayo de 2003, comienza a generarse una conciencia basada en la prevención y preparación de la población ante fenómenos hidrometeorológicos adversos (DPOH 2003a; CEPAL 2003; ProCIFE 2003; Ferreira et al., 2004; Ambrosino et al., 2004).

1.3. Sequías: problemas asociados

La sequía es una de las causas fundamentales de desastres naturales a escala mundial. Un inconveniente de las sequías en comparación con las inundaciones, es que su comienzo es sutil y difícil de identificar hasta que se encuentra totalmente establecida y sus efectos negativos son evidentes. Las principales características de las sequías son: duración e intensidad variables, es decir que pueden durar desde pocos meses hasta varios años; cubren extensas regiones las cuales pueden comprender varias provincias y aún países; son recurrentes y con distintas frecuencias, vale decir que siempre vuelven a ocurrir, pero a intervalos de diferente duración.

El Centro Nacional de Mitigación de Sequías (Universidad de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos de América - <http://drought.unl.edu/>), considera que sus efectos pueden ser analizados desde diferentes perspectivas (Figura 1.2), a saber: en lo económico, la sequía se relaciona con pérdidas en la producción de alimentos, en la producción ganadera, en la producción de maderables y no maderables, repercute en el incremento de costos de energía, ocasiona pérdidas en actividades industriales y la consecuente alza de precios en el mercado, e incremento de los costos de suministro de agua, entre otros. En lo ambiental, se presentan daños frecuentemente irreversibles en la flora y la fauna silvestres, se incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas, se intensifican los procesos de erosión hídrica y eólica, se reduce la calidad del agua, se promueve la contaminación del aire, y se afecta el ciclo hidrológico en general, entre otros. En lo social, hay escasez de alimentos, malnutrición, disminución del nivel de vida, conflictos sociales y políticos por el uso del agua o de mejores tierras, incremento de la pobreza, migración, hacinamiento en las ciudades, abandono de tierras agrícolas (Ding et al., 2010).

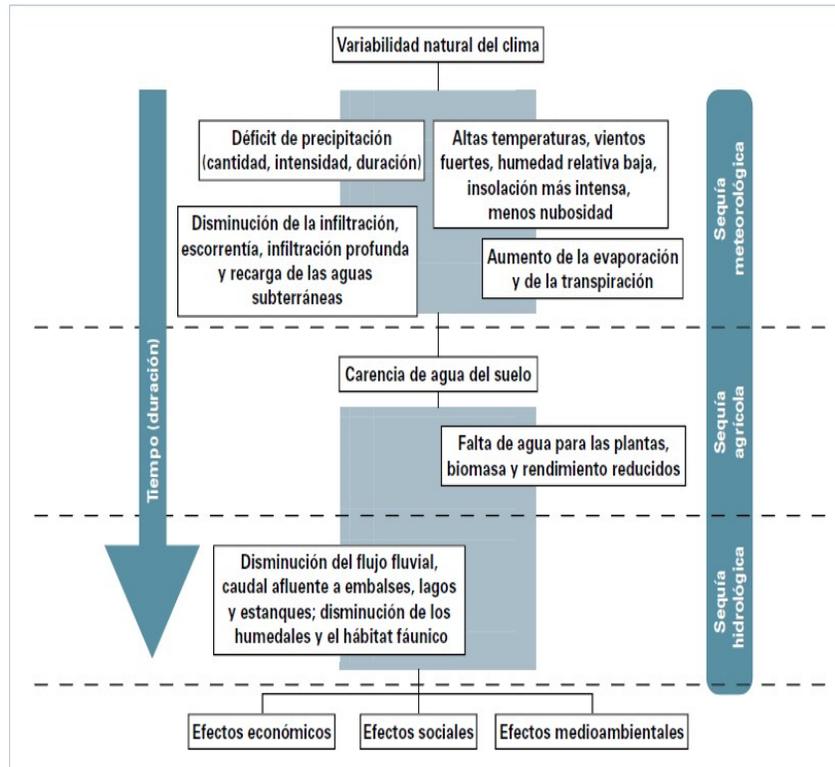


Figura 1.2. Secuencia de sucesos de sequía y sus efectos para tipos de sequías comúnmente aceptados (Fuente: Centro Nacional de Mitigación de Sequías, Universidad de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos de América).

El estudio de las sequías en la República Argentina, su detección y alerta temprana no ha recibido la misma atención que las inundaciones. Los antecedentes relacionados a las sequías tienen, predominantemente, un enfoque climático y agrícola (Scian y Donnari, 1997; Hartmann et al., 2003; Havrylenko et al., 2013). En la región pampeana, Ravelo (2000) analizó sequías meteorológicas con la finalidad de obtener resultados útiles para la actividad socioeconómica. Recientemente, Vicario (2017) estudió sequías hidrológicas y meteorológicas en cuencas de la región centro de Argentina en tanto que el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales, calcula periódicamente índices de sequía meteorológicas en todo el país (Fuente: http://www.crean.unc.edu.ar/atlas/atlas_sequia.html).

En la provincia de Santa Fe y alrededores, Venencio y García (2003) analizaron los cambios en las frecuencias de aparición de sequías meteorológicas en una decena de estaciones pluviométricas. En coincidencia con trabajos previos, encontraron un cambio de tendencias y salto en la media de la precipitación regional aproximadamente a partir del año 1970. Los autores destacaron que para las sequías anuales –cualquiera sea su intensidad- se produjeron en promedio una cada tres años antes de 1969 y una cada cinco años a partir de 1970.

El periodo hiper-húmedo 1970-2000 parece haber perdido intensidad. En los últimos 15 años, en esta zona de la Pampa Húmeda se observaría un principio de cambio en la aparición de sequías, con tendencia al aumento de la frecuencia. En particular, en el centro-norte de la provincia de Santa Fe, en los últimos años se observaron impactos notables en la población, la producción agro-ganadera y el ambiente, por causa de las sequías más frecuentes.

En 2005-2006, se presentaron sequías en el noreste de Argentina cuyos efectos fueron arealmente extensos y severos¹, (cuenca media y baja del río Paraná, entre otras) con una duración de varios meses. En la provincia de Santa Fe (y una amplia región pampeana), el fenómeno se repitió con crudeza en los años 2008 y 2009. El norte santafesino sufrió una de las peores sequías de su historia. En ese período no sólo el sector agrícola-ganadero fue afectado por cuantiosas pérdidas, sino que varias localidades tuvieron que ser asistidas para proveer acceso al agua potable a su población.

Debido a que la situación de escasez general de precipitaciones se mantuvo hasta mediados de 2012, el Gobierno Provincial declaró en situación de emergencia y/o desastre agropecuario desde el 1º de enero y hasta el 30 de junio de ese año, a las explotaciones agropecuarias afectadas por la prolongada sequía en varios departamentos de la provincia de Santa Fe. Otros fenómenos, aunque de menor intensidad, se repitieron en 2017 y 2018.

Con el fin de demostrar la severidad de la sequía 2008-2009, y su alta recurrencia en la cuenca baja del río Salado, se comentan brevemente los resultados del monitoreo hidrológico a través de la operación de la Red Telemétrica del Sistema de Alerta de Crecidas del río Salado² (Ferreira, 2012, 2013, 2015).

La altura hidrométrica diaria refleja de manera clara el comportamiento de un río. La Figura 1.3 muestra dicha variable junto a la variación temporal de la amplitud hidrométrica, calculada como la diferencia entre el nivel máximo y mínimo diarios en el río Salado medidos en la Estación Recreo RP70, que cuenta con mediciones sistemáticas desde 1952/53 hasta la fecha. La estación representa el estado hídrico de una gran porción de territorio del centro-norte de la provincia de Santa Fe, del este de la provincia de Santiago del Estero y del suroeste de la provincia de Chaco. Durante los años 2006, 2008 y 2009 el récord de nivel mínimo se desplazó hacia valores inferiores, debido a que en numerosas oportunidades de esos años se registraron lecturas negativas respecto al cero de la escala hidrométrica, hasta alcanzar el 17 de enero de 2009, la marca histórica mínima absoluta en más de sesenta años de registro, igual a $h = -0,43$ m de la escala, vigente a marzo de 2019 (ver Figura 1.3). Cabe destacar que la amplitud

¹ Global Drought Monitor -University College London- (<http://drought.mssl.ucl.ac.uk>) - Febrero de 2006.

² La Red se implementó en 2006 y cuenta con 38 estaciones; su objetivo es efectuar un monitoreo continuo y en tiempo real de los eventos hidrometeorológicos que tienen suceso en gran parte del centro-norte del territorio santafesino. (<http://upcnsfe.com.ar/agregados/docs/12395079944ece68b5be240.pdf>).

hidrométrica superó los 8 m en el año 2006 y continuó aumentando en los años siguientes por causa de los sucesivos años de sequía.

Una condición necesaria para la observación de estos niveles extremadamente bajos es que la altura hidrométrica del río Paraná, en la Estación Puerto de Santa Fe sea menor a los 3,00 m de escala, por cuestiones vinculadas a la curva de remanso. Tal valor corresponde a niveles también bajos (aunque no extremos) del sistema del río Paraná, e indican un déficit de aportes en su cuenca media y superior.

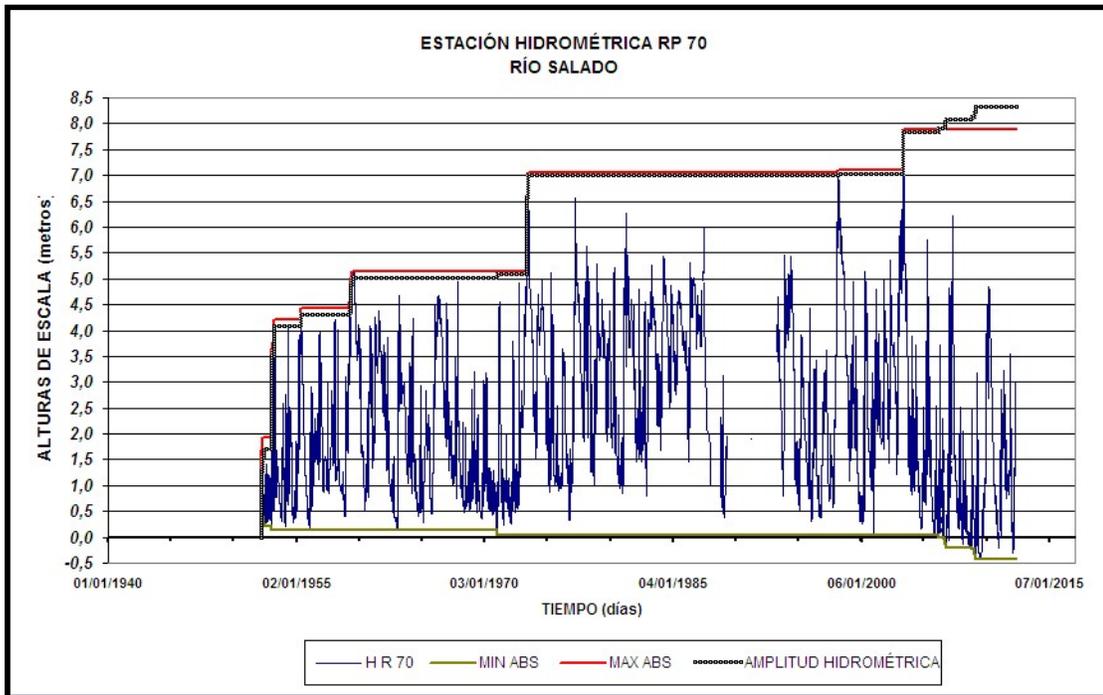


Figura 1.3. Niveles diarios (HR) en la Estación Recreo sobre el río Salado, en la Ruta Provincial N° 70 (situada a 25 km aguas arriba de la ciudad de Santa Fe) Fuente: elaboración propia con datos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación-SSRH y del Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente-MASPYMA.

Semejantes cambios en los últimos quince años en un parámetro que se supone de difícil variación en el tiempo para una determinada estación hidrométrica, inducen a pensar en la alteración del ciclo hidrológico en esta cuenca, motorizado por una alta variabilidad climática. Se debe tener presente que entre 2003 y 2009 se generaron las marcas máxima y mínima absolutas de alturas hidrométricas diarias, desde que existen registros sistemáticos en la Estación Recreo sobre el río Salado.

1.4. Actores involucrados en la gestión del agua

Antes de abordar el contexto de la gestión del agua en general, y en particular en la provincia de Santa Fe, es necesario introducir algunos conceptos fundamentales. El agua es un elemento de la

naturaleza que posee una serie de características especiales que la distinguen del resto de los recursos naturales y que condicionan las posibilidades de su aprovechamiento, regulación y uso por parte del ser humano. Entre estas características se pueden diferenciar (Jouravlev, 2003):

- Movilidad e incertidumbre: el agua está en constante movimiento, conformando el ciclo hidrológico. Esto confiere oportunidades limitadas para el control por parte del ser humano dada su variabilidad espacio-temporal.
- Diversidad de usos: en el caso de los usos consuntivos (riego, abastecimiento de agua potable, uso industrial), se plantean rivalidades y exclusiones entre usuarios por el recurso. Esto no necesariamente se presenta en el caso de los usos no consuntivos (p.ej.: generación de energía) o en el cuerpo de agua (p. ej.: pesca o esparcimiento).
- Interdependencia general de los usuarios: dada la interferencia del ser humano en el ciclo hidrológico, en general la parte del agua que retorna al cuerpo de agua o al acuífero, luego de haber sido captada, procesada y utilizada puede aprovecharse aguas abajo, aunque con frecuencia a costa de una cierta pérdida de calidad.
- Naturaleza unidireccional, asimétrica y anisotrópica de las interrelaciones e interdependencias entre los usos y usuarios del agua en un sistema hídrico integrado. Los efectos externos, tanto positivos como negativos siempre se propagan –a través de los excesos, caudales de retorno o pérdidas- desde los usos y usuarios situados aguas arriba hacia los usos y usuarios situados aguas abajo³.

Según Schultz (2001) en áreas de producción agro-ganadera, los actores en el campo de la gestión del agua pueden clasificarse en responsables y contribuyentes. En el primer grupo se sitúa el gobierno, los organismos de irrigación y drenaje (o “entes”) y los productores, por su actividad en relación al campo. Las tres partes deben acordar sobre sus roles y compartir la gestión del agua, además deben tener como objetivo el control de las inundaciones y la mitigación del impacto de las sequías en una determinada región. De acuerdo con esta clasificación, en la provincia de Santa Fe pueden mencionarse, a modo de ejemplo no taxativo, los siguientes actores involucrados (Tabla 1.1):

³ Se puede notar que entre las excepciones y particularmente en áreas de llanura, los efectos de retenciones al caudal, endicamientos u obras de terraplenes viales y ferroviarios sin secciones de paso adecuadas, causan inundación hacia aguas arriba por efectos de remanso.

Grupo Responsable	Gobierno	Gobierno Provincial (a través de los Ministerios creados por Ley N° 13509/2015. Ejemplos: Infraestructura y Transporte; Obras Públicas; Medio Ambiente; Producción; Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva; Economía. Municipalidades y comunas.
	Organismos de Drenaje	Comités de Cuenca: Entes que se rigen por la Ley Provincial N° 9830 del año 1986 y su decreto reglamentario N° 4960/86. Tienen como finalidad contribuir con las reparticiones competentes de la provincia, promoviendo el desarrollo del área a través del manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos.
	Productores	Usuarios de la cuenca, con representación en la conducción de los Comités de Cuenca y con actividad directa en relación al campo y al manejo del agua rural.
Grupo Contribuyente	Varios	Cooperativas agro-ganaderas, Federación Agraria Argentina-FAA, tamberos, agencias del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria- (INTA), Universidades Nacionales, ONG´s consultores, contratistas, escuelas, otros.

Tabla 1.1 Actores involucrados en la gestión del agua en la provincia de Santa Fe.

A continuación, se describen someramente algunas características de los actores responsables de la gestión.

1.4.1. Gobierno: aspectos institucionales provinciales y política hídrica

El impacto de sucesivos periodos de inundaciones y sequías en áreas de llanura en el territorio argentino ya era descripto por el gran naturalista Florentino Ameghino (Ameghino, 1884). En 1872 el ingeniero y agrimensor Chapeurouge publica el “Mapa de la Provincia de Santa Fe” en el cual aún no figuraban los límites de la provincia tal cual se conocen al día de hoy, pero que reflejaba la base catastral generada hasta ese momento y recopilada desde la creación de la Oficina de Topografía y Estadística –en el año 1863- (Bonaudo, 2006). En dicho material se observa la hidrografía más notable del interior de la provincia, sin mencionarse específicamente alguna obra de canalización. De manera aproximada, puede establecerse que en la década de 1930 se da inicio a importantes obras de drenaje rural, como respuesta del Estado provincial a los efectos de la inundación generalizada de 1914, a través de su Dirección de Obras Públicas.

Posteriormente, y de acuerdo con Águila (2006), *“Si algún rasgo caracterizó a la década de 1960 en términos de políticas estatales fue una amplia red de organismos, instituciones y personal técnico destinada a brindar apoyo a la industria...Las políticas de obras públicas estuvieron destinadas a adaptar la infraestructura de caminos y obras hidráulicas a la nueva realidad provincial.....Esto se tradujo ...en un incremento sustancial del presupuesto destinado*

a ello y la realización de una parte de las obras planificadas, que continuaron efectuándose en los años posteriores. Durante la década de 1960 y principios de la siguiente, se amplió la red energética de alta tensión, se proveyeron grupos electrógenos a diversas localidades, se realizaron obras de drenaje y canalización, se pavimentaron caminos y rutas, se construyó la autopista Santa Fe-Rosario y el Túnel Subfluvial...”

A mediados del siglo pasado se establecen organismos del estado vinculados al agua, con un doble objetivo: el drenaje rural y el abastecimiento de agua potable a la población. Recién en 1988 se crea la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas-DPOH, dependiente de carteras de gobierno vinculadas con las Obras Públicas, con misiones y funciones establecidas por el Decreto N° 1539. En la década de 1990, la DPOH puso en marcha una política de planificación y de ejecución de obras estructurales destinadas a la protección de la vida y de los bienes de zonas urbanas afectadas por inundaciones.

Sin embargo, el gran impacto del desastre ambiental ocasionado por la crecida del río Salado en el año 2003, movilizó a la sociedad santafesina en su conjunto, lo que trajo aparejados cambios institucionales que se tradujeron en la modificación del status del organismo provincial del agua con la creación del Ministerio de Asuntos Hídricos –MAH- (entre 2004-2007), posteriormente, MASPOMA- (entre 2008-2015) y hoy Ministerio de Infraestructura y Transporte-MIT.

1.4.1.1. Organización político-administrativa actual

A finales de 2015 se sancionó la Ley N° 13509 denominada Ley Orgánica de Ministerios del Poder Ejecutivo, la cual fija el nombre, número e incumbencia de los mismos en el Gobierno de la provincia de Santa Fe. De esta manera se crea el MIT con el fin de asistir al Gobernador de la Provincia “en todo lo atinente a la formulación de políticas provinciales destinadas a la planificación, desarrollo y mantenimiento de la infraestructura y equipamiento vial carretero, fluvial, ferroviario y aéreo y en todo lo atinente a la prestación de los servicios públicos a cargo de la Provincia y el sistema de transporte de cargas y pasajeros en todas sus modalidades”.

En el mismo sentido, se dictó el Decreto N° 0074/2015 que reglamenta la ley citada; su objetivo es aprobar la estructura orgánica funcional del MIT, definiendo y enumerando las misiones y funciones de cada autoridad política. En el artículo 9°, se crea la Secretaría de Recursos Hídricos-SRH. En particular, con la creación de la SRH se aglutinan y amplían las acciones que anteriormente desarrollaban la Secretaría de Aguas del MASPOMA, las del MAH y las de la ex-DPOH. La SRH desarrolla sus funciones a través de tres Subsecretarías: la de Planificación, la de Obras y Gestión Territorial y la de Estudios y Proyectos, que la asisten o colaboran en diversos temas. En el Capítulo 5 se analizan en detalle las misiones y funciones de los organismos mencionados.

1.4.1.2. *La política hídrica de la provincia de Santa Fe y el Plan Estratégico Provincial*

En referencia a la política hídrica, la Secretaría de Aguas (2011) diagnosticó que: “la provincia ha carecido históricamente de una política hídrica”. Al presente esta situación aún no ha cambiado demasiado⁴. Sin embargo, a partir de lo expresado en dicho documento, se intenta proyectar la política hídrica como política de estado planteando los objetivos “fundamentales”, similares a los comúnmente aceptados para llevar adelante una “política hídrica”. Entre otros se mencionan: (i) Asegurar la satisfacción de las necesidades básicas de agua de las personas; (ii) Proteger la salud pública en todos aquellos aspectos asociados al agua; (iii) Preservar a los recursos hídricos contra la agresión de agentes contaminantes; (iv) Proteger las áreas urbanas respecto de las amenazas de inundaciones preservando la integridad de las personas y de sus bienes; (v) Atender los requerimientos de las actividades productivas; (vi) Implementar drenajes y retenciones rurales adecuados al ambiente y (vii) Propender a la evaluación de los recursos hídricos a partir del registro automático continuo de variables hidrológicas.

Por otro lado, un paso fundamental, aunque tardío, en la implementación de Política Hídrica fue la promulgación -el 23 de septiembre de 2010- de la Ley N° 13132, por la cual se sanciona en su art. 1° que “La Provincia de Santa Fe adhiere y hace suyos los Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina,...., los que constituyen la base para la Gestión Hídrica Provincial”. Estos Principios Rectores fueron acordados y publicados a nivel nacional en junio de 2003 (Dardis, 2013).

En forma paralela y con mucha mayor energía, en el año 2008 se puso en marcha por parte de las autoridades políticas del Gobierno de Santa Fe un proceso de planificación estratégica inédito, que culminó con la redacción del **Plan Estratégico Provincial**⁵ (PEP, 2008). Su propósito es contar con una herramienta colectiva de análisis, participación ciudadana y toma de decisiones. Apunta no sólo a reaccionar frente a los cambios de coyuntura sino a tener una mirada prospectiva que permita desarrollar propuestas de cambio, gestionarlas y evaluarlas. Entre otros importantes valores que sostiene el Plan pueden mencionarse: (i) la superación de la pobreza y la vulnerabilidad; (ii) la ampliación de la participación ciudadana y, (iii) el desarrollo sostenible y el cuidado del ambiente.

Este Plan ordena un conjunto de programas y proyectos a escala provincial y regional, a partir de tres Líneas Estratégicas: I. Territorio Integrado; II. Calidad Social; y III. Economía del

⁴ “La gestión del agua (en la provincia de Santa Fe) está lejos de ser óptima y está atomizada”. Declaraciones públicas del actual Secretario de Recursos Hídricos Dr. Ing. Juan C. Bertoni (Reunión de Gabinete de la Secretaría de Recursos Hídricos, 26 de abril de 2017). A lo anterior puede sumarse lo expresado por el Ing. Lombó en el texto de renuncia a su cargo de Subsecretario de Coordinación de la Secretaría de Recursos Hídricos. Expte. N° 01803-0015214-5 del SIE (Sistema de Información de Expedientes de la provincia de Santa Fe).

⁵ Fuente: http://www.santafe.gov.ar/index.php/web/guia/gobernador?cat=plan_estrategico

Desarrollo. Cada línea contiene programas que reúnen y articulan conjuntos de proyectos de naturaleza afin. Dentro de la Línea II: Calidad Social, y para todo el territorio provincial figura el **programa Agua Como Derecho y Oportunidad** del que a su vez se desprenden los siguientes subprogramas y proyectos que tienen relación directa con la presente tesis: Proyecto gestión integrada de recursos hídricos, Subprograma de drenajes y retenciones, y Subprograma de evaluación y control del riesgo hídrico

1.4.2. El modelo de producción agrícola actual

Los productores conforman el tercer conjunto dentro del Grupo Responsable de actores involucrados en la gestión hídrica. Hoy en día se admite que los impactos de los fenómenos extremos no sólo son consecuencia de los eventos hidroclimáticos sino también de la acción antrópica (uso de suelo y obras de infraestructura asociadas).

En la región pampeana desde principios de la década de 1970 se registra un cambio en el uso del suelo con tendencia al incremento de la producción de oleaginosas, en particular el significativo desarrollo del cultivo de soja. Como ejemplo de ello, en la Tabla 1.2 se resume la evolución de las variables productivas más características de la actividad, para períodos elegidos (Ghida Daza, 2002). El área destinada a la siembra de la oleaginosa en nuestro país ha continuado creciendo. Entre las campañas 2003/04 y la 2012/13, la producción se incrementó de 31,5 millones de toneladas a 49,3 millones, aunque en las campañas 2008/09 y 2011/12 se registraron caídas debido a condiciones climáticas adversas. En la Figura 1.4 se observa la distribución geográfica de la intensidad de producción, así como el porcentaje alcanzado por cada provincia para el periodo 2005/6-2009/10⁶.

Períodos	Superficie sembrada (miles ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (miles t)
70/1-72/3	95,65	1.500	136,33
80/1-82/3	2.100,00	1.950	3.973,30
90/1-92/3	5.088,67	2.263	11.031,30
2000/01	10.300,00	2.530	25.500,00
2001/02 (*)	11.610,90	2.630	29.955,30

Tabla 1.2. Evolución de variables productivas relativas a la soja a nivel nacional.
(*) estimado según SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos) Julio 2002.

⁶ Fuente: http://www.fyo.com/especiales/soja13-14/estadisticas_ar.php con datos de SAGPyA

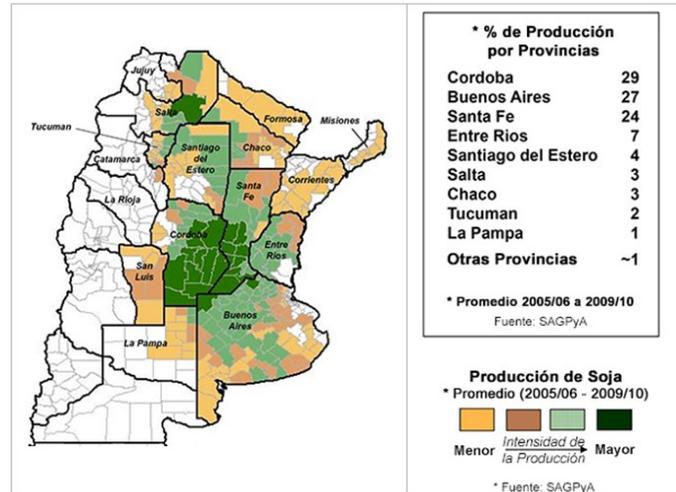


Figura 1.4. Distribución geográfica de la intensidad de producción de soja y porcentaje por provincia para el periodo 2005/6-2009/10. (Fuente: SAGPyA).

Como muestra la Figura 1.4, la provincia de Santa Fe no ha sido ajena a esta tendencia. La Figura 1.5 muestra la evolución temporal de la superficie sembrada (1974/75 – 2001/02).

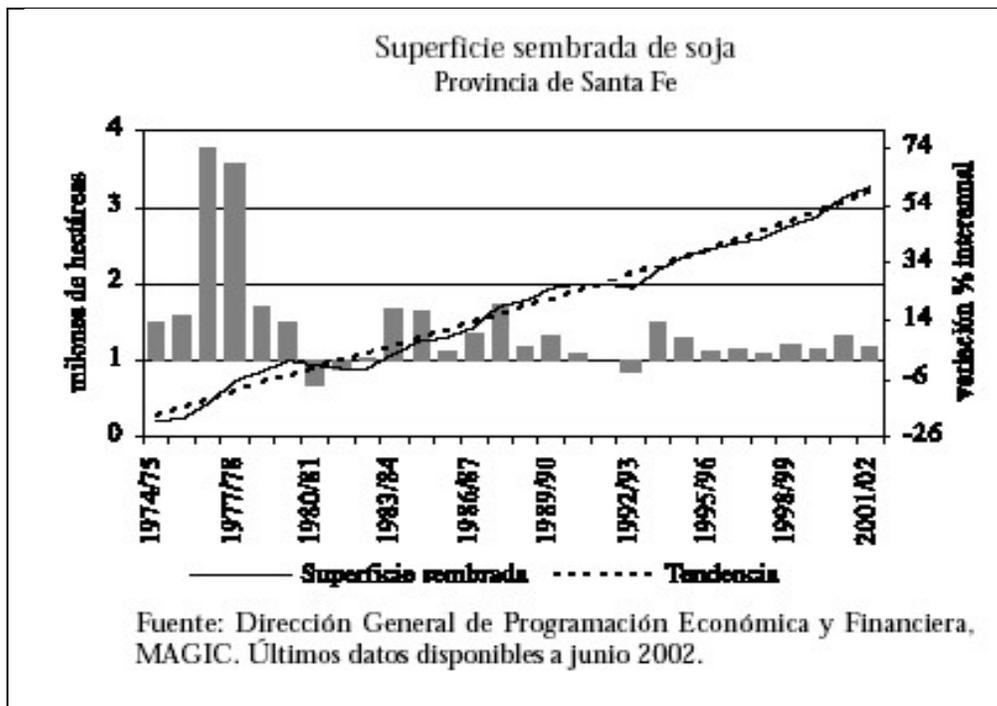


Figura 1.5. Evolución temporal de la superficie sembrada de soja (provincia de Santa Fe). (Gimbatti et al., 2002).

A partir de la campaña 2000/01 la superficie sembrada fluctuó entre 3 y 3,5 millones de hectáreas, en tanto que la producción anual ha variado entre 8 y 11,5 millones de toneladas, con un promedio de 9,77 millones de toneladas, de acuerdo a la Tabla 1.3.

CAMPAÑA	Sembrado (ha)	Cosechado (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2000/01	3.117.150	3.087.650	8.657.700	2.804
2001/02	3.212.300	3.148.850	8.350.300	2.652
2002/03	3.319.000	3.260.000	10.223.500	3.136
2003/04	3.558.000	3.531.500	9.141.950	2.589
2004/05	3.531.100	3.483.587	10.448.196	2.999
2005/06	3.553.290	3.524.318	10.275.415	2.916
2006/07	3.474.600	3.433.555	11.295.735	3.290
2008/09	3.440.864	3.354.964	8.082.856	2.409
2009/10	3.079.275	3.074.975	10.432.721	3.393
2010/11	3.107.737	3.094.737	9.741.349	3.148
2011/12	3.107.800	3.007.800	8.176.630	2.718
2012/13	3.173.500	3.168.000	10.509.390	3.317
2013/14	3.254.768	3.209.368	9.958.834	3.103

Tabla 1.3. Área sembrada y producción de soja en la Provincia de Santa Fe, serie 2000/01-2013/14 (Fuente: http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca).

De acuerdo con una publicación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA – Agencia Rafaela (2008), la provincia de Santa Fe integra la región agrícola-ganadera e industrial de la República Argentina que concentra gran parte de la población del país, ocupando el segundo lugar en el aporte al PBI agropecuario nacional, con una proporción del 18% y representa el 21% del área sembrada del país. Es la primera productora de oleaginosas y segunda en relación a la producción de cereales. Particularmente el sector central de la provincia posee una variabilidad climática y de suelos que no garantizan la rentabilidad de una agricultura pura, pero puede incluirse dentro de sistemas mixtos basados en la ganadería lechera y/o de invernada, aportando alrededor del 35% de la producción láctea nacional y del 50% de la producción de carne bovina de la provincia.

1.5. Motivación

Para evitar pérdidas por inundaciones en el sector agropecuario, la exigencia de los productores en particular y de la sociedad en general es la de continuar con la ejecución de obras de canalización por parte del estado, a través de recursos provinciales. Hasta el momento son prácticamente nulos los resultados de los esfuerzos por tratar de producir un ordenamiento territorial que tenga en cuenta la capacidad de uso de los suelos o destinar esfuerzos a la retención y gestión del escurrimiento superficial a través de la implementación de otro tipo de medidas, tendientes a conservar el agua en la cuenca, lo que a su vez permitiría, bajo ciertas condiciones, mitigar los impactos de los recurrentes periodos de sequía.

Dado que las obras siempre ofrecen un grado de protección limitado, es necesaria la aplicación de un enfoque más amplio: la incorporación de medidas no estructurales con fuerte vinculación a la gestión ambiental, como por ejemplo: el manejo integral de cuencas; el diseño y puesta en funcionamiento de planes de ordenamiento territorial; la implementación de programas de

capacitación y educación en reducción de riesgos y de sistemas de alerta temprana y evacuación, entre otras (Menzel y Kundzewicz, 2003). La correcta implementación de medidas no estructurales en concordancia con las estructurales, puede reducir significativamente los perjuicios causados por las inundaciones con un costo mucho menor (Tucci et al., 1993; Maksimovic y Todorovic, 1998).

Un Plan de Ordenamiento de cuencas debe tener estrecha relación con otros planes sectoriales. Como mínimo es necesario tener en cuenta la planificación vial -en llanuras las obras viales se comportan como obras hidráulicas por su interferencia con el medio-, la planificación en el área de producción -la planificación de siembras depende de los mercados y se presenta como la más dinámica de las variables que afectan el uso del suelo, lo que a su vez tiene impacto en la respuesta hidrológica- y la planificación ambiental.

Como reflejo de lo que ocurre a nivel nacional, a pesar de las acciones llevadas a cabo por los organismos responsables del Estado Provincial en cuanto al mantenimiento de las obras de defensa contra inundaciones, ya sea por Administración o por Terceros, como así también mediante convenios con municipios y comunas, los resultados obtenidos no cubren las reales necesidades que dichas obras requieren para garantizar el correcto control y mantenimiento de las mismas (DPOH, 2003a). Esto hace pensar que se deberían buscar otras formas para llevar a cabo dicha tarea de manera más eficiente y eficaz.

Surge entonces la pregunta: ¿es posible desde la Gestión Ambiental hacer propuestas tendientes a mejorar esta situación? La respuesta es positiva. En los Principios Rectores de Política Hídrica Argentina -se expresa que⁷ “**3. Articulación de la gestión hídrica con la gestión ambiental.** *La preservación de un recurso natural tan esencial como el agua es un deber irrenunciable de los Estados y de la sociedad en pleno. La gestión de los recursos hídricos y las cuestiones ambientales están tan altamente relacionadas que no cabe admitir administraciones estancas entre ambos sectores. De ello se desprende la necesidad de otorgarle al manejo de los recursos hídricos un enfoque integrador y global, coherente con la política de protección ambiental, promoviendo la gestión conjunta de la cantidad y calidad del agua. Ello se logra mediante la actualización de las normativas, más una sólida coordinación intersectorial y acuerdos institucionales que fortalezcan la articulación de la gestión hídrica con la gestión ambiental, actuando en el marco constitucional vigente.*”

Se plantea como **área de estudio**⁸ la cuenca del A° Cululú, tributario del río Salado en su cuenca baja, por ser representativa de los problemas arriba mencionados y por incluir en su territorio a 6 (seis) Comités de Cuenca (su rol se discutirá más adelante). El área de aportes del A° Cululú se enmarca en el sector central de la provincia, aunque una delgada franja de ancho variable, correspondiente a la cabecera se ubica en la provincia de Córdoba, cubriendo

⁷ Fuente: http://www.corebe.org.ar/NORMATIVA/principios_rectores_de_politica_hidrica.htm

⁸ En el Capítulo 4. se brinda una caracterización hidrológica e hidráulica más detallada.

aproximadamente 9500 km². La red de drenaje natural de 210 km de longitud es fuertemente asimétrica, que se completa con una extensa red de canales artificiales de más de 1000 km. Desde los inicios de su construcción en la década de 1930, esta red ha sido ampliada a lo largo de los años con redes de drenaje menores o locales (DPOH-FICH, 1995; Ferreira y Rodríguez, 2013).

Se ha verificado que existe una contribución significativa de los caudales del A ° Cululú a los picos de crecida del río Salado en la Ruta Prov. N° 70. Esta cuenca produce picos de gran magnitud y rápida respuesta, debido a sus características morfológicas. La influencia del A ° Cululú es alta, además, porque desagua próximo a la sección de control mencionada (Pedraza et al., 2007).

En consecuencia, la pregunta que esta tesis pretende responder es: ¿se puede regular el impacto negativo de eventos pluviométricos extremos concentrados en una región, como la cuenca del Arroyo Cululú, a través de la implementación de obras de regulación y el establecimiento de normas para su manejo y operación?

1.6. Objetivos

1.6.1. General

Formular un plan para gestionar los escurrimientos superficiales mediante la ejecución y posterior operación de estructuras de regulación, de manera conjunta entre la SRH y los Comités de Cuenca, con miras a mitigar principalmente los efectos indeseados de las inundaciones y en menor grado, los impactos de las sequías. Esta intervención será acompañada de la propuesta de un plan de manejo tendiente a aumentar los beneficios y reducir los perjuicios provocados por la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones. Las obras a proponer deberán ser capaces de controlar de manera total eventos que generen caudales en la sección de salida con recurrencias de entre 2 y 100 años.

1.6.2. Particulares

- Estimar el incremento en el escurrimiento superficial en función de los aumentos experimentados en las precipitaciones y de los cambios en el uso de suelo.
- Verificar la eficacia de obras de detención (propuestas a nivel de prefactibilidad) en la reducción de caudales pico de crecidas provocadas por eventos aislados mediante modelación matemática.
- Proponer un mecanismo de cooperación entre los Comités de la Cuenca del A ° Cululú, para la toma y difusión de datos hidrométricos y pautas para el manejo en situaciones de excedentes hídricos.

- Generar las bases para la conformación de un organismo de cuenca que esté delimitado por los límites físicos de la cuenca hidrográfica y no por las divisiones distritales como existen actualmente.

1.7. Contenido de la tesis

La presente tesis está conformada por siete capítulos. En el Capítulo 1 se presentó una introducción a la problemática y una descripción general acerca de los impactos negativos de las inundaciones y las sequías. Asimismo, se realizó un análisis sintético del modelo de producción actual, los actores involucrados y aspectos institucionales de la gestión de los recursos hídricos en la provincia de Santa Fe. Se introdujo el área de estudio y se presentaron la motivación, el objetivo general y los objetivos particulares.

En el Capítulo 2 se presenta el marco teórico y se introducen los conceptos operativos que sustentan el desarrollo de la tesis. Se repasan conceptos de gestión de cuencas hidrográficas, de información hídrica para la toma de decisiones, de gestión participativa y de hidrosolidaridad. Finalmente se plantea la articulación de los conceptos operativos previamente definidos y discutidos.

En el Capítulo 3 se describe la metodología empleada para alcanzar el objetivo general y los objetivos particulares. Su desarrollo se plantea en distintos pasos: recopilación de antecedentes; elaboración del mapa de actores; análisis de series de precipitación y caudal a paso mensual; modelación de la cuenca para escenarios históricos, actuales y de proyecto. Finalmente se esboza el análisis de casos exitosos de gestión de cuencas en el extranjero.

En el Capítulo 4 se describe la cuenca del A° Cululú, su población, infraestructura, dinámica hídrica y red de drenaje. En particular sobre la red artificial se profundiza en su evolución histórica y se comentan los resultados de su modelación hidráulica realizada previamente, fuera del marco de esta tesis. Además, se describe someramente la red de medición hidrológica y el régimen de precipitaciones, de escurrimiento superficial y de niveles freáticos, así como el uso del suelo.

En el Capítulo 5 se presentan, analizan e interpretan los resultados de la aplicación de la metodología: (i) el mapa de actores, con una detallada descripción de los actores responsables, (ii) el análisis de información a nivel mensual de precipitaciones y caudales de salida registrados en estaciones de la cuenca; (iii) la modelación de la cuenca para eventos aislados, para definir la efectividad de las obras de regulación planteadas, donde previamente se calibra y verifica el modelo para la situación actual y la preexistente en la década de 1980.

En el Capítulo 6 se propone un Plan para la creación de un Organismo de Cuenca de acuerdo a la Ley de Aguas de la provincia de Santa Fe. Previamente se describen casos de gestión

ambiental de cuencas en Brasil e Italia, destacando aquellos factores que podrían ser adoptados en el planteamiento de un manejo adecuado en la cuenca de estudio. En el funcionamiento del organismo para la cuenca del A° Cululú, se propicia la amplia participación de todos los actores, y se describen las principales características del mismo.

En cada capítulo se plantean conclusiones y recomendaciones parciales, en tanto que en el Capítulo 7 se presentan las conclusiones y recomendaciones finales de la tesis. El documento es acompañado con información complementaria en Anexos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

Durante las últimas tres décadas el mundo entero ha sido impactado por innumerables eventos hidrológicos, que dieron lugar a catástrofes de todo tipo y que alcanzaron una escala tal que atrajeron la atención y el interés de la comunidad internacional. En países de todos los continentes y con diversos grados de desarrollo, se registraron incontables pérdidas de vidas humanas, así como enormes daños a bienes privados, públicos y a la infraestructura. Sólo basta mencionar ejemplos tales como: (i) Noviembre 1994: Piamonte, Italia; (ii) Enero 1995: centro y norte de Europa (Países Bajos, Alemania y Francia); (iii) Julio 2005: Mumbai, India; (iv) Mayo 2010: Tennessee, EE.UU; (v) Mayo 2014: Sudeste de Europa, entre otros. En la República Argentina, entre los eventos hidrológicos catastróficos relativamente recientes pueden mencionarse: Santa Fe 2003, Buenos Aires 2007 y La Plata 2014.

Es evidente que el cambio climático está incrementando la recurrencia de eventos naturales extremos, tales como sequías e inundaciones, lo que hace cada vez más necesario incorporar el tratamiento de este problema en el accionar de las instituciones vinculadas al sector hídrico. Como consecuencia de los eventos de inundaciones y con el objetivo de reducir esas importantes y recurrentes pérdidas, desde principios de 2000 existe un cambio en la política y la gestión hídrica en países europeos, impulsados principalmente por Holanda (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2000) y Alemania. El mismo consiste en “crear espacio para el agua y evitar el drenaje hacia aguas abajo”, incluso a través de acuerdos transfronterizos como el Plan de Acción para la Defensa frente a las Inundaciones, aprobado por la Comisión Internacional del Rin en 1998, y destinando recursos monetarios específicos para ese objetivo (De Vries, 2001).

Dicha premisa básica -conservar el agua en el lugar donde cae para reducir los impactos de su traslado hacia aguas abajo- está estrechamente vinculada al concepto de gestión de cuencas hidrográficas. Son técnicas bien conocidas que tienen muchas décadas de vigencia, pero con dificultades para ser aplicadas. Dourojeanni y Jouravlev (1999) mencionan que la motivación para la gestión de cuencas *“se incrementa (y en general disminuye poco después) luego de la ocurrencia de fenómenos naturales extremos o graves conflictos entre usuarios ... Desde que existe el entendimiento de que un buen manejo de cuencas es crucial para mitigar el efecto de los fenómenos naturales. ¿Por qué no se aplican sus principios en forma amplia? Los mayores obstáculos no son precisamente los técnicos sino principalmente los de carácter político y social. Estos incluyen: (i) la falta de coordinación institucional para el manejo de cuencas; (ii) la sub-valorización de servicios ambientales; y (iii) la pobreza rural y urbana”*. Los mismos autores advierten que: *“La falta de líderes y de mecanismos institucionales adecuados para*

aplicar y operar técnicas de gestión de cuencas ... es la principal causa del fracaso de las iniciativas.”

2.2. Problemática de la región pampeana – caso Santa Fe

Desde principios de la década de 1970, en la región pampeana, cambió el uso del suelo por el incremento de la producción de oleaginosas, lo que trajo aparejado una modificación en la relación precipitación/escorrimento superficial/recarga. En sectores del sureste de la provincia de Córdoba afectados por estos cambios, el incremento en el potencial de escurrimiento fue calculado entre un 2% y un 38% para el periodo 1986/99 (Cisneros et al., 2005).

Zimmermann et al. (2001) estudiaron los cambios en la respuesta hidrológica de la cuenca del A° Ludueña, la que en la década de 1970 pasó de una economía sustancialmente ganadera a una agricultura extensiva. Estos autores encontraron una reducción paulatina del tiempo de concentración de la cuenca a lo largo del tiempo, del orden del 30%. A su vez compararon las retenciones del sistema entre 1970 y 1990 hallando una reducción algo superior al 30 %.

Por su parte, García et al. (2014) presentaron un caso de estudio que abarca parcialmente el sur de la provincia de Santa Fe (cuenca alta del río Salado de provincia de Buenos Aires) a través de modelación matemática. Los autores advirtieron que el aumento de las áreas con producción agrícola, en detrimento de áreas ganaderas, produce un incremento generalizado de los niveles freáticos en toda la cuenca. Además, verificaron que el uso del suelo en un determinado lugar, influencia los niveles freáticos de los alrededores.

Por otro lado, como resultado del cambio climático, la zona central del país experimentó una tendencia creciente en los montos de precipitaciones anuales durante algunas décadas. Si se toman en consideración los promedios anuales de las series previas a 1970 y los promedios de los años posteriores, existe en todos los casos un porcentaje de incremento en los promedios para las series más recientes. En el caso de la provincia de Santa Fe los mayores porcentajes de incremento se registraron al Oeste.

En la provincia de Santa Fe existe un gradiente de precipitación anual en el sentido Este-Oeste, de 1200 mm a 900 mm (serie 1971/2000). El incremento generalizado de los montos anuales de precipitación, se verificó en toda la provincia y se expresó en el desplazamiento de las isohietas hacia el oeste, con un aumento del orden del 25% en los montos anuales en los últimos 30 años del siglo XX en comparación con los promedios del periodo 1941-1970. A su vez, en la distribución mensual de las precipitaciones los cambios más significativos se produjeron en los dos trimestres más lluviosos. Para la cuenca del río Salado esos porcentajes varían entre 12 % (Santa Fe) al 22% (Tostado) (ProCiFe, 2003).

Este panorama se agrava debido al mayor número de eventos pluviométricos concentrados arealmente, de montos elevados (Canziani 2003; FICH 2006). Tal situación tiene como efecto directo, por un lado, la aparición de mayores caudales máximos y volúmenes escurridos, y por otro un incremento de niveles freáticos promedio, que puntualmente en algunos cascos urbanos, llegan a estar próximos a la superficie del terreno (DPOH-FICH 1995; DPOH 2003b; Ferreira y Rodríguez 2005b; Ferreira et al., 2009), contribuyendo a empeorar las situaciones de inundación.

Para mitigar impactos negativos en el sistema productivo rural y en áreas urbanas deberán implantarse desde el estado acciones sobre el medio que tiendan a una adecuada **gestión de las cuencas hidrográficas**, revirtiendo la tendencia actual de accionar sobre los efectos, esto es, la respuesta a la inundación con más obras de canalización, para actuar sobre las causas del problema, incorporando en las decisiones principios tales como la **conservación del agua de lluvia en los lugares donde cae** —o se acumulaba naturalmente— y fomentando la aplicación y desarrollo del concepto de **hidrosolidaridad**. Se deben explorar las posibilidades de mitigar los impactos negativos regulando los escurrimientos a través de una coordinación con los actores y mediante el manejo de la infraestructura de drenaje. Para ello son necesarios algunos cambios en los actuales esquemas de gestión, que deberán apoyarse en **más y mejor información hídrica para la toma de decisiones**, que promueva además la formación y participación de los usuarios de la cuenca, a través de la **gestión participativa**, entendida como un proceso de aprendizaje que sirve para mejorar las capacidades conjuntas de análisis, reflexión y acción entre todos los implicados.

2.3. Desarrollo de los conceptos operativos

En el presente apartado se definen y discuten los conceptos operativos que sustentan el marco teórico de la tesis, mencionados más arriba. Estos son:

- Gestión de cuencas hidrográficas y conservación del agua,
- Información hídrica para la toma de decisiones,
- Gestión participativa,
- Hidrosolidaridad.

2.3.1. Gestión de cuencas hidrográficas y conservación del agua

Entre las Conclusiones Generales del II Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas (FAO, 1996) se expresa que *“América Latina a pesar de contar con una gran riqueza de recursos naturales y un potencial de desarrollo altamente satisfactorio, se encuentra actualmente en una situación crítica debido al acelerado proceso de degradación de los recursos naturales”*. Además se agrega que: *“La cuenca hidrográfica se presenta como la*

unidad natural e ideal de planificación del desarrollo, en donde es posible encontrar soluciones a escala real de los problemas identificados por los países del mundo, a saber: el futuro de los bosques, la escasez y calidad del agua, los cambios climáticos, el manejo de ecosistemas frágiles, y la conservación de la diversidad biológica.”

Del mencionado documento puede extraerse que la gestión de cuencas es el proceso participativo de la población y usuarios de una cuenca formulando, manejando y ejecutando un conjunto integrado de acciones sobre el medio natural y la estructura social, económica, institucional y legal de una cuenca, para alcanzar los objetivos específicos requeridos por la sociedad.

Por otro lado, y de acuerdo con Dourojeani (1996), el hombre ejecuta diariamente numerosas acciones en las cuencas hidrográficas, lo que no implica que dichas acciones se constituyan automáticamente en parte de un proceso de gestión a nivel de cuencas y menos aún, que sean integradas. Está claro que para que formen parte de un proceso de gestión de cuencas, esas acciones deben estar previamente coordinadas entre sí considerando su efecto conjunto en la dinámica de la cuenca y en sus pobladores. Además, no es necesario coordinar todas las acciones que se ejecutan en una cuenca, sólo algunas acciones requieren pasar por este proceso, por ejemplo, las decisiones para el control de inundaciones o para el uso múltiple del agua de una cuenca. Para que el proceso de gestión a nivel de cuencas sea “integrado” las acciones a ejecutar deberán permitir la obtención de beneficios tanto en el aspecto productivo como en el aspecto ambiental, considerando el comportamiento de la cuenca.

La gestión de una cuenca se apoya en la conjugación de dos grupos de acciones complementarias: un grupo de acciones orientadas a aprovechar los recursos naturales presentes en la cuenca (usarlos, transformarlos, consumirlos) para asistir al crecimiento económico, y otro grupo de acciones orientadas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos, protegerlos) con el fin de asegurar la sustentabilidad del ambiente. Estos dos grupos de acciones deben ejecutarse con la participación de los actores, ya sean habitantes o con intereses en la cuenca, con el fin de tender hacia la equidad (Dourojeani, 1996).

Las actividades de gestión son muy variadas, por lo cual reciben diferentes nombres, pueden enumerarse los más utilizados:

- Administración de cuencas.
- Manejo de cuencas.
- Ordenamiento de cuencas.
- Desarrollo de recursos hídricos.
- Protección y recuperación de cuencas.

Dourojeani (1996) advierte que las acciones que involucran cada uno de los enfoques precitados difiere dependiendo del lugar donde se aplican, también cambia el sentido de los términos según sea el profesional, la entidad o el programa que lo utilice. Por ejemplo: administración, manejo, ordenamiento y gestión, pueden ser traducciones equivalentes a la palabra “management” del idioma inglés. De esta manera, las tres primeras actividades citadas, así como el término “gestión de cuencas”, provendrían de diferentes –pero equivalentes- traducciones de “watershed management”.

Además, es lógico pensar la gestión de cuencas como un proceso, cuyas etapas pueden discriminarse como:

- (i) Previa: estudios, formulación de planes y proyectos;
- (ii) Intermedia: inversión para la habilitación de la cuenca con fines de desarrollo del hombre, desarrollo de cuencas o desarrollo de recursos hídricos o hidráulicos;
- (iii) Permanente: operación y mantenimiento de las obras construidas y manejo y conservación de los recursos y elementos naturales.

Los objetivos de la gestión varían en función de la cantidad de elementos y recursos naturales considerados en el proceso de gestión de una cuenca. El elemento básico a incluir son los recursos hídricos. Los objetivos más abarcativos considerarían todos los elementos y recursos naturales presentes en la cuenca. Finalmente, los objetivos de máxima comprenderían a todos los elementos, recursos e infraestructura construida por el hombre.

La Tabla 2.1 presenta un cuadro en forma de matriz, adaptado de Dourojeani (1996), estableciendo la relación entre las etapas del proceso de gestión de cuencas y los objetivos de la misma. En función de las etapas, y teniendo en cuenta a los recursos hídricos como objetivo de la gestión de cuencas, se listan en la Tabla 2.2, de manera no taxativa, las acciones principales y complementarias (adaptada de Beekman, s/f.).

ETAPAS	OBJETIVOS DE GESTIÓN EN CUENCAS		
	Aprovechamiento y manejo de los RECURSOS HIDRICOS	Aprovechamiento y manejo de TODOS LOS RECURSOS NATURALES	Aprovechamiento y manejo integrado de TODOS LOS RECURSOS NATURALES y de la INFRAESTRUCTURA CONSTRUIDA
Previa	Estudios, Planes, Proyectos (Ordenamiento de cuencas)		
Intermedia	Desarrollo o aprovechamiento de recursos hídricos	Desarrollo o aprovechamiento de recursos naturales	Desarrollo integrado de cuencas
Permanente	Gestión/Administración del agua	Gestión/Administración de recursos naturales	Gestión Ambiental de Cuencas

Tabla 2.1. Objetivos y etapas de la gestión de cuencas (modificado de Dourojeanni, 1996).

ETAPAS	ACCIONES PRINCIPALES	ACCIONES COMPLEMENTARIAS
Previa	Elaboración de estudios, planes y proyectos de aprovechamiento.	<p>Relevamiento de informaciones y estudios previos. Inventario de aguas. Estudios de recursos naturales.</p> <p>Análisis de consistencia y representatividad de datos. Análisis estadístico: medias, máximas y mínimas (extremos hidrológicos). Balance hídrico. Modelos de simulación hidrológica e implementación de un SIG.</p> <p>Evaluación de la situación operacional de las redes de medición existentes. Proyectos de recuperación y mejoramiento de las redes. Instalación de nuevas estaciones de monitoreo.</p> <p>Catastro de obras pre-existentes. Estudio y evaluación del desempeño de la infraestructura existente.</p> <p>Proyectos a nivel de prefactibilidad y de factibilidad.</p> <p>Planes de monitoreo ambiental.</p>
Intermedia	Ejecución de los proyectos de aprovechamiento.	<p>Diseño de proyectos ejecutivos.</p> <p>Ejecución de obras y otras intervenciones.</p> <p>Inspección y supervisión.</p> <p>Ampliación, operación y mantenimiento de estaciones de monitoreo hidrológico y ambiental.</p>
Permanente	Administración y manejo de los elementos y recursos de los objetivos de la gestión.	<p>Operación y mantenimiento de obras hidráulicas. Reparación y mejoramiento de obras y equipamiento.</p> <p>Ampliación, operación y mantenimiento de estaciones de monitoreo. Organización de usuarios del agua. Ordenamiento del uso de los recursos de la cuenca. Preservación y protección de los recursos hídricos de la cuenca. Recuperación y conservación de recursos naturales de la cuenca. Vigilancia y control ambiental.</p>

Tabla 2.2. Acciones principales y complementarias de la gestión (adaptada de Beekman, s/f).

Para Beekman (s/f), el proceso de gestión de la cuenca hidrográfica comprende las siguientes etapas o fases: conceptualización; planeamiento; proyecto de ingeniería; implementación, construcción y operación. Además, considera que las etapas “...están intrínsecamente asociadas, superpuestas y frecuentemente son concomitantes. En sistemas de gestión que presentan buen desempeño estas etapas son evolutivas, continuas e iterativas. Durante las fases posteriores de desarrollo, se generan nuevas informaciones que pueden retroalimentar las

etapas anteriores en un proceso de feedback...”. Esquemáticamente las interacciones o interrelaciones pueden ser presentadas como en la Figura 2.1.

De la Tabla 2.2 se destacan las acciones vinculadas con la generación de espacios para conservar el agua procurando reducir los impactos de su traslado hacia aguas abajo y lograr beneficios del agua almacenada (p.ej.: Preservación y protección de los recursos hídricos de la cuenca). Esta técnica se basa en retener, retardar y regular los aportes de las partes altas y medias de las cuencas, en depresiones naturales o artificiales, mediante el aumento de su capacidad de almacenamiento y/o la modificación del umbral para el cual se produce el desborde del almacenamiento. El régimen del flujo superficial se caracteriza por su variabilidad en el tiempo. El almacenamiento de ese flujo es una técnica universalmente aplicada como una forma de mitigar el impacto negativo de los periodos de escasez, y adicionalmente reducir los daños provocados por los picos de crecida. La capacidad de regulación de las obras de retención está dada por el volumen de almacenamiento disponible. El uso para el cual está destinado el reservorio influye en los planes para la evacuación de los volúmenes almacenados (Hey, 1986).

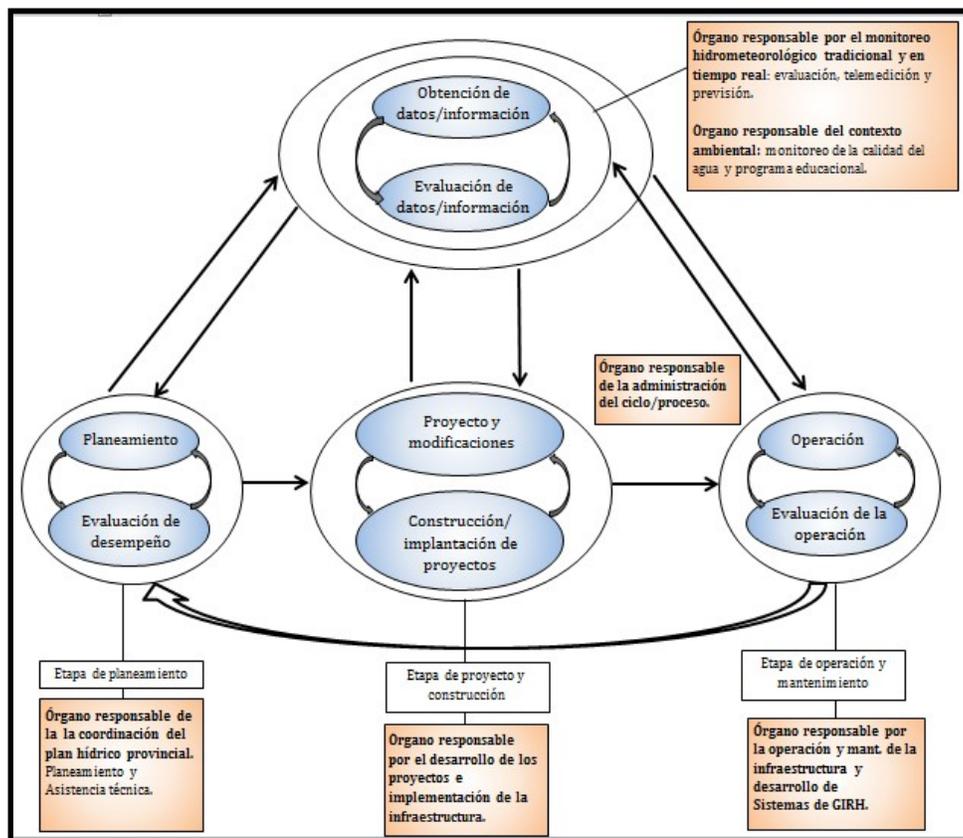


Figura 2.1. Sistema de gerenciamiento (Ciclo/Proceso) de recursos hídricos. Adaptado de Beckman (s/f).

Por su parte, la retención o detención del agua de lluvia es un principio muy utilizado en hidrología urbana desde hace varias décadas denominadas “soluciones no convencionales de drenaje urbano” (Maksimovic y Todorovic, 1998). En estos casos la retención o detención del agua toma vital importancia porque es una medida tendiente a compensar el incremento de caudales por la impermeabilización de las cuencas en las áreas urbanas y las obras de drenaje que disminuyen los tiempos al pico. Bajo este enfoque, el drenaje urbano es concebido como un subconjunto de la gestión, que puede ser interrelacionado con otros propósitos, tales como el control de crecidas, la mejora de la calidad del agua, la recarga de agua subterránea, la recarga de humedales, la creación de espacios abiertos para recreación, el control de erosión y el almacenamiento de agua para distintos usos. El abordaje de estos problemas se realiza de manera interdisciplinaria, ya que involucra aspectos ingenieriles, ambientales, legales, económicos y sociales. La regulación de caudales en cuencas urbanas pasó a ser una práctica común en urbanizaciones pequeñas y grandes de países desarrollados y su uso se incorporó en planes directores de drenaje urbano.

Entre las mayores ventajas de estas técnicas, Maksimovic y Todorovic (1998) plantean las siguientes: se utilizan las áreas de almacenamiento natural con el propósito de mitigar las crecidas, se reducen los caudales aguas abajo, las áreas inundables pueden ser utilizadas con objetivos de producción agrícola durante periodos secos, son de construcción simple y económica. A su vez entre las principales desventajas, los autores expresan que estas medidas pueden sufrir daños cuando soportan una crecida, los habitantes de estas zonas pueden estar en riesgo si la operación de la obra no es la adecuada, la efectividad está limitada por la capacidad del almacenamiento disponible y del drenaje residual de las instalaciones. A estas desventajas se debe agregar que pueden contribuir al desarrollo de vectores que ponen en riesgo la salud humana, lo cual se mitiga con un adecuado planeamiento y control de la obra.

En ámbitos rurales, la ejecución de estas obras de retención puede vincularse con cuerpos lagunares permanentes o temporarios de cierta importancia, intentando restablecer umbrales de desborde fijados por la geomorfología, pero con la posibilidad de su manejo operacional. Desde el punto de vista ambiental, aunque sean pequeños reservorios que se forman al regular el paso del agua, tienen ventajas ya que cumplen funciones de soporte a la vida silvestre, incluso algunas funciones aún no estudiadas en profundidad (Odum y Sarmiento, 1998). Estas zonas de regulación pueden estar

conectadas a través de canales (o caminos), los cuales trabajan como corredores biológicos que facilitan el intercambio continuo de organismos, por esta razón las ventajas ambientales de los reguladores se potencian. Los corredores biológicos son elementos lineales diseñados con múltiples objetivos compatibles con el concepto de uso sustentable del territorio. Proporcionan conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitats (naturales o modificados) para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y de los procesos ecológicos y evolutivos. El rol de las redes de drenaje en estos casos es fundamental (Ahern, 1995), y constituyen una medida estratégica de conservación en la gestión de las cuencas hidrográficas (Boraschi, 2009).

En definitiva, considerando la cuenca como unidad de planificación, inserta en un área de llanura como la que nos ocupa, la gestión de la misma será un proceso con participación de todos los actores involucrados, que debe partir de una adecuada combinación de acciones estructurales y no estructurales, que contemple la alternancia de inundaciones y sequías; su impacto ambiental; los costos y beneficios económicos; y la relación con la infraestructura existente, el desarrollo regional y el ordenamiento territorial.

2.3.2. Información hídrica para la toma de decisiones

Los datos hidrometeorológicos son una fuente de información básica para estudios interdisciplinarios diversos, lo que implica que las redes de medición son una herramienta fundamental para el desarrollo técnico, científico y socio-económico de un territorio y su gestión.

Las principales variables hidroclimáticas que se registran en redes de estaciones meteorológicas y aforos o sistemas de alerta de información hidrológica son: precipitación, evaporación, radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento, caudal, niveles y presión atmosférica García-Marín et al. (2014). Toda medición está afectada por diversos tipos de errores de una magnitud variable. Por ello las series de datos deben ser validadas como requisito previo a cualquier tipo de aplicación.

No obstante la importancia del registro de datos hidrometeorológicos como fuente de información para variadas aplicaciones, los profesionales y técnicos vinculados a los recursos hídricos advierten de manera permanente la necesidad de fomentar más y

mejores redes de medición, sobre todo en el contexto actual de variabilidad y cambio climático (Aldana Valverde, 2016).

En concordancia con lo expresado por García-Marín et al. (2014), la disponibilidad de observaciones hidrometeorológicas terrestres ha disminuido en forma significativa en algunas regiones (y en otras directamente nunca se llevaron a cabo), debido a la falta de decisión política, a los escasos presupuestos, al deficiente mantenimiento de estaciones, al vandalismo, entre otros. Sin embargo, paralelamente en las últimas décadas se ha incrementado notablemente la disponibilidad de estimaciones por sensores remotos de variables relevantes para la hidrología.

Los sensores remotos permiten hoy estimar, con menor o mayor precisión, variables como la lluvia, humedad del suelo, evapotranspiración, elevación de la superficie del agua, temperatura, velocidad del viento, topografía y algunos parámetros de calidad del agua (García-Marín et al., 2014). También permiten estimar, bajo ciertas condiciones, la posición del nivel freático medio mensual en áreas de llanura (Ferreira et al., 2012).

Un desafío importante en el uso de las estimaciones remotas de variables hidrológicas es su representatividad de las observaciones *in situ*. Por ejemplo, las observaciones de un pluviómetro representan la lluvia en unos pocos centímetros cuadrados y con intervalos de tiempo que varían de un día a segundos, con una caracterización espacial de la lluvia limitada en función del número de pluviómetros, y a menudo no disponibles en tiempo real. Las estimaciones de la lluvia por satélite son medidas indirectas y suelen tener resoluciones espaciales entre $0,04^\circ$ y $0,25^\circ$ – donde un valor de precipitación es representativo para una celda de $\sim 16 \text{ km}^2$ a 625 km^2 respectivamente – y pasos de tiempo desde media hora, a tres horas o un día. Por su parte, por medio del radar meteorológico es posible registrar eventos de precipitación a escalas menores que con el satélite, dentro de un radio aproximado de 180 km. Otra gran ventaja es la posibilidad de cuantificar la precipitación en forma casi continua, tanto en el tiempo (ej.: c/ 5 min.) como en el espacio (ej.: menos de 1 km^2). La obtención de información a escala nacional o continental requiere el empleo de redes de radares, así como de una fuerte capacidad de procesamiento y de transmisión de la información y experticia en herramientas operativas, al fin de elaborar los datos provenientes de los diferentes sitios. Estas diferencias suponen una dificultad para evaluar y validar estas estimaciones, y muchas veces la mejor representación de la “lluvia verdadera” es una asimilación de los

dos tipos de datos: las medidas puntuales directas, y los satélites (o los radares meteorológicos) que brindan la distribución espacial.

Por otro lado, de acuerdo con Crespi (1996), un elevado número de las actividades que se desarrollan sobre el territorio son caracterizadas por una marcada interacción con los fenómenos meteorológicos. Las exigencias de racionalización y toma de decisiones requieren de organizaciones y tecnologías en un nivel que permitan asegurar elevada resolución espacio-temporal de datos y disponibilidad oportuna de información, para contribuir a una adecuada gestión de los sistemas socio-productivos y ambientales.

2.3.2.1. El caso de la provincia de Santa Fe

En la cuenca del río Salado la precipitación se registra con altibajos desde hace varias décadas. Por otro lado, los registros hidrométricos se iniciaron en la década de 1950, pero lamentablemente en la década de 1990, en consonancia con una política de alcance nacional, estas mediciones fueron abandonadas causando un perjuicio notable (varios años sin registros). A su vez, los niveles freáticos se miden de manera muy escasa, destacándose el registro en la estación INTA Rafaela, que se acerca a los 50 años de datos.

La falta de adecuada información hidrológica está considerada entre los factores agravantes del desastre ambiental ocasionado por la catastrófica crecida del río Salado en 2003 (DPOH, 2003a; Ferreira, 2006; Vionnet et al., 2006). Debido a la reacción de la sociedad santafesina en su conjunto, luego de la crecida, los gobiernos provincial y municipal dieron comienzo a una serie de acciones tratando de fomentar la prevención hídrica. Esas acciones incluyeron el establecimiento de una red telemétrica de medición hidrológica (Ferreira, 2015).

En los últimos años, las redes de medición se expandieron por el interés de otros organismos, públicos y privados. La red de medición hidrológica provincial va creciendo paulatinamente en número de estaciones y de esta manera, está cambiando el panorama expresado en los párrafos anteriores. En un trabajo impulsado por el COHIFE (Consejo Hídrico Federal), en cuanto a la cuantificación del número de estaciones de medición, que posee cada provincia argentina, se estableció que en la provincia de Santa Fe superan las 700 (setecientas), incluyendo todo tipo de estaciones y pertenecientes a diversos organismos (DGSTE, 2017).

El elevado número de estaciones no garantiza disponer de series de datos largas, ininterrumpidas y confiables. Aún no existe un banco de datos provincial que centralice

la información recopilada hace ya varias décadas. Lo importante y más adecuado para una correcta gestión del agua, es conseguir la interoperabilidad de los datos, de esta forma, se avanza no sólo en el conocimiento de las cuencas de la provincia y sus recursos hídricos, sino también en la posibilidad de un mejor aprovechamiento de esos recursos. En la mayoría de los casos, existen cuestiones que dificultan el disponer de la información de una manera completa y en tiempos breves. Es evidente que en los próximos años deberá trabajarse fuertemente en tratar de resolver estos problemas, con adecuadas acciones del gobierno provincial.

Ahora ¿qué se necesita para que dicha información sirva a la toma de decisiones? Está estrechamente ligada con este objetivo la definición de información en tiempo real. Esta se define como la información proveniente de sistemas de medición que cuentan con una transmisión del dato en un lapso tal que permita definir acciones destinadas a un determinado objetivo: alerta o control de inundaciones, previsión de sequías y mitigación de impactos negativos causados por extremos hidrológicos en general, entre otros.

Si bien en principio las redes de telemedición en las cuencas son empleadas para dar avisos ante crecidas repentinas, una vez establecidos estos mecanismos, se convierten en una poderosa herramienta de apoyo para la gestión cotidiana y permanente del recurso hídrico, particularmente en los periodos de caudales normales.

La posibilidad de que una red de canales de drenaje pueda ser monitoreada correctamente, con una frecuencia adecuada, implica un estado más avanzado de aquél logrado con la mera construcción y mantenimiento de las obras de drenaje tornándose en un manejo pasivo, dado que la información hídrica en tiempo y forma adecuados permite anticipar acciones de prevención; efectivamente, una red de drenaje por sí sola no permite ningún tipo de manejo del agua en un área determinada, sólo el asegurar – mediante tareas de control, limpieza y mantenimiento convenientes- que para la recurrencia de diseño, los impactos negativos son conocidos y están acotados.

Como ejemplo directo, en la provincia de Santa Fe, han quedado demostradas las ventajas de contar con información hídrica para la toma de decisiones en el caso de los caudales del río Salado provenientes de la provincia de Santiago del Estero. Dicha información fue un elemento fundamental para destrabar el conflicto interprovincial por las aguas del río Salado (Ferreira, 1997).

2.3.3. Gestión participativa

La participación ciudadana puede definirse como el proceso de involucramiento de la ciudadanía en forma individual y colectiva, con la finalidad de incidir en la toma de decisiones y participar en la formulación, ejecución y evaluación de políticas, programas y proyectos de carácter público en todos los niveles territoriales e institucionales para lograr el desarrollo humano sostenible, en corresponsabilidad con el Estado.

De acuerdo con Borrell (1980) se define participación ciudadana como “...el conjunto de técnicas que permiten la intervención de los ciudadanos en la organización o en la actividad de la Administración Pública, sin integrarse en las estructuras burocráticas y apartándose de las técnicas tradicionales de colaboración de los particulares con la Administración pública (concesionarios, etc.). El que participa no se convierte, por supuesto, en funcionario, ni tampoco en un colaborador benévolo o interesado. El que participa actúa como ciudadano, preocupado por el interés general, y no como interesado personal y directo; el contenido de su acción no es económico, sino político”.

Organismos multilaterales como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo consideran la participación como elemento indispensable para el desarrollo económico y social. El primero define participación ciudadana como el “proceso a través del cual los interesados influyen y controlan poder sobre las iniciativas de desarrollo y sobre las decisiones y recursos que afectan sus vidas”. El Banco Interamericano de Desarrollo, por su parte, la define como “el instrumento de empoderamiento y movilización de la gente como actores y supervisores de su propio desarrollo. Es un fin y un medio de desarrollo, que puede contribuir a crear y mantener democracias estables y buenos gobiernos, así como el crecimiento económico, promoviendo la inserción social y mejorando la sostenibilidad de los proyectos” (Instituto Interamericano para el Desarrollo Social, 1998).

En los últimos años, la participación ciudadana se ha convertido en un elemento primordial en la dinamización de los cambios de gobierno y del diseño de sus políticas públicas. En este contexto adquieren vigor todas aquellas organizaciones civiles orientadas directamente hacia la atención del interés público, tales como las Cooperativas, las Vecinales, las Asociaciones Civiles, Fundaciones, Sociedades de Fomento, Mutuales, etc.

Cabe la pregunta: ¿Qué se espera de la participación ciudadana? Entre las respuestas se puede encontrar: (i) que esté basada en decisión propia de las personas y no impuesta por la ley u otras personas; (ii) que sea garantizada a todos los ciudadanos por igual; (iii) que contribuya de manera efectiva a que los gobernantes actúen informando y rindiendo cuentas en el manejo de la cosa pública; (iv) que empodere a todos los sectores de la sociedad, asegurando a los más vulnerables los instrumentos jurídicos y políticos necesarios para colocarlos en un plano de igualdad y con ello mejorar su condición de vida; (v) que favorezca la pluralidad, ya que supone el involucramiento de todos los sectores en los asuntos de orden público y con ello garantiza la diversidad de opiniones dentro de la sociedad y el respeto a las mismas por parte de la autoridad, y (vi) que aumente la solidaridad, permitiendo la expresión de intereses superiores que llevan a la ciudadanía a actuar en procura del bien común más allá de sus intereses particulares.

En la Tabla 2.3 se sintetizan algunas ventajas y desventajas de la participación ciudadana (Borrini, 1993; Vallejo y Rivera, 2001).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrolla la capacidad de la participación responsable y amplia de la ciudadanía. • Propicia valiosos aportes de los ciudadanos a los procesos de planificación y ejecución sobre la base de su conocimiento detallado de las condiciones, necesidades y deseos locales. • Desarrolla habilidades en los ciudadanos para la administración pública. • Contribuye a la despolarización política de la sociedad al establecerse metas comunes. • Facilita la ejecución de los planes y programas, en la medida de que los ciudadanos estarán más deseosos de aceptar y trabajar para la realización de los proyectos con los resultados esperados si ellos mismos han contribuido a planearlos, puesto que comprenderán mejor las razones que los justifican. • Tiene un valor democrático, pues les facilita exigir sus responsabilidades a los funcionarios, electos o designados. • Contribuye a una mayor transparencia en la administración pública. • Aumenta la confianza de la ciudadanía en el sistema político y combate la apatía política. • Contribuye a un mayor compromiso, más cuidado, creatividad e independencia para la resolución de los problemas que afectan a la sociedad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los gastos gubernamentales se pueden incrementar debido al costo que implica el mantener una opinión pública plenamente informada y, en algunos casos, dar cabida a los referéndums. • Las demandas de los ciudadanos para la realización de estudios adicionales, en casos de impacto ambiental, por ejemplo, puede demorar la preparación y ejecución de los planes de gobierno. • Los ciudadanos pueden no ser competentes para juzgar adecuadamente los aspectos técnicos de los planes y programas de gobierno, y los intentos de los funcionarios de explicar cuestiones técnicas pueden producir mayores retrasos. • Existe el riesgo de que los ciudadanos que participen en los procesos de planificación, de puesta en práctica, o en ambos, tengan un punto de vista localista y enfocado solamente al impacto de los planes y programas sobre su comunidad o municipio y que se genere, así, un conflicto entre lo que es mejor para una determinada comunidad y lo que es mejor para un área geográfica más amplia. • Los individuos que participan en los programas y en la toma de decisiones pueden no representar a toda la ciudadanía. • Puede ocurrir un conflicto de valores si los valores de los participantes difieren significativamente de los que tienen los funcionarios electos y los burócratas. • La experiencia sobre la participación ciudadana evidencia que no es un proceso fácil poner de acuerdo a muchos actores y que es necesario proveer a la sociedad de la información comprensible para que su participación sea efectiva.

Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de la participación ciudadana.

El principio de la participación es uno de los principios consagrados en el derecho ambiental. Sato (2003) comenta los principios de la Agenda 21, entre ellos el número 10 trata acerca de que la mejor manera de lidiar con las cuestiones ambientales es a través

de la participación de todos los ciudadanos interesados. A su vez, Setti et al. (2001) afirman que la participación individual es una etapa inicial para el gerenciamiento de los recursos hídricos.

La gestión participativa de una determinada cuenca o región, es un proceso de aprendizaje que sirve para mejorar las capacidades conjuntas de análisis, discusión, concertación, reflexión y diseño e implementación de un programa de trabajo que atienda su problemática socioambiental y económica. Además, estimula y facilita los procesos de participación ciudadana propiciando mecanismos de integración entre los diferentes actores con intereses en una determinada cuenca. Entre sus objetivos están los de garantizar la protección y el manejo del patrimonio natural de este territorio, particularmente del recurso hídrico y al mismo tiempo mejorar el nivel de vida de sus poblaciones. Implica actuar por medio de planes, programas y proyectos construidos socialmente de manera participativa. Algunos de los aspectos implícitos en estos procesos de participación son la sinergia y la equidad, que se traducen en la convergencia de esfuerzos, intereses, motivaciones y necesidades.

Los procesos de participación pública –particularmente vinculados a la gestión de cuencas- son relativamente recientes y nacen como consecuencia de las dificultades planteadas por el centralismo de las decisiones políticas y administrativas. Estos procesos contribuyen a que los distintos actores se involucren y planteen soluciones para resolver sus dificultades. Se busca valorar la importancia de una visión integral, considerando como de igual relevancia los aspectos ambientales, económicos, sociales y políticos.

Las actividades participativas son especialmente las de discusión –reuniones, jornadas y talleres de concertación- y las de capacitación –que incluyen cursos, seminarios, pasantías e intercambios de experiencias– las cuales requieren coordinaciones y articulaciones interinstitucionales dentro de una misma región y entre regiones.

Si bien el proceso de la participación tiene una determinada inercia, una vez puesto en marcha colabora en la resolución conjunta de los problemas con una visión integradora. La participación facilita las gestiones tendientes a resolver los problemas, no sólo a nivel de cuenca sino también a nivel de región o del país.

El Estado Provincial tiene el derecho y el deber de regulación y uso de los recursos naturales, entre éstos, el agua, por lo tanto, entre las principales medidas no

estructurales a encarar se debe fomentar la capacitación necesaria a la comunidad a través de talleres, manuales y tutoriales, acerca de los diversos aspectos vinculados con la gestión ambiental de las cuencas hidrográficas. Se debe impulsar ese aprendizaje desde la práctica misma; es decir, construyendo conocimientos desde la realidad cotidiana de los participantes; esto obliga a usar técnicas, herramientas y materiales que sean de acceso común en diversos espacios. Para poner en marcha un proceso de este tipo es prioritario capacitar recursos humanos. Se debe capacitar a los distintos grupos de actores, ya sean usuarios o personal perteneciente a los distintos niveles de gobierno como sujetos de la gestión de los recursos hídricos.

Por otra parte, Castelán (2001) identifica entre las principales limitantes para la participación social en los organismos de cuenca a las siguientes: 1) la complejidad de los procesos ambientales, 2) la falta de experiencia en los procesos de gestión de participación pública, 3) el marco legal contradictorio con los objetivos de la participación pública, 4) la falta de una cultura de participación, y 5) la falta de voluntad política para incentivar una verdadera participación pública.

Es evidente que la gestión participativa es un proceso lento y complejo, sin embargo, ha demostrado su validez y eficacia para contribuir a que las acciones sean sostenibles a largo plazo.

2.3.4. Hidrosolidaridad

El término "hidrosolidaridad", fue introducido por Falkenmark (Falkenmark y Folke, 2002) y describe un enfoque cada vez más integrado de la gestión de los recursos hídricos que depende en gran medida de la participación y coordinación entre las partes interesadas de la comunidad, los organismos de gestión relacionados con el agua y los gobiernos locales, provinciales y nacionales. Un objetivo fundamental de la hidrosolidaridad es la gestión cooperativa y unificada de los recursos hídricos compartidos, ya sea a nivel local, nacional o internacional. La hidrosolidaridad enfatiza la consideración de cómo las actividades de manejo del agua afectan a los demás dentro de una cuenca, lo que a su vez requiere considerar los diversos valores asociados a los recursos hídricos, no sólo para el uso eficiente y la conservación del recurso, sino también para evitar o resolver los conflictos relacionados con el agua (Larson, s/f).

De acuerdo con Oré (2016), la hidrosolidaridad promueve un acercamiento interdisciplinario, es un enfoque no solo técnico-legal sino también socio-político. La

hidrosolidaridad supone la participación ciudadana, el reconocimiento de derechos y deberes orientados al respeto y buen uso de los recursos hídricos, y alienta la cooperación entre el Estado y la sociedad civil. Este enfoque permite orientar el involucramiento de múltiples actores y la construcción de consensos entre ellos en una cuenca. Permite la gestión integrada, inclusiva, participativa y colaborativa de los recursos hídricos. Los extremos hidrológicos (tanto el exceso como la escasez de agua) son desafíos para la gestión que ponen de relieve la necesidad de la hidrosolidaridad, y es evidente que el concepto tiene aplicación a diversas escalas.

Para Larson (s/f), en muchos casos, el manejo integrado y cooperativo del agua puede ayudar a reducir los impactos negativos de las desigualdades naturales o inducidas por el hombre en la distribución del agua. Los mecanismos institucionales, como las comisiones u organismos de cuenca, son fundamentales para evitar o mitigar los conflictos relacionados con el agua y para lograr la hidrosolidaridad. El objetivo general de estas instituciones es el fomento de la capacidad, que incluye financiar actividades, fomentar la comunicación entre diversas entidades y establecer procedimientos para hacer frente a los conflictos, los peligros naturales y otros problemas que puedan surgir.

Por su parte, Ribeiro (2007) puntualiza que la hidrosolidaridad tiene que ser facilitada a través de la motivación de los usuarios de la cuenca y de la garantía institucional, legal y el auxilio de la sociedad; afirma además que la prevención local de riesgos y su transferencia espacial para usuarios de aguas abajo puede ser motivada siguiendo un análisis de gestión integrada a partir de la hidrosolidaridad.

Por ende, la hidrosolidaridad debe ser el resultado de un profundo análisis y posterior reconocimiento del accionar de los actores e interesados en la cuenca con el mayor grado de participación posible. No existe hidrosolidaridad sin participación y se hará efectiva sólo como resultado de una educación ambiental comprometida.

2.4. Articulación de los conceptos operativos

Dada la problemática presentada en la Sección 2.1, durante décadas en la provincia de Santa Fe el Estado priorizó una política de implantación de obras de saneamiento rural y urbano tendiente a mitigar los efectos perjudiciales de las inundaciones. Para ello se construyó una infraestructura de drenaje que posee un desarrollo notable en ciertas áreas, como se explica en el Capítulo 4.

El registro de información hidrológica e hidráulica relacionada a la vez con el monitoreo permanente del funcionamiento de estas obras sería un primer paso hacia el manejo integral del agua, ya que potencialmente podrían tomarse ciertas decisiones en función de lo observado, pero esto apenas constituye un MANEJO PASIVO. La propuesta de regular niveles, caudales y volúmenes (no sólo transferirlos) necesita de obras hidráulicas pequeñas o medianas con estructuras u órganos de control como compuertas, estaciones de bombeo, conducciones adicionales de derivación, orificios, vertederos, descargadores, clapetas, otros, para lograr un manejo efectivo (MANEJO ACTIVO) del agua. De todas maneras el registro de variables de funcionamiento así como la operación de estas obras, no debe ser exclusiva responsabilidad del estado.

La pregunta que surge es cómo se puede mejorar el manejo actual. Hoy la tendencia es la de aumentar la participación de los usuarios, en distintos grados. De esta manera, la operación óptima de estos sistemas (MANEJO PARTICIPATIVO) se consigue mediante la gestión participativa, con un grado cada vez mayor de hidrosolidaridad, según se esquematiza en la Tabla 2.4.

Obras hídricas en la cuenca	<i>Red de canales</i>	<i>Red de canales + Monitoreo</i>	<i>Red de canales + Monitoreo + Estructuras u Órganos de control (EuO)</i>	<i>Red de canales + Monitoreo + Estructuras u Órganos de control (EuO)</i>
Participación de usuarios	<i>Construcción y Mantenimiento (ESCASA)</i>	<i>Construcción y Mantenimiento (AMPLIA)</i>	<i>Construcción Mantenimiento (AMPLIA) y Monitoreo</i>	<i>Construcción, Mantenimiento, Monitoreo y Regulación</i>
Tipo de manejo	<i>SIN MANEJO</i>	<i>MANEJO PASIVO</i>	<i>MANEJO ACTIVO</i>	<i>MANEJO PARTICIPATIVO</i>
Implementación de mejoras	<p>The diagram illustrates a step-wise progression from left to right across the five columns of the table. It starts with a box labeled "Situación o Estado 'actual'" in the second column. An arrow points right, then up, then right again to the third column. This pattern repeats: right, up, right to the fourth column, and finally right, up, right to the fifth column, which is labeled "Situación o Estado 'objetivo'".</p>			

Tabla 2.4. Articulación de los conceptos operativos (elaboración propia).

Ya existe una tendencia firme, indiscutible, e irrenunciable en cuanto a la generación de sitios que permitan regular escurrimientos superficiales en la provincia de Santa Fe. El consenso general para instaurar este tipo de obras es que el almacenamiento se produzca en áreas situadas convenientemente en cuanto su topografía y potencial vinculación con la red de drenaje, y que además se pierda la menor cantidad de terrenos en condiciones aptas para la agricultura, por lo tanto, se deberán instalar estos reguladores en zonas de baja capacidad productiva.

El Estado Provincial contó en las últimas décadas con la colaboración de los Comités de Cuenca. En un trabajo anterior (Ferreira, 1998) se realizó un análisis de la evolución de estos organismos en tres periodos, que fueron caracterizados por cambios en aspectos legales, institucionales y técnicos, desde la segunda mitad de la década de los setenta, en la que se conformaron los primeros comités. Por lo tanto, puede afirmarse que los actores (mencionados en la Tabla 2.1 del Capítulo 1) ya están vinculados a través del mecanismo de los Comités de Cuenca, un paso inicial fundamental para incrementar la participación de los actores que aún sea necesario incorporar. Entre los usuarios de la

cuenca debe generarse conciencia acerca de la importancia de la conservación del agua no sólo en cantidad –tema principal de la presente tesis- sino también en calidad.

3. METODOLOGÍA

3.1. Introducción

Para alcanzar el objetivo general y los objetivos particulares, se plantea una metodología compuesta por los siguientes pasos principales: recopilación de antecedentes; elaboración del mapa de actores; análisis de series de precipitación y caudal a paso mensual; modelación de la cuenca para series históricas y escenarios de intervención para la gestión, y análisis de casos exitosos de gestión ambiental en el extranjero. Los resultados de estas tareas y su análisis, contribuirán a formular un plan para gestionar los escurrimientos superficiales mediante la construcción de obras de regulación y/o la adecuación de las existentes, que sean operadas en conjunto entre la SRH-MIT y los Comités de Cuenca, con miras a mitigar principalmente los efectos indeseados de las inundaciones y en menor grado, los impactos de las sequías.

3.2. Recopilación de antecedentes

Es necesaria una exhaustiva búsqueda de antecedentes bibliográficos para tener un panorama actualizado sobre la problemática que se plantea, tanto para la formulación del marco teórico como para la adecuada descripción de los conceptos operativos. Esta búsqueda se complementará con la consulta frecuente al Centro de Documentación de la SRH, que atesora información de la más variada índole en cuanto a la historia y desarrollo de las obras hidráulicas provinciales. El mencionado centro es depositario además de los resultados de estudios y proyectos que frecuentemente han sido contratados por el Gobierno Provincial a organismos estatales y privados a lo largo de las últimas décadas, así como de trabajos efectuados por profesionales pertenecientes a universidades y organismos técnicos de toda índole. También será la fuente de datos pluviométricos e hidrológicos utilizados para las distintas modelaciones. Se analizarán antecedentes bibliográficos acerca de casos destacables en otros países, a manera de ejemplos a seguir por la forma en que encaran la gestión de los escurrimientos superficiales, del drenaje y el mejor uso del recurso hídrico. Por último, la búsqueda se complementará con consultas a diversas páginas web, fundamentalmente en lo relacionado con los aspectos legales y administrativos (decretos, leyes, otros).

3.3. Mapa de actores

La finalidad de esta tarea será identificar a los diversos actores clasificándolos mediante la descripción de su involucramiento en la toma de decisiones, su vinculación con la

problemática y grado de participación potencial en la procura de soluciones. Se debe conocer el mapa de los actores de manera previa a la propuesta de cualquier plan de manejo.

Este tipo de análisis es el paso previo y necesario para cualquier ente u organismo que pretenda efectuar futuras convocatorias de representantes para la participación en talleres y el logro de tareas de capacitación, y de esta manera poner en marcha una efectiva gestión participativa. Con este paso, se inicia el proceso de identificación general de problemáticas relacionadas con la gestión de la cuenca hidrográfica, que permita acordar un consenso en el establecimiento de prioridades a los problemas y planteo de posibles alternativas de intervención en el territorio.

Esta tarea incluirá la identificación y clasificación de los actores representativos en la gestión del recurso hídrico. El inventario se realizará analizando antecedentes de reuniones convocadas en distintas instancias por el Gobierno Provincial y mediante consultas a profesionales involucrados en la temática tanto del ámbito estatal como de entidades intermedias. Se mapearán quiénes son aquellos actores que están directa o indirectamente involucrados en la toma de decisiones y los usuarios que podrían estar afectados por tales decisiones.

Como se ha destacado en el Capítulo 1, estos actores podrán clasificarse en responsables y contribuyentes, incluyendo entre otros a los Comités de Cuenca que integran la cuenca del A° Cululú, así como a otros actores (gobierno provincial, municipal, comunal, nacional) como responsables. Entre los contribuyentes pueden mencionarse a las Cooperativas, agencias del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Universidades Nacionales, ONGs, colegios profesionales, otros.

Como aspecto particular -que reviste importancia por la tradición en cuanto a su participación como actores directamente vinculados a la gestión-, se identificarán variables referentes a los Comités de Cuenca que actúan en la cuenca: superficie que abarcan; número de productores involucrados; cantidad de distritos; número de sitios posibles para la implantación de obras de regulación y sus características (volumen; área; aptitud).

3.4. Análisis de series mensuales de precipitación y caudal

Se intentará diferenciar las variaciones ocurridas en los caudales de salida de la cuenca como resultado combinado de los cambios en las precipitaciones y en el uso de suelo.

Para ello se realizará un análisis de series de precipitación y caudal a paso mensual. Se emplearán series de datos observados en dos estaciones de medición confiables. Los datos diarios serán agregados para trabajar a escala mensual, con la presunción de que representan de una manera integrada el comportamiento del sistema en su conjunto.

Se utilizará la serie de precipitaciones de la Estación INTA Rafaela dado que existe una muy buena correlación entre la precipitación mensual de esta estación, con la precipitación media mensual de la cuenca (Ferreira, 2004).

Con respecto a la serie de caudales de salida de la cuenca, se utilizará la Estación Cululú sobre la RP 50-S, que cuenta con un registro discontinuo. No obstante, existen dos periodos de varios años de registro cada uno, que son totalmente representativos para el análisis que se pretende efectuar: 1977-1988 y 2004-2017.

La elección del paso mensual procura detectar, particularmente en los caudales, los cambios realmente observados que se produjeron en los volúmenes de escorrentía con relación a los cambios en las precipitaciones y al comportamiento global de la cuenca sometida a importantes modificaciones entre los dos periodos de análisis mencionados más abajo.

Se efectuarán comparaciones entre los dos periodos de los distintos valores característicos de las series (máximos, medios y mínimos) así como el análisis de la variación en el comportamiento de la escorrentía, tanto para valores mensuales como anuales. La disponibilidad de estos datos permitirá además indagar en posibles cambios en la cantidad de precipitación y verificar cambios estacionales intra-anales, como ya se ha observado en otras estaciones pluviométricas de la provincia.

3.5. Modelación de la cuenca a paso diario

Esta tarea es clave para responder a los dos primeros objetivos particulares: a escala de evento y en función de criterios de diseño, se podrá estimar el incremento en el escurrimiento superficial debido a los cambios experimentados en las características de las precipitaciones (principalmente en la intensidad media) y de los cambios en el uso de suelo.

Por otra parte, mediante modelación matemática se verificará la eficacia de las obras de detención propuestas en sectores estratégicos de la cuenca, destinadas a la reducción de caudales pico durante crecidas provocadas por eventos de precipitación aislados. La modelación se realizará a paso diario mediante el modelo HEC-HMS implementado con

fin de diagnóstico, por el Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Litoral-INA, a través de un convenio firmado con el ex –Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente (INA-FICH-INTA, 2007; INA-MASPyMA, 2012).

Se adoptará la distribución de subcuencas y el correspondiente diagrama topológico empleado por el INA. No obstante, se revisarán todos los parámetros de calibración previamente obtenidos, teniendo en cuenta que este modelo es muy sensible a la distribución de los datos de entrada referentes a las precipitaciones, por lo que se pondrá especial atención en caracterizar los eventos con la mayor cantidad de estaciones pluviométricas posible.

La nueva implementación del modelo HEC-HMS para la cuenca del A° Cululú incluirá las siguientes actividades: sistematización de datos; revisión crítica de la implementación del modelo matemático previamente efectuada; nueva calibración y verificación del modelo y explotación del modelo para la situación actual (“2010”).

El cuadro de la Figura 3.1 resume las distintas actividades a realizar. Más detalles de la aplicación de la metodología se incluyen en el Capítulo 5.

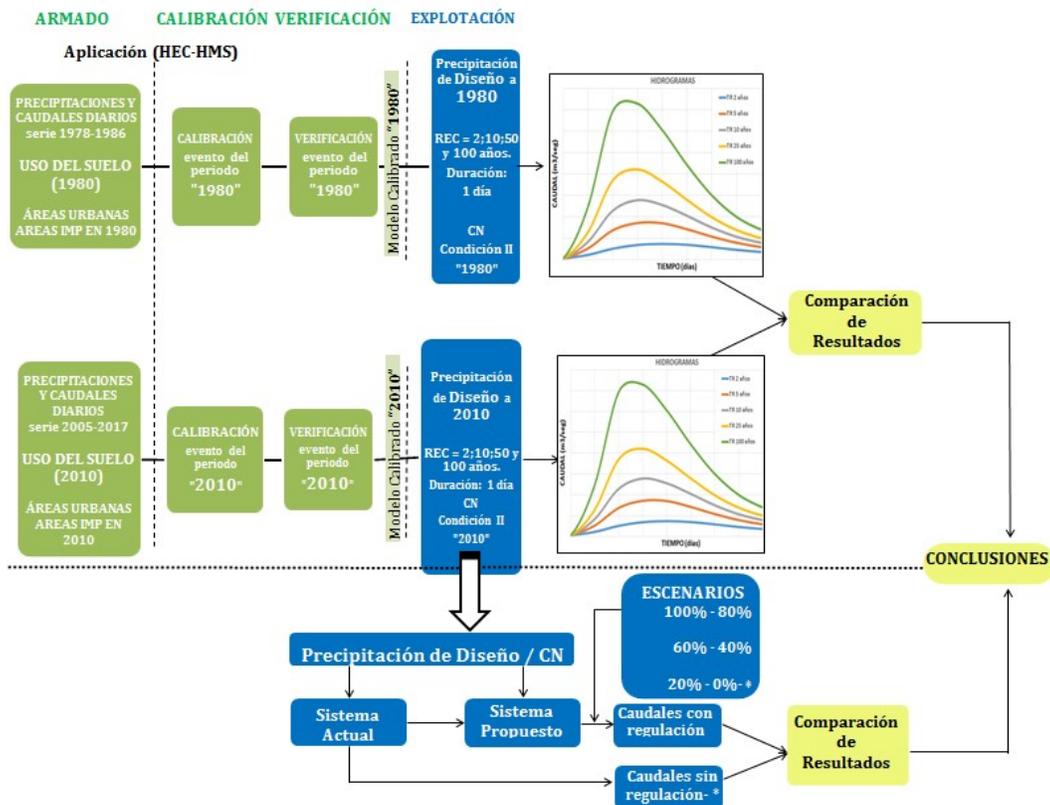


Figura 3.1. Estrategia de simulación: calibración, verificación y explotación del modelo.

Si bien el modelo está armado para toda la cuenca (INA-FICH-INTA, 2007; INAMASPyMA, 2012), en función de los datos de caudales de salida disponibles, en esta tesis el sitio elegido para la calibración es la Estación Cululú en RP 50-S que posee un importante registro temporal (algo más del 50% del tiempo en los últimos 40 años), aunque con interrupciones.

El modelo será calibrado para dos situaciones pasadas. La primera representa las condiciones de principios de la década de 1980 y la segunda la situación de mediados de la década de 2010, cada una denominada en asociación a la década que se pretende representar: “situación 1980” y “situación 2010”, respectivamente. En la elección de estos dos períodos se aprovechó la disponibilidad de datos de dos importantes eventos de crecida que se registraron de manera temporalmente cercana a las fechas mencionadas. La verificación, en cada caso, se efectuará a partir de otros eventos pluviométricos temporalmente cercanos a los de calibración.

Las principales diferencias entre ambas situaciones son los cambios experimentados en el uso de suelo: el primer periodo está vinculado con la etapa previa a la densificación de la red de drenaje y a la introducción de la soja, el segundo se considera representativo de las condiciones actuales. En orden a representar los mismos, deberán modificarse los parámetros del modelo adecuadamente.

Por otro lado, se prestará atención al cambio de superficie urbanizada entre esos periodos, principalmente en las ciudades más importantes incluidas totalmente en la cuenca (Rafaela y Sunchales, provincia de Santa Fe) o parcialmente (San Francisco, en la provincia de Córdoba) ya que podría tener impacto especialmente a nivel de subcuenca por el cambio que supone el crecimiento del área impermeable.

Una vez calibrado y verificado, la explotación del modelo se efectuará siguiendo los pasos de aplicación habitual en ingeniería, en dos sentidos: en una primera instancia se efectuarán cálculos de hidrogramas de salida para distintas tormentas de diseño, generadas a partir de estudios encomendados por la Municipalidad de Rafaela, producto de los registros históricos de precipitación diaria y vinculados temporalmente con cada uno de los periodos de análisis (1980 y 2010). Las recurrencias se establecerán para valores habituales en este tipo de estudios: 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. La duración preestablecida será igual a un día.

De esta manera se obtendrán hidrogramas de salida que permitirán comparar de manera simple y cuantificable, la influencia combinada de los cambios registrados en el uso de suelo y en las precipitaciones.

En una segunda instancia, con las precipitaciones de diseño correspondientes a las recurrencias mencionadas, pero para tormentas de duración de 5 (cinco) días y la cuenca para el estado actual, se introducirán en el modelo las características de las potenciales obras de regulación, reservorios, propuestas a nivel de prefactibilidad. Los datos relativos a los reservorios comprenderán, entre otras características de diseño: ubicación; altura máxima; cota y longitud del vertedero; curvas características: altura-volumen y caudal-volumen.

Finalmente se evaluarán los resultados obtenidos en casos hipotéticos de distintos escenarios definidos mediante diversos porcentajes de adhesión a la propuesta de construcción de reservorios, por ejemplo:

Escenario	1	2	3	4	5	6
Adhesión	0%	20%	40%	60%	80%	100%

El escenario 1, cuyo porcentaje de adhesión es del 0 % corresponde a la configuración de la calibración para la cuenca en el estado actual.

De esta manera, las tareas descritas en este apartado permitirán estimar y cuantificar un determinado comportamiento con las obras propuestas bajo condiciones de diseño habituales en este tipo de proyectos.

3.6. Análisis de casos exitosos en el extranjero

Como se expresó en el Capítulo 2, el tema de la gestión de cuencas hidrográficas tiene una larga trayectoria a nivel mundial y en muchos países, por distintas razones, el manejo del agua es una condición vital encarada por el estado.

En esta tesis se pretende identificar y sintetizar experiencias de gestión de recursos hídricos/ambientales, basándose en el conocimiento ya adquirido de casos particulares. El fin será destacar casos en el extranjero que puedan orientar las acciones a seguir a futuro en la cuenca del A° Cululú, tomando en consideración la forma en que ya se han encarado los problemas atinentes a la gestión de los recursos hídricos y a las similitudes o diferencias que se presentan con la cuenca en estudio. Esto contribuirá a alcanzar dos

de los objetivos particulares: proponer un mecanismo de cooperación entre los Comités de la Cuenca del A° Cululú y generar las bases para la conformación de un organismo de cuenca que esté delimitado por los límites físicos de la cuenca hidrográfica y no por divisiones distritales como existen actualmente.

4. LA CUENCA DEL A° CULULÚ

4.1. Descripción general

El A° Cululú es uno de los tres principales afluentes por margen derecha del río Salado en la provincia de Santa Fe, junto con los arroyos San Antonio y Las Conchas (ver Figura 4.1). Está ubicada en el sector central de la provincia de Santa Fe, aunque una delgada franja de ancho variable correspondiente a sus cabeceras, se ubica al oeste, en la vecina provincia de Córdoba. Su superficie es aproximadamente 9500 km², y posee una amplitud máxima de 130 km en sentido Este-Oeste (E-O) y de 100 km en sentido Norte-Sur (N-S).

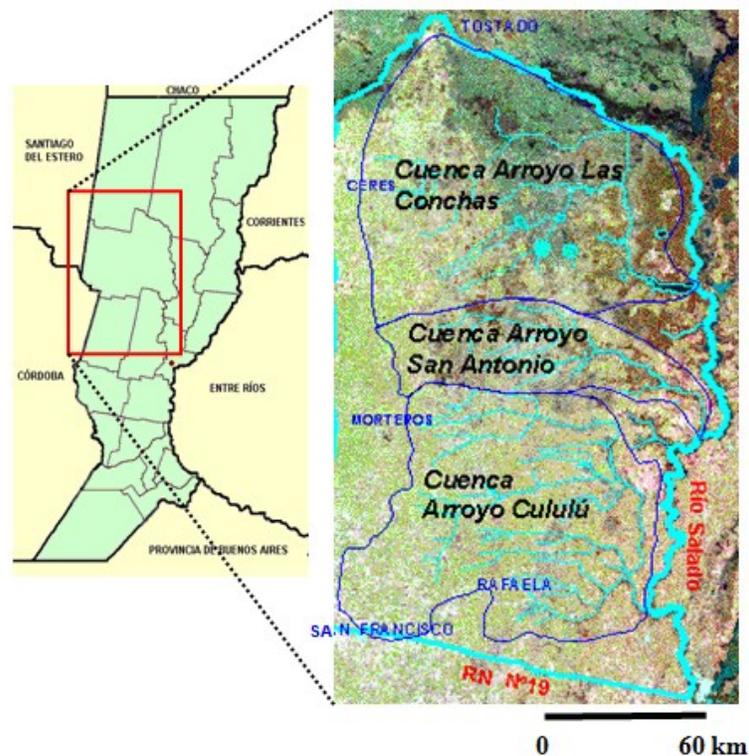


Figura 4.1. Ubicación de la cuenca del A° Cululú (adaptado de Giampieri et al., 2003).

El área posee los siguientes límites geográficos: al norte la cuenca del A° San Antonio; al este la divisoria de la cuenca propia del río Salado; al sur la cuenca del A° Colastiné y al oeste la cuenca cerrada de la Laguna Mar Chiquita.

La población de la cuenca se concentra en tres principales ciudades, Rafaela (92.945 hab.) y Sunchales (21.304 hab.) en la provincia de Santa Fe y San Francisco (61.750 hab.) en la provincia de Córdoba, según el censo 2010. El resto se distribuye en 58

localidades más pequeñas de entre 100 y 10.000 hab. De esta manera, la población de la cuenca supera 250.000 habitantes (Censo 2010).

Desde el punto de vista climático, la cuenca se caracteriza por un clima templado pampeano. El área está inserta entre las isotermas medias anuales de 18 y 19 ° C, los valores más bajos ocurren en el extremo SO de la cuenca. Se encuentra entre las isohietas medias anuales de 850 mm y 1150 mm aumentando de Oeste a Este (Panigatti et al., 2007). La distribución mensual de precipitaciones muestra que se concentran en el semestre noviembre-abril, con un 75 % del total anual.

El caudal del A° Cululú se conforma con aportes de excedentes hídricos superficiales, en los meses de primavera, verano y principalmente otoño. A su vez, durante todo el año recibe el aporte de flujo subterráneo que mantiene un caudal base de escasa magnitud prácticamente permanente en los tramos medio e inferior.

Los suelos de la zona pertenecen en general a la Unidad 19 del Mapa de Suelos de la Provincia de Santa Fe (Mosconi et al., 1981). Dicha unidad, profusamente distribuida en esta región de la provincia, está compuesta por una asociación de Argiudoles típicos y Argiudoles ácuicos. Los buenos suelos sostienen una importante actividad agropecuaria.

La infraestructura de comunicación vial de la cuenca, vinculada a la producción agropecuaria de la misma, es de las más importantes de la provincia. Numerosas rutas provinciales surcan el área a manera de malla cuadrangular, cuya separación es – grosso modo - 10 km. Un gran porcentaje de las rutas provinciales-RP está pavimentado, se destacan la RP 70, RP 22, RP 4, RP 10, RP 62, entre otras, el resto posee tratamientos de mejorado para mantener su transitabilidad. La ruta nacional RN 34 atraviesa completamente la cuenca por su parte media en sentido N-S y es un importante eje nacional de transporte de bienes y personas La autovía RN 19 en sentido E-O, atraviesa una pequeña porción de las cabeceras de la cuenca, en la zona cercana a la ciudad cordobesa de San Francisco. Desde el punto de vista de la dinámica hídrica, estas vías de comunicación, junto con los caminos comunales y los terraplenes ferroviarios en actividad -como el Nuevo Central Argentino- o inactivos, producen importantes interferencias al escurrimiento, dada su traza y su mayor altura en comparación con la cota natural de los terrenos circundantes, lo que ha motivado en las últimas tres décadas la construcción y/o ampliación de obras de paso, tales como alcantarillas y puentes para reducir los tiempos de anegamiento de campos situados aguas arriba de los terraplenes.

En los últimos años se han desarrollado convenios y contratos desde el estado provincial para dar inicio a la redacción de un Plan Director de Recursos Hídricos. A los fines de continuar con esa línea de trabajo, en esta tesis se adopta la delimitación de cuenca y subcuencas propuestas y revisadas por el INA para la elaboración de la Etapa de Diagnóstico del Plan Director (INA-MASPyMA, 2012) –ver Figura 4.2.

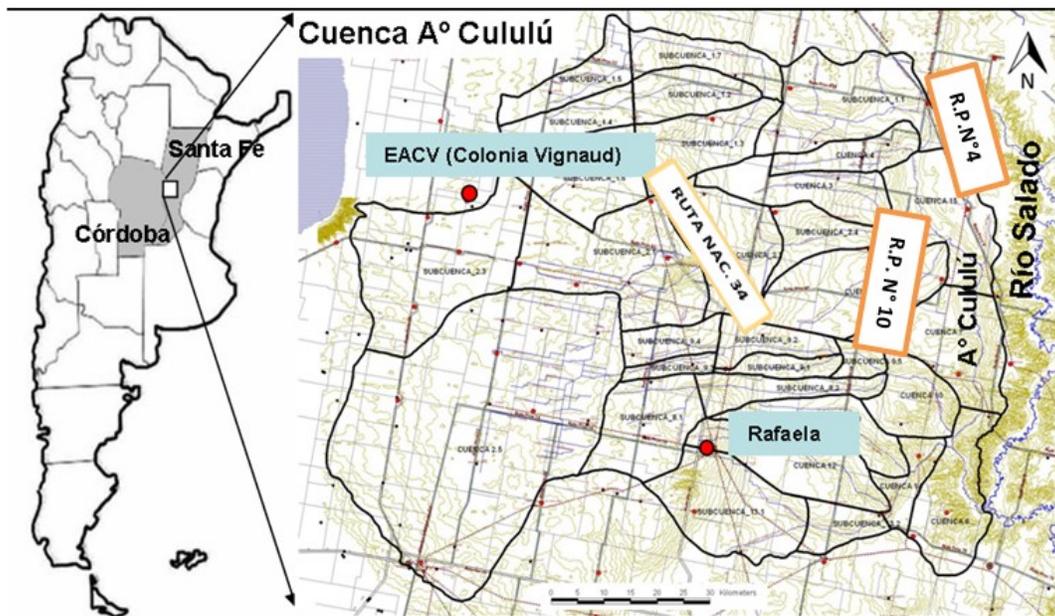


Figura 4.2. Subcuencas del A° Cululú (modificado de INA-FICH-INTA, 2007; INA-MASPyMA, 2012).

4.2. Dinámica hídrica

La cuenca del A° Cululú es la mayor de las subcuencas que forman parte de la cuenca inferior del río Salado. Esta última posee características y restricciones de una llanura, constituida por un conjunto de bloques levemente basculados, responsable de los grandes lineamientos de la cuenca. Las fracturas principales tienen rumbo Norte-Sur; las de segundo orden que marcan generalmente los límites de las subcuencas, corren de Este-Oeste. Los elementos geomorfológicos de origen hídrico son llanuras aluviales actuales, paleocauces del Salado, lagunas permanentes, áreas de erosión generalizada y grandes sectores mal drenados y/o de drenaje impedido con un relieve cóncavo o plano cóncavo. Su geomorfología corresponde en un gran porcentaje a la parte sur de la denominada faja de cañadas paralelas (Iriondo, 1987).

La capa superior del perfil litológico está constituida por sedimentos loésicos, en los cuales se ubica el acuífero freático, situado a escasa profundidad, el que en períodos de abundantes precipitaciones puede aflorar en algunos sitios. El mismo es de relevancia estratégica desde el punto de vista agropecuario. El flujo subterráneo regional tiene dirección predominante Oeste-Este (Ferreira et al., 2003), teniendo como nivel de base el río Salado.

Según Gandolfo (2010), para describir la dinámica hídrica de esta cuenca, se deben tener presente patrones de funcionamiento denominados Unidades de Almacenamiento (UA), las cuales están compuestas por Elementos Básicos (EB) del funcionamiento del escurrimiento superficial. Por lo tanto, “ante una entrada de precipitación que genere excesos hídricos en el área de aporte que abarca el EB, las zonas de conducción concentran el escurrimiento en la zona de almacenamientos, y según el nivel interno del mismo y la magnitud de los controles de salida, transfieren los excedentes aguas abajo.”

Los estudios de Iriondo (1987) y Gandolfo (2010) entre otros antecedentes, en conjunto con la identificación de vías de comunicación, canales y cunetas, el análisis de imágenes satelitales y recorridas del área de estudio, permitieron diferenciar de manera general, áreas de dinámicas de escurrimientos distintas:

- Oeste de la RN 34: el relieve se asemeja a un plano suavemente inclinado en sentido Oeste-Este, donde el principal elemento de conducción son las cañadas paralelas y subparalelas, con pendientes muy suaves, lo que genera una fuerte restricción natural al escurrimiento superficial con predominio de los términos de almacenamiento.

- Este de la RN 34: se distinguen dos situaciones. Debido al aumento de pendiente superficial en sentido Oeste-Este comienzan a desarrollarse cursos encauzados afluentes al A° Cululú. Además, existen cañadas con pendiente en sentido Oeste-Este que confluyen a bajos topográficos formando anegamientos importantes, que comienzan a drenar al alcanzar un determinado umbral natural o generado por la acción antrópica.

- Zonas deprimidas donde escurre el cauce principal del A° Cululú con dirección Norte-Sur, limitadas en el borde Este por la divisoria con el río Salado, por donde se desarrolla la RP 4, entre las localidades de Cululú y Elisa.

De esta manera, la cuenca del A° Cululú conforma una típica cuenca de llanura, donde es posible destacar claramente sectores de Recarga, Transición y Descarga. El área de Recarga está vinculada a sectores muy planos o plano-cóncavos, situados al Oeste de la cuenca –groseramente al Oeste de la RN 34- con pendientes del terreno de apenas

algunos decímetros por kilómetro. El área de Transición tiene sectores con pendientes del terreno de 1 a 4 m por km, se ubica en la faja central de la cuenca y finalmente el área de Descarga, situada groseramente al Este de la RP 10, está vinculada a los cauces naturales que conforman la red de drenaje natural junto con el curso del A° Cululú.

Deben destacarse además algunos sectores de borde de la cuenca que no constituyen una divisoria definida, tal como son establecidos por la geomorfología y la hidrología clásica. En el caso de estudio, se presentan dos, a saber: el límite cuencas San Antonio-Cululú, entre las localidades de Constanza y Elisa (con una longitud de 25 a 30 km y un ancho de 5 a 7 km) y el límite Sur (indefinido en su mayor parte, con un ancho de 3 a 6 km) (INCYTH, 1986).

Se ha verificado que existe una contribución significativa de los caudales del A° Cululú a los picos de crecida del río Salado en la RP 70. Esta cuenca produce picos de crecida de gran magnitud y de rápida respuesta, debido a sus características morfológicas. La influencia del A° Cululú es alta, además, porque desagua próximo a la sección de control mencionada (Pedraza et al., 2007). Según estos autores: “De acuerdo a como se originan, se pueden distinguir dos tipos de crecidas del río Salado en su tramo inferior: a) generalizadas, y b) locales. Las crecidas generalizadas se originan por lluvias intensas que cubren la mayor parte de la cuenca inferior. Usualmente generan las situaciones más críticas en cuanto a caudales máximos a la salida de la cuenca, debido a que se superponen una crecida del río Calchaquí con crecidas aportadas por el resto de los afluentes. Las crecidas de 1914, 1973, 1977, 1998 y 2003 fueron de este tipo”. Por otro lado, acerca de las crecidas locales, expresan que: “Son crecidas originadas por lluvias intensas que no cubren la totalidad de la cuenca. Dentro de éstas, las más críticas se producen cuando las lluvias se concentran próximas a la salida de la cuenca. Una parte significativa del caudal pico de estas crecidas suele ser aportada por la cuenca del A° Cululú. Las crecidas de 1981 y 2005 son ejemplos de crecidas locales”.

Más cerca en el tiempo, durante el año hidrológico 2014-2015, se produjo una crecida en el río Salado del tipo local. Como consecuencia de importantes precipitaciones en el sector sur de la cuenca del A° Cululú, el aporte se integró en su mayoría por los caudales generados en la subcuenca del A° Las Prusianas, ubicada al sur de la misma.

4.3. Red de drenaje

4.3.1. Características generales

La Figura 4.2 muestra la red de drenaje y la distribución de subcuencas. El A° Cululú propiamente dicho escurre con una suave declinación ONO–ESE, en forma casi paralela al río Salado, finalizando su recorrido como tributario del mismo en el extremo SE de la cuenca, al Norte de la localidad de Esperanza. Colecta el escurrimiento de cañadas y canales que aportan excedentes desde el Centro–Oeste de la provincia.

Tiene una longitud cercana a los 140 km, desde su nacimiento en la unión con el Canal Principal N° 1, a la altura de la localidad de Elisa hasta la desembocadura en el río Salado, a 10 km al Norte de la localidad de Esperanza. El curso denota una morfología típica de arroyos meandrosos, con sucesiones de curvas y contracurvas que se producen sobre sedimentos de composición fuertemente arcillo-limosa, con concreciones de carbonato de calcio tipo tosca, la que para bajos caudales aflora en algunos tramos. La forma de las secciones transversales es compuesta, conformada por dos sectores bien diferenciados entre sí, el cauce encajonado por donde se encauzan caudales bajos y el amplio valle de inundación ocupado por caudales mayores (Figura 4.3).

Los canales y arroyos que descargan en el A° Cululú tienen dirección predominante Oeste-Este, con una pendiente general en el rango de 0,3 a 2,12 m/km y un valor medio de 1 m/km (Ferreira y Rodríguez, 2013). Entre los cursos naturales se encuentran el A° Cululú propiamente dicho, y sus arroyos afluentes: Las Prusianas, Las Palomas, Los Corrales, Las Tablitas, Retiro.

La red de drenaje natural de 210 km de longitud es fuertemente asimétrica, y se ha visto aumentada a lo largo de décadas con la construcción de una extensa red de canales artificiales de más de 2000 km. El inicio de su construcción se sitúa alrededor de 1930. Esta red ha sido ampliada a lo largo de los años con redes de drenaje menores o locales.

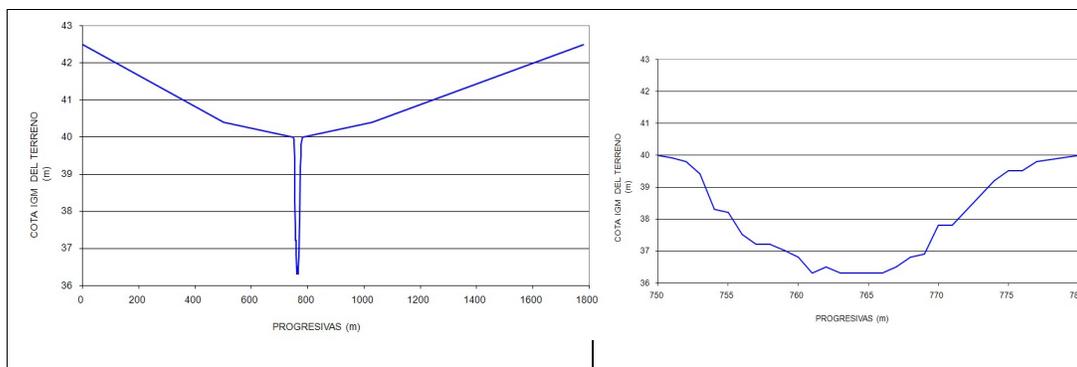


Figura 4.3. Ejemplo de sección transversal del A° Cululú: Izq. A° Cululú y RP N°62-s, Sección completa. Der. Detalle del cauce menor. La ubicación de la sección se muestra en la Fig. 4.5. en prog. 40 Km. Elaboración propia. Fuente: Centro de Documentación-MIyT.

Los canales de drenaje tienen en su mayoría una sección de escurrimiento trapecial, con taludes laterales en una relación de 1:1 en la gran mayoría de los casos. Esta característica surge del tipo de maquinaria utilizado para su excavación, buscando ejecutar taludes estables acordes a la condición natural de los suelos y con el objeto de facilitar su posterior limpieza y mantenimiento. Presentan en planta, en la generalidad de los casos, una alineación recta en la mayor parte de su recorrido, a veces acompañada por los montículos resultantes de la excavación original o de posteriores acondicionamientos. El material del fondo del canal en general es arcilloo-limoso. De acuerdo a la frecuencia con que se realizan las tareas de mantenimiento, pueden presentar embanques por deposición de sedimentos y material de arrastre y crecimiento de vegetación de diversas especies que incluyen plantas herbáceas hasta arbóreas.

A lo largo del curso principal del arroyo y sus tributarios, existen relictos de bosques de la ecoregión del Espinal y zonas inundables con espartillares y algunas lagunas transitorias, que aparecen luego de los desbordes. Los bosques están formados por algarrobos (*Prosopis* sp.), chañares (*Geoffroea decorticans*), curupíes (*Sapium haemastorpermun*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), entre otras leñosas⁹.

Un aspecto directamente vinculado con la red de drenaje es la presencia de una cantidad considerable de alcantarillas y puentes debido a la existencia de una red caminera bastante desarrollada. Debe destacarse, además, que durante periodos húmedos con grandes excesos de escurrimiento se activa una red de drenaje natural mucho más

⁹ <http://avesyareaspotencialesdesantafe.blogspot.com.ar/2013/05/lc01-cuenca-del-arroyo-cululu.html>

extensa, que es de carácter totalmente efímero. Debido a la preponderancia de los movimientos verticales del agua característica de la hidrología de llanuras (Kovacs, 1978), en los períodos húmedos se produce una elevación regional de los niveles freáticos que se manifiesta con afloramientos en los lugares topográficamente más bajos, provocando surgencia y en algunos casos acumulación en zonas bajas y bañados. Si estos excesos hídricos superan la capacidad de almacenamiento de los bajos y lagunas a cotas superiores de sus umbrales de control, éstos desbordan y se concatenan formando las líneas temporarias de flujo superficial relativamente concentrado.

Es posible mapear esta red temporaria con la ayuda de imágenes satelitales obtenidas inmediatamente después de grandes eventos de precipitación. Esta parte de la red natural de drenaje, no fue incluida en el trabajo de modelación hidráulica realizada por Ferreira y Rodríguez (2013) que se presenta en el punto 4.3.3, ni en los cuadros o gráficos que muestran longitudes de la red de drenaje. Sin embargo, contribuye en el amortiguamiento de caudales pico generados por lluvias de cierta intensidad y son potenciales embalses temporarios del escurrimiento superficial.

4.3.2. Evolución histórica de la red de drenaje artificial

Para comprender en parte los diferentes cambios que experimentó la cuenca, es relevante analizar el crecimiento de la red de drenaje artificial que acompañó el desarrollo socio-productivo de la zona, y estuvo influenciada por el régimen de precipitaciones y políticas de gestión. A los fines de establecer una primera aproximación de la evolución temporal de la longitud de la red de drenaje, se recopiló toda la información disponible en el Centro de Documentación del MIT. Como resultado se presenta un gráfico de la evolución temporal de la longitud de la red de drenaje (Figura 4.4). En el Anexo 4.1 se incluye en detalle el análisis efectuado.

La actualización más reciente de la cartografía de la red de drenaje fue realizada en el marco del Plan Director de los Recursos Hídricos de la Región Hídrica III - Convenio MIT/INA-CRL. El estudio determinó que en la actualidad la longitud de canales artificiales alcanza a los 2384 km (INA-MIyT, 2018).

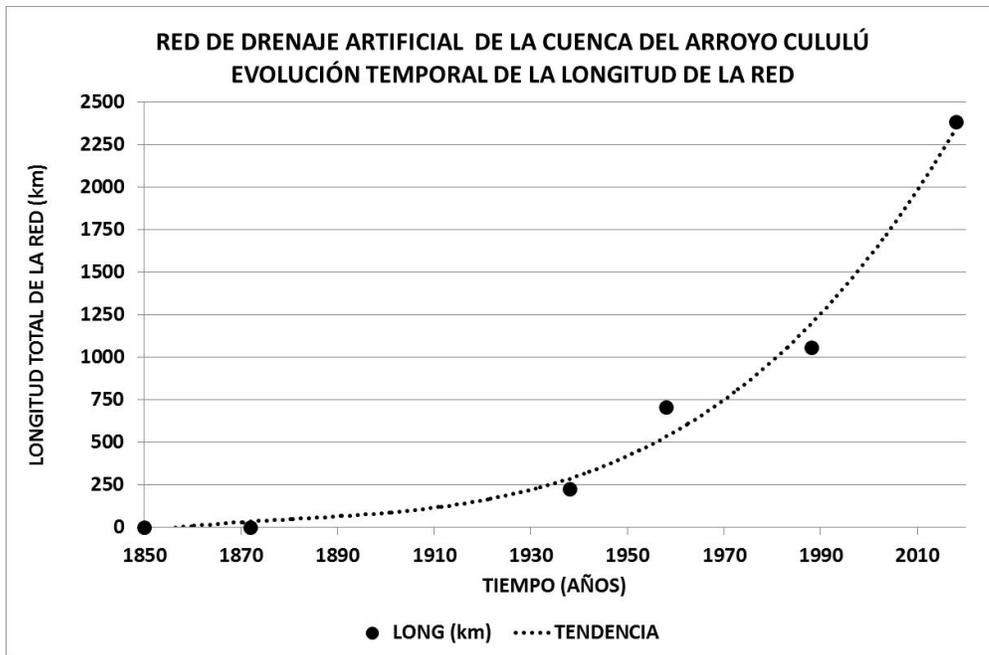


Figura 4.4. Evolución temporal de la longitud de la red de drenaje (1850-2018).

Desde 1930 a 1980 el promedio de ejecución fue de 18 km de canales por año, mientras que, desde la creación de los Comités de Cuenca hasta el presente, esa tasa se elevó a 44 km/año. Esta diferencia de tasas (un crecimiento de casi 250%) puede explicarse en parte por las siguientes razones: (i) los canales más recientes poseen secciones transversales menores –por lo tanto, menor volumen de excavación- y de ejecución más simple, ya que las trazas en gran porcentaje se desarrollan al costado de caminos rurales; (ii) la mejora en la tecnología de las máquinas retroexcavadoras ha provocado que se avance a mayor velocidad en la construcción y, (iii) al estar asociados los productores en Comités de Cuenca han ejercido mayor presión sobre el estado provincial, el que respondió a sus demandas.

4.3.3. Modelación hidráulica de la red de drenaje artificial

Ferreira y Rodríguez (2013) modelaron 672 km de la red de drenaje (Figura 4.4), de los cuales la red drenaje artificial fue de 472 km. Esta importante diferencia con la longitud total de la red artificial actual, radica en que los autores priorizaron la modelación de los canales principales y secundarios más importantes. En función de los objetivos del trabajo, los autores simulaban principalmente condiciones de escurrimiento base o caudales bajos, por lo cual asumieron que el efecto de obras de paso era despreciable para los caudales utilizados en la calibración y en la verificación. Como resultado,

recomendaron valores de “n” de Manning de 0,030 para los afluentes y 0,035 para los tres tramos del A° Cululú (superior, medio e inferior). Bajo estas condiciones, el porcentaje de error en la estimación del tirante se acotó a +/- 5%. Esta diferenciación en la rugosidad, es debida a la consideración de características de los cursos de agua (canalizados en el primer caso y naturales en el segundo; estos últimos además cuentan con curvas en planta).

Un resultado eminentemente práctico del trabajo citado es el análisis de cuál es el caudal máximo que pueden transportar los canales, de acuerdo a la información geométrica utilizada, los que se detallan en la Tabla 4.1. Esto permitió concluir que: i) en la porción de la red comprendida por el Canal Principal N°1 y sus tres secundarios, el Canal Secundario N°3 aparece como sobredimensionado en función de las capacidades del resto; ii) el canal Vila-Cululú desborda siendo que la red hacia aguas abajo (Inferior Sunchales - Cda. Sunchales y A° Retiro) tendría capacidad para transportar caudales algo superiores, lo que indica posibilidades para el reacondicionamiento o limpieza, al menos para evitar ese desborde aguas arriba y, iii) el caudal del A° Cululú en el Tramo Medio Superior y Medio ocupa el valle de inundación, lo que es lógico porque es varias veces superior al caudal módulo anual en la Estación de RP50.

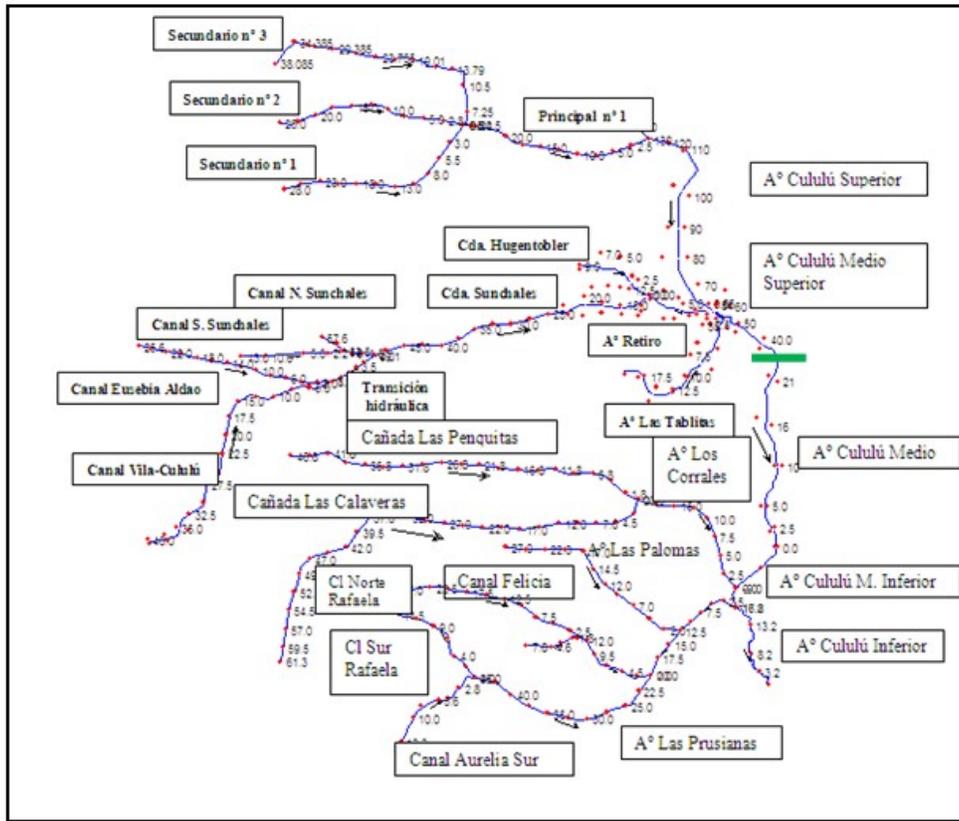


Figura 4.5. Red de drenaje de la cuenca del A° Cululú modelada por Ferreira y Rodríguez (2013). El segmento verde indica la posición de la sección transversal presentada en Fig. 4.3.

Canal	CAUDAL (m ³ /s)	REVANCHA (m)
Secundario n° 1	12,0	0,20
Secundario n° 2	8,0	0,00
Secundario n° 3	16,0	1,00
Principal n° 1	36,0	0,00
Norte Sunchales	24,0	0,25
Sur Sunchales	12,0	0,25
Inferior Sunchales	36,0	0,25
Eusebia-Aldao	0,5	0,0
Vila-Cululú	3,0	Desborda
Cañada Sunchales	39,5	0,5
A° Retiro	59,5	0,0
A° Las Tablitas	12,0	Desborda por remanso
A° Cululú Tramo Sup. Superior	42,0	0,0
A° Cululú Tramo Medio Superior	101,5	Ocupa el valle de inundación
A° Cululú Tramo Medio Inferior	113,5	Ocupa el valle de inundación

Tabla 4.1. Caudales de desborde de canales y revancha modelados (Ferreira y Rodríguez, 2013).

Finalmente, se debe puntualizar que, para los estados de saturación de la cuenca, la modelación hidráulica de la red de drenaje completa es mucho más dificultosa, por la cantidad de datos necesarios. En la Figura 4.6, se aprecia un sector de la red modelada y su interrelación con los bajos y cañadas, lo que demuestra lo dicho previamente. Se evidencia la interrelación entre la red temporaria que se genera en épocas de excesos hídricos y la red artificial. Esto provoca dos efectos contrapuestos en cuanto al movimiento de masas de agua encauzadas: por un lado, existe una reducción de los tiempos de traslado de los caudales pico hacia aguas abajo, pero por otro, se produce la redistribución de esos excesos por desborde lateral a lo largo de la traza del canal, ocupando áreas topográficamente deprimidas con disponibilidad para almacenar agua.

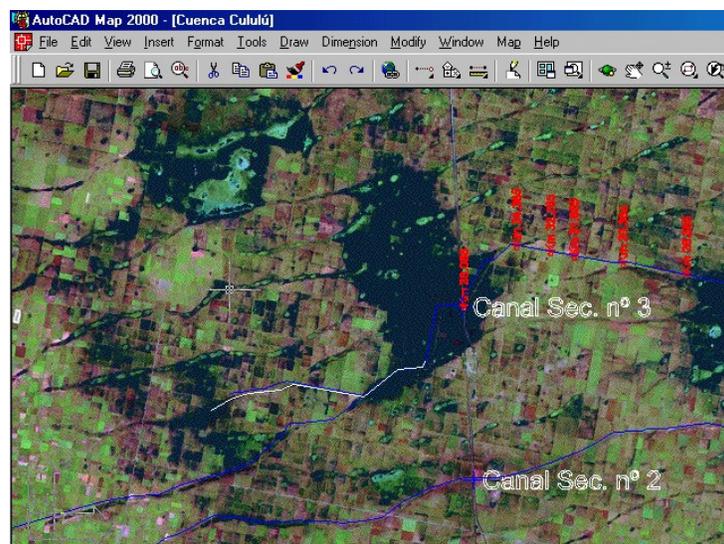


Figura 4.6. Red de drenaje artificial (en azul) –detalle sobre imagen georreferenciada.

4.3.4. Red de medición hidrológica

De acuerdo a los antecedentes analizados, la inversión de recursos provinciales en una red de estaciones para la medición de variables hidrológicas en la cuenca ha sido históricamente escasa en comparación con las inversiones realizadas en materia de infraestructura hidráulica y de la importancia socioeconómica de la región. En tal sentido merecen destacarse dos periodos: el primero transcurre desde principios de la década de 1970 y culmina a mediados de 1980, en el cual se instalan y operan algunas estaciones limnigráficas y se realizan campañas de aforo en diversos cursos de agua. Esta tarea en primera instancia la desarrolla la entonces Dirección General de Hidráulica (hoy SRH - MIT) y en una segunda etapa, el ex-Instituto Nacional de Ciencias y Técnicas Hídricas (INCyTH, 1986), actual Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Litoral (INA-CRL).

El segundo periodo se inicia a principios del presente milenio, con acciones conjuntas por parte de investigadores de la Universidad Nacional del Litoral y de la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas (Lenzi et al., 1998; Pittau y Hammerly, 2001), las que luego toman mayor impulso con el Proyecto FLAGS (Ferreira et al., 2002). A posteriori de la catastrófica crecida del río Salado del año 2003, la provincia decide la implementación de la Red Telemétrica en la cuenca del río Salado, con varias estaciones de medición ubicadas en la cuenca del A° Cululú, lo cual se concreta a partir del año 2007 (Ferreira, 2015).

Los registros de precipitaciones son los de mayor longitud y calidad y se inician en general a principios del siglo pasado. El número de estaciones es variable con el tiempo. Al día de la fecha existen en funcionamiento en la cuenca cerca de 60 (sesenta) estaciones, que dependen de varios organismos (nacionales, provinciales, locales), universidades, organizaciones intermedias, escuelas agrotécnicas y particulares. Merece una mención especial la Estación Rafaela del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) instalada en la Agencia Experimental, al norte de la ciudad de Rafaela, la cual registra datos de precipitación desde el año 1930 y de niveles freáticos desde el año 1969. En la Figura 4.7 se observa la distribución actual de estaciones pluviométricas.

Por otro lado, el número de estaciones de medición de caudales también ha sido variable en el tiempo. Los registros son notablemente más cortos y con mayores vacíos que los de precipitación y se inician a finales de la década de 1970. No obstante, a raíz del funcionamiento de la Red Telemétrica, en la última década se ha generado información en una mayor cantidad de estaciones, con aceptable continuidad y mayor precisión en los datos. Estas mejoras implementadas superan largamente los resultados de las acciones realizadas para evaluar el recurso hídrico en las décadas de 1970 y 1980. En la Figura 4.8 se muestra la ubicación de las estaciones en funcionamiento al año 2018, todas pertenecientes a la SRH-MIT de la provincia de Santa Fe, a la cual se agregan sitios de aforos realizados en época de la emergencia por inundación 2016-2017, los que aún no se constituyen como una estación hidrométrica propiamente dicha.

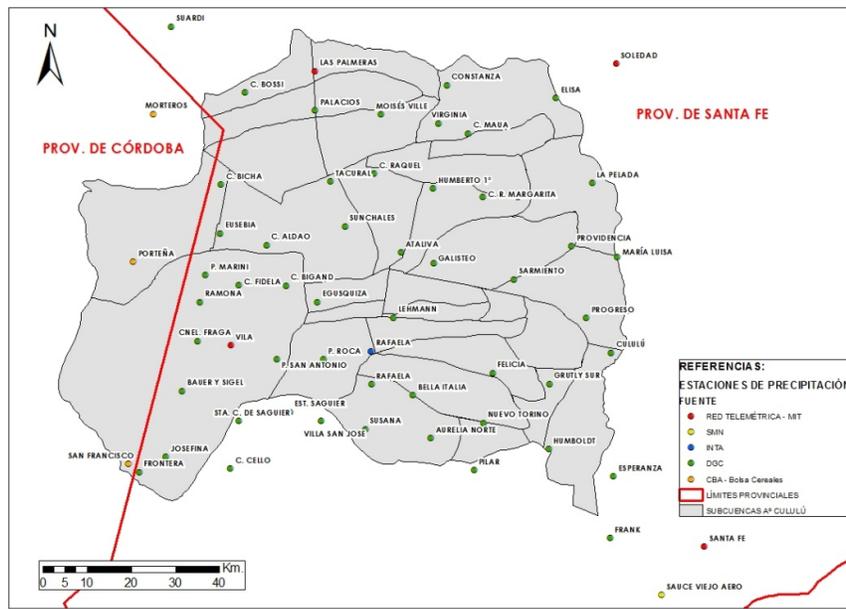


Figura 4.7. Distribución actual de estaciones pluviométricas en la cuenca del A° Cululú.

También es posible encontrar registros freaticométricos en varios puntos de la cuenca que conforman una serie de diez años en cada sitio de medición, en coincidencia con las estaciones Tipo A1 de la Red Telemétrica, además del freaticómetro del INTA Rafaela ya mencionado (ver su distribución en Figura 4.7). Por otro lado, un número acotado de registros fueron obtenidos en otras localizaciones dentro de la cuenca, durante el transcurso de un Proyecto de Extensión de Interés Social (UNL), como parte de un esfuerzo conjunto con la participación de escuelas agrotécnicas, entre otras se destaca la Estación Colonia Vignaud, situada en la provincia de Córdoba (ver Figura 4.2) (Ferreira y Rodríguez, 2005a). En la cuenca se han efectuado escasos censos de pozos por parte de distintos organismos (CAAAS, 1973; INCYTH, 1986; INA, 2002; Ferreira et al., 2003).

Las series de datos de precipitación, caudal y nivel freático están en general dispersas: no existe al día de la fecha, una base de datos actualizada, organizada y centralizada donde encontrar todo lo que se ha registrado a lo largo de décadas. Evidentemente que esta es una tarea pendiente para los organismos de gestión hídrica provincial.

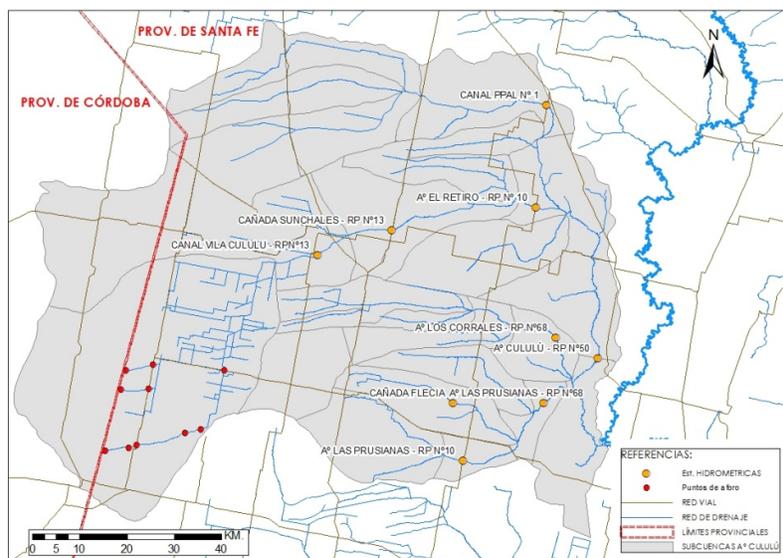


Figura 4.8. Distribución actual de estaciones hidrométricas en la cuenca del A° Cululú.
Fuente: SRH-MIT.

4.3.5. Régimen de precipitaciones

Sintéticamente se analiza la serie más larga y confiable de la cuenca, perteneciente a la Estación INTA Rafaela, serie disponible desde 1930 hasta el presente (Figura 4.9). A partir de las precipitaciones anuales, se observa claramente que en los últimos treinta años se presenta la mayor cantidad de años con precipitaciones importantes, cuya magnitud se encuentra por encima de la media histórica de la serie (962 mm). De acuerdo a estudios previos (INA-FICH-INTA, 2007), las precipitaciones medias anuales de la ciudad de Rafaela se incrementaron en un 16 % si se compara la serie 1941-1970 con la serie 1971-2000, siendo para la primera serie 890 mm y para la segunda 1032 mm.

La distribución de precipitaciones en el semestre cálido (octubre-marzo) en promedio acumula un 74 % del total anual, lo que implica un 26 % para el semestre frío (abril-setiembre). La Figura 4.10 muestra los promedios mensuales de acuerdo al año hidrológico. Otros estudios y análisis efectuados con datos de la misma estación se presentan en el Capítulo 5.

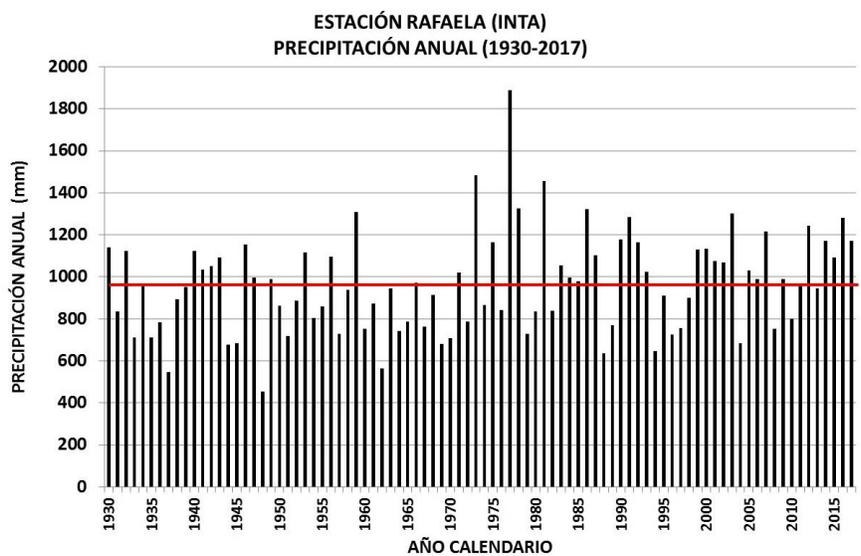


Figura 4.9. Registro histórico de las precipitaciones anuales en la estación INTA Rafaela (1930-2017).

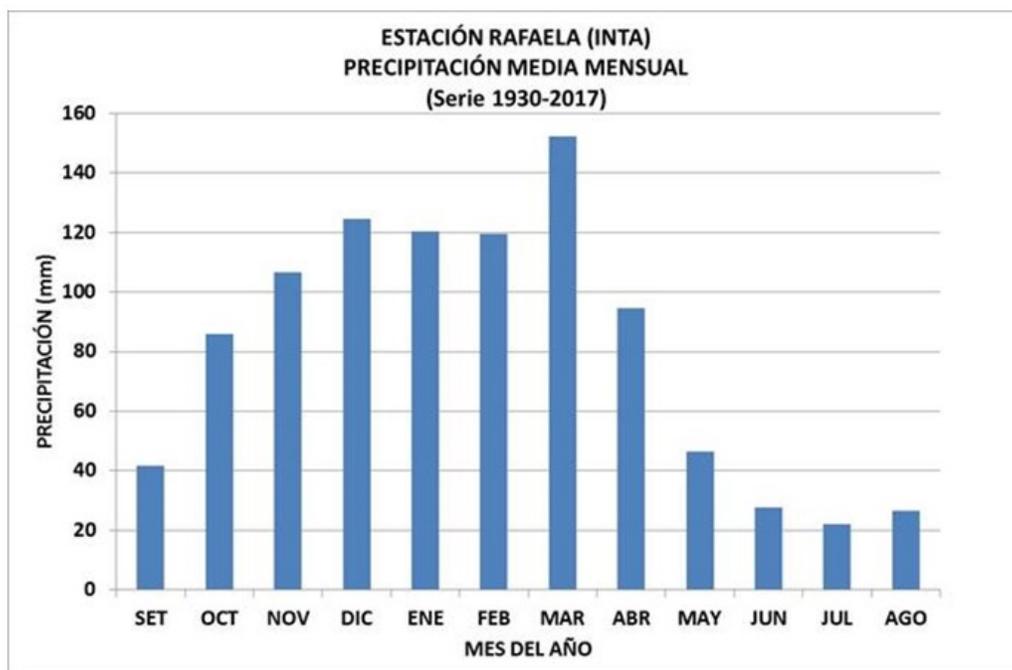


Figura 4.10. Precipitación media mensual. Estación INTA Rafaela (serie 1930-2017).

4.3.6. Régimen de escurrimiento superficial

La serie de caudales más extensa -aunque con interrupciones- pertenece a la Estación Hidrométrica Cululú, situada a pocos metros del puente de la Ruta 50-S, en las cercanías de la localidad de Cululú, en el Departamento Las Colonias. Los datos fueron registrados en diversos periodos por varios organismos, de acuerdo a la siguiente tabla (en el Anexo 5-2 se incluyen los datos de caudal medio mensual):

SERIE	ORGANISMO ENCARGADO	FUENTES / OBSERVACIONES
1974-1978	DGH-Santa Fe	Datos obtenidos de fajas de limnógrafo recopiladas en el Centro de Documentación de la SRH-MIT y presentados por primera vez en esta tesis). Con muchas interrupciones.
1978-1986	INCYTH	Anuarios Hidrológicos (INCYTH, 1986).
1986-1988	DPOH-MOSPYV	Sin publicar. Con interrupciones.
2000-2001	DPOH-FICH (mediante un Convenio específico).	Anuario Hidrológico (Pittau y Hammerly, 2001). Con interrupciones.
2004-2017	SRH-MIT	Datos de la Red Telemétrica de la cuenca del río Salado. (Ferreira, 2015). Con interrupciones.

Tabla 4.2. Organismos encargados del funcionamiento de la Estación Hidrométrica Cululú en RP50 y serie relacionada.

Se destaca la ausencia total de datos en el periodo comprendido entre los años 1989 a 1999, inclusive. En base a la información disponible, se puede establecer que el régimen de caudales, en términos medios mensuales, está directamente vinculado al régimen de precipitaciones. Los mayores caudales medios mensuales se presentan en los meses de febrero, marzo y abril y en orden creciente. En tanto que el estiaje se produce en los meses de menor precipitación (junio-julio-agosto). La Tabla 4.3 incluye el caudal medio mensual de la serie disponible 1977-2017. La cantidad de datos para el cálculo es de 22 a 25 datos, sobre un total de 40 años. En la Figura 4.11 se aprecia que el caudal medio mensual máximo se produce en el mes de abril, ya pasadas las lluvias del verano.

MES	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Q	4,86	11,64	13,17	11,96	15,40	21,97	25,60	50,81	18,01	4,11	4,44	2,03
Datos Disp.	23	23	23	23	22	22	24	25	24	25	24	24

Tabla 4.3. Caudal medio mensual (m³/s) – Serie 1977-2017.

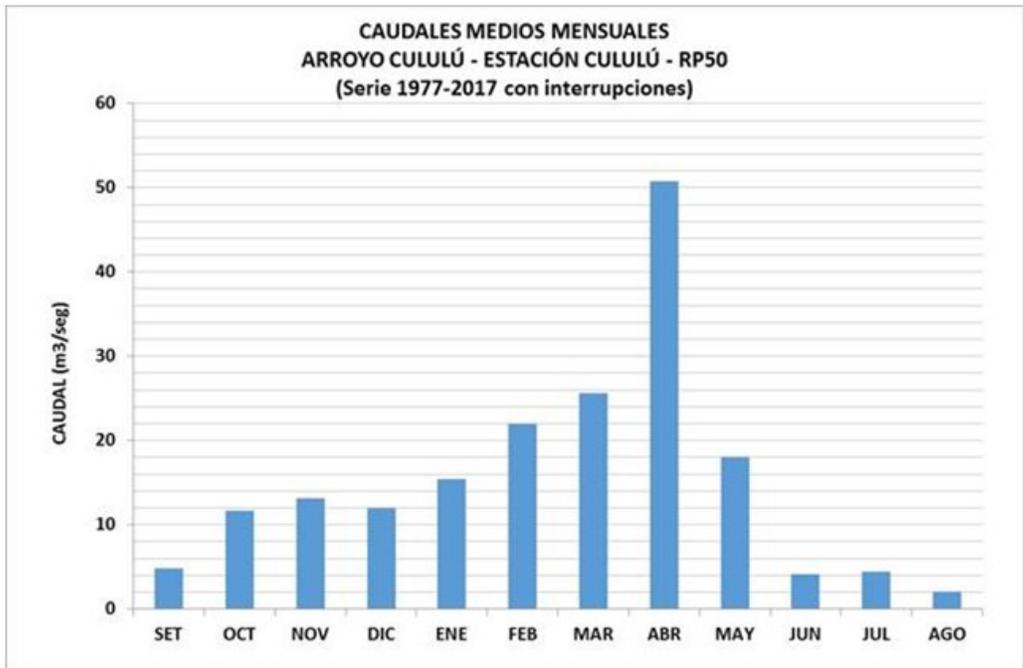


Figura 4.11. Caudales medios mensuales del A° Cululú (serie 1977-2017 con interrupciones).

En el siguiente Capítulo 5, se realiza un análisis de cada uno de los dos periodos de registro por separado.

4.3.7. Niveles freáticos

Los primeros registros del nivel freático en Rafaela, son aportados por Gollán y Lachaga (1939) para la serie 1921-1938. En estos 17 años, la profundidad promedio del nivel freático fue de 14,84 m. A partir del trabajo realizado por el Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas (CAAAS, 1973), el nivel freático comienza a registrarse diariamente desde 1969 en un punto situado en la Estación Rafaela (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), ubicada a los 31°11'56.43" S y 61°30'0.51" O.

La serie de niveles freáticos de Rafaela ha sido estudiada por varios investigadores en distintas épocas. Esto tiene relación con la buena calidad de los datos; la longitud del registro; la cercanía a una ciudad importante como Rafaela y su ubicación, representativa del área de planicie que la circunda (Bender y Vierhuff, 1980; INCYTH, 1986; Giacosa, 2000; Venencio y Varni, 2003; Ferreira y Rodriguez, 2005; Ferreira et al., 2009; Ferreira y Marizza, 2016).

En la Figura 4.12 se observan las fluctuaciones de los niveles medios mensuales de la serie 1970-2017. Puede apreciarse que existe un crecimiento sostenido en los niveles

desde principios de la década del '70, lo que muestra el inicio de un período húmedo que aún hoy se mantiene, superpuesto al cambio en el uso del suelo experimentado.

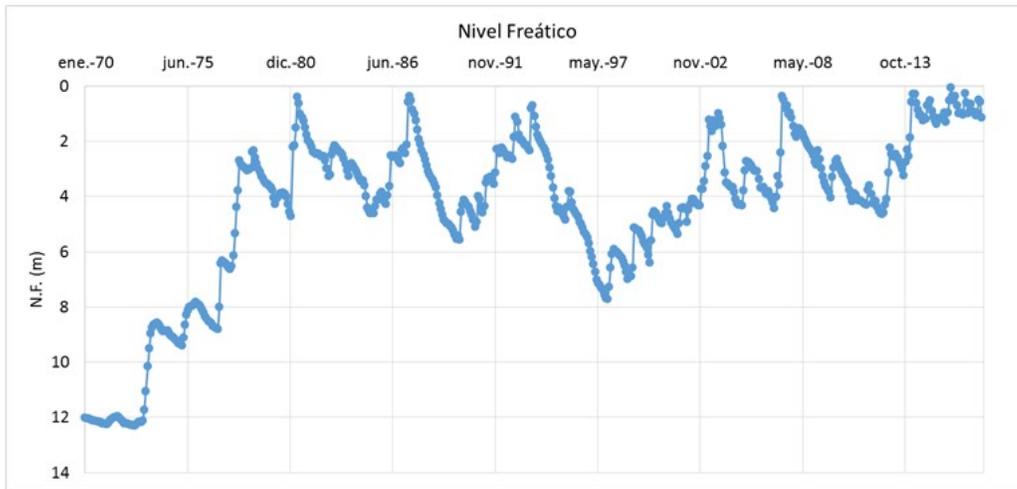


Figura 4.12. Niveles freáticos medios mensuales en la estación INTA Rafaela (1969-2017).

Se destacan las siguientes características:

- Al inicio del registro, el nivel se encontraba a 12 m de profundidad y en pocos años ascendió a valores cercanos a los 6 m. Entre finales de la década del '70 y mediados de los '90, el nivel fluctuó entre los 6 m de profundidad y la superficie del terreno.
- A partir de diciembre de 1997, se registra una tendencia ascendente en coincidencia con la manifestación del evento de El Niño 1998.
- Desde el año 2001, el promedio mensual se sitúa a menos de 5 m de profundidad. En particular en el último lustro, el nivel freático medio mensual se ubica a profundidades menores de 2 m.

4.3.8. Uso del suelo

Giorgi et al. (2007) realizaron la cartografía del uso de la tierra de un sector de la cuenca del río Salado que comprende a la subcuenca del A° Cululú. El trabajo abarca dos periodos, los cuales corresponden a la situación reciente (2005-2007) y a la situación existente en la década 1970-1980. Fue realizado a través de la interpretación visual de imágenes satelitales, con apoyo de datos de campo, clasificaciones disponibles y consultas a informantes calificados.

En un primer nivel, la clasificación se basa en la proporción de tierras dedicadas a agricultura y ganadería: tierras bajo uso predominantemente agrícola, ganadero o mixto. Mixto implica que en la unidad delimitada en el mapa no se observa un uso totalmente dominante. Por otra parte, dentro de las tierras de uso agrícola no se hacen diferenciaciones. Sin embargo, en las tierras de uso ganadero se discriminan las que presentan grandes restricciones (inundables), las que han sido poco alteradas (monte), moderadamente modificadas (pastizales) y muy alteradas (pasturas de alta producción).

Según los autores mencionados, “en la actualidad las categorías que incluyen agricultura, presentan un predominio de los cultivos de verano, mayoritariamente soja, en parte doble cultivo trigo/soja. En la década de 1970 incluían una mayor proporción de trigo y la casi inexistencia de la soja; los cultivos dominantes de verano eran girasol, maíz y sorgo. Asimismo, han ocurrido cambios importantes en los sistemas de labranza. En 1970 lo típico era el arado de reja. Actualmente gran parte de los cultivos agrícolas se realizan bajo sistema de siembra directa y los forrajeros con arado de disco.” Los cambios en las especies forrajeras y de cosecha, así como de los sistemas de labranza y utilización del alambrado eléctrico, cobraron intensidad a partir de mediados de la década de 1980.

En forma resumida, los cambios globales a nivel de toda la cuenca del Salado son los siguientes (Giorgi et al., 2007): i) Monte: en general, no se observan variaciones de importancia entre los periodos considerados. El desmonte generalizado es anterior a 1970; ii) Agricultura: Se observa un gran aumento de la superficie ocupada. En general, esto ocurre sobre tierras de buena aptitud dedicadas anteriormente a la ganadería. Por las fechas de maduración y cosecha, las tierras quedan con escasa protección desde fines del verano, lo que puede ser de importancia en sectores con pendiente y lluvias muy intensas; iii) Ganadería sobre pasturas implantadas: en tierras de buena aptitud se observa una disminución de la superficie, en tanto que han avanzado sobre tierras ocupadas por pastizales naturales o poco modificados en la década de 1970. Asimismo, se ha incrementado la carga animal, que llega hasta duplicarse; iv) Ganadería sobre pastizales asociados a planos de inundación de cursos de agua: no se observan cambios y v) Ganadería sobre pastizales hidro-halófilos asociados a planos de extensos y levemente deprimidos: se habría producido una disminución de la intensidad del uso, asociado a mayores excesos hídricos.

5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología desarrollada en el Capítulo 3. En algunos apartados, por razones de espacio o para facilitar la lectura, se remite a los anexos para más detalles.

Se efectuó una detallada búsqueda de antecedentes bibliográficos, los cuales han sido recopilados con el objeto de obtener un panorama actualizado de la problemática de la gestión de los escurrimientos superficiales, del drenaje y el uso del recurso hídrico, cuyo resultado fue útil para la implementación del modelo. En cuanto a la obtención de datos del sistema físico y de la organización institucional provincial, la búsqueda se completó con la consulta frecuente al Centro de Documentación de la SRH de la provincia de Santa Fe. Se elaboró el mapa de actores, destacando el actor principal de la cuenca.

Como parte del conocimiento del sistema físico, necesario para las simulaciones hidrológicas de situaciones históricas y escenarios futuros, se realizó un exhaustivo análisis de las precipitaciones y caudales en la cuenca. Las simulaciones comprendieron la calibración y verificación del modelo para diferentes condiciones históricas, y la simulación de escenarios de manejo del recurso hídrico. Por último, se revisaron antecedentes acerca de casos con problemáticas similares con el fin de analizar diferentes experiencias.

5.2. Mapa de actores

5.2.1. Listado general y clasificación

En primer lugar, se identifican y describen de manera sucinta los diversos actores. A partir de este paso se los clasifica en función de varias características, a saber: (i) si son responsables o contribuyentes, de acuerdo con la clasificación de Schultz (2001); (ii) de acuerdo a su relación con la toma de decisiones; (iii) su grado de vinculación con la problemática, y (iv) su grado de participación potencial en la procura de soluciones.

Los resultados son convenientemente presentados en forma de tabla o matriz (ver Figura 5.1). Se muestra en forma parcial debido a la extensión de la tabla. La matriz completa se presenta en el Anexo 5.1, y constituye el denominado Mapa de Actores.

Id.	IDENTIFICACIÓN		Jurisdicción o Alcance	CLASIFICACIÓN SEGÚN								
				SCHULTZ (2001)		INVOLUCRAMIENTO EN LA TOMA DE DECISIONES		GRADO DE PARTICIPACIÓN POTENCIAL			GRADO DE VINCULACIÓN PROBLEMA	
				RESPONSABLES	CONTRIBUYENTES	DIRECTA	INDIRECTA	A L T O	M E D I O	B A J O	A L T O	M E D I O
Nº	Actor	Descripción										
	GOBIERNO PROVINCIAL											
	La actual estructura ministerial se rige por la Ley N°... (Ley de Ministerios). La mencionada norma es modificada cada cuatro años ante la renovación de las autoridades.		Provincial									
1	Ministerio de Infraestructura y Transporte. Secretaría de Recursos Hídricos.	Organismo del Gobierno Provincial. Organismo de aplicación de la Ley 3630/06 de Comités de Cuenca.	Provincial									
2	Ministerio de Infraestructura y Transporte. Administración Provincial de Vialidad		Provincial									
3	Ministerio de Infraestructura y Transporte. Secretaría de Aguas y Saneamiento	Organismo del Gobierno Provincial. Organismo de aplicación de las políticas de AGUA Y SANEAMIENTO a nivel rural	Provincial									
4	Ministerio de la Producción. Secretaría de Agricultura Ganadería y Recursos Naturales	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial									
5	Ministerio de Medio Ambiente - Subsecretaría de Recursos Naturales	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial									
6	Ministerio de Obras Públicas	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial									
7	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial									
8	Ministerio de Gobierno y Reforma del Estado	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial									
9	Poder Legislativo (Diputados y Senadores)		Provincial									
10	Poder Judicial		Provincial									
	COMITES DE CUENCA											
	Funcionan a través de la aplicación de la Ley N° 3630/06 y son formados por un decreto específico.		Regional									
11	Canales Secundarios N°s. 1, 2 y 3 del Principal N° 1.	Estos organismos se rigen por la Ley Provincial N° 3630/06 (Gobierno de la Prov. de Santa Fe, 1977) y tienen como finalidad contribuir, con las reparticiones competentes de la Provincia, promoviendo el desarrollo del área a través del manejo y aprovechamiento del recurso hídrico. Sus funciones son: entre otras: la ejecución de	Regional									
12	Canal Principal N° 1 y Secundario N° 1.		Regional									

Figura 5.1. Mapa de actores (vista parcial – VER ANEXO 5.1).

Del análisis del mapa de actores, pueden extraerse algunos indicadores:

- El número total de actores identificados es de 108, de los cuales se identifican 80 como responsables y 28 como contribuyentes.
- Entre los actores responsables se han identificado: Organismos del Gobierno Provincial, los que suman 8, donde el principal actor de acuerdo a la legislación vigente es la SRH-MIT, cuya composición, misiones y funciones se describen en detalle más abajo; Poder Legislativo; Poder Judicial; varias Municipalidades (5) –entre las cuales se incluye por su importancia a la ciudad de San Francisco, y a numerosas comunas (58), además de los actuales Comités de Cuenca (6). A continuación, se presenta la distribución de estos actores (ver Figura 5.2). Puede observarse que los productores rurales están considerados como un actor único, así se los tiene en cuenta como actores responsables, pero su participación no es individual, sino a través de representantes (tanto en los Comités de Cuenca, como en las diferentes asociaciones rurales que forman parte de los actores contribuyentes).
- Entre los actores contribuyentes se han identificado: Organismos del Estado Nacional, con presencia en la cuenca; Universidades Nacionales; instituciones y asociaciones empresariales y Colegios Profesionales.
- En todos los casos se ha clasificado a cada actor considerado mediante otras características, como son: la relación con la toma de decisiones (en directa o indirecta); el grado de vinculación con la problemática y la participación potencial en la procura de soluciones (en alto, medio o bajo).

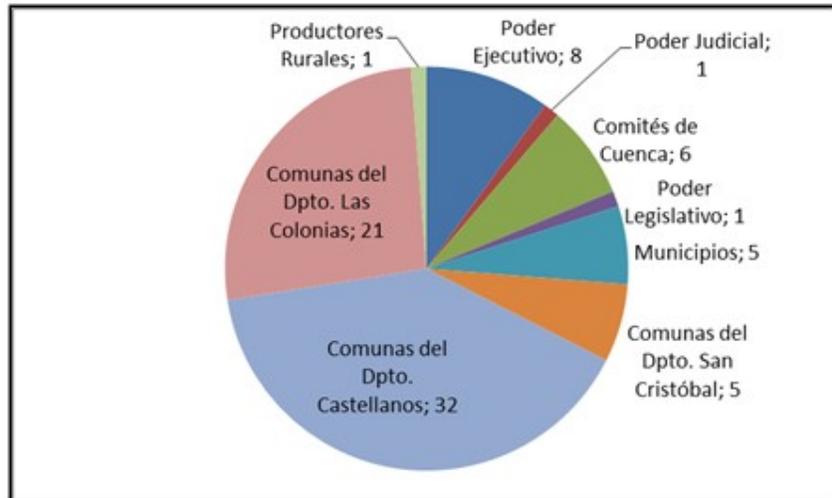


Figura 5.2. Mapa de actores: distribución de ACTORES RESPONSABLES.

Hasta ahora el esquema tradicional de la gestión de los recursos hídricos se ha caracterizado por la existencia de una relación piramidal entre estos tres protagonistas: el Estado, los Comités de Cuenca y los productores rurales. Para la elaboración del mapa se han considerado varios grupos de los actores contribuyentes con un grado de participación potencial bajo, pero esta situación puede cambiar en el futuro: con el paso del tiempo y debido a los cambios que se van experimentando en el enfoque de la gestión de los recursos hídricos y el interés por el estado del medio ambiente, la visión estrictamente productivista está siendo condicionada por la aparición de actores en procura de una mayor atención a los aspectos ambientales, en sintonía con la nueva normativa provincial vigente (Ley Provincial del Agua N° 13740) y con las perspectivas introducidas desde hace una década por el Plan Estratégico Provincial (PEP, 2008).

De esta manera un nuevo protagonista de carácter básicamente ambiental ha entrado en escena de forma incipiente: la Sociedad Civil Organizada (Ricart et al., 2013). Este actor reúne ámbitos diversos de la sociedad los que, a través de la acción colectiva y sobrepasando el interés meramente sectorial, se postulan como integradores de las nuevas funciones y usos vinculados a la gestión del agua (económicos, ambientales, sociales, recreativos, patrimoniales, paisajísticos), como respuesta de toma de conciencia a impactos graves (del clima, de la economía, otros), lo que implica manejarse con una constante incertidumbre. Estos criterios tomarán cada vez más fuerza con la mayor participación pública que se espera conseguir a través de la información y la capacitación. En resumen, las organizaciones de la sociedad civil tienen cada vez mayor involucramiento en los temas ambientales y es dable esperar en el futuro que

ocurra lo mismo con los actores de la cuenca del A° Cululú. Estos cambios pueden traer aparejadas nuevas oportunidades para alcanzar una gestión sustentable de la cuenca.

5.2.2. Comités de Cuenca en la provincia de Santa Fe

Los Comités de Cuenca son una herramienta institucional básica para desarrollar una política de prevención de daños por inundaciones con amplio arraigo en el territorio. Estos organismos están integrados por los productores agropecuarios; las Comunas y el Estado Provincial.

Los Comités de Cuenca se rigen por la Ley Provincial N° 9830/86 y su Decreto Reglamentario N° 4960 los cuales facultan al Poder Ejecutivo a disponer la constitución de Comités de Cuenca que actuarán como personas jurídicas de derecho público y a los cuales se les fijará competencia territorial (art.1). Estos organismos tienen como finalidad contribuir, con las reparticiones competentes de la Provincia, promoviendo el desarrollo del área a través del manejo y aprovechamiento del recurso hídrico. Sus funciones son -entre otras- la ejecución de los trabajos de mantenimiento y conservación de las obras existentes para preservar las condiciones de drenaje y de obras hidráulicas complementarias menores (art.2).

Las obras para mitigar los impactos de las inundaciones que son ejecutadas en la provincia son llevadas a cabo por administración; por contratación a terceros o a través de los Comités de Cuenca. Las obras por terceros, se realizan por medio de licitación pública y su financiamiento proviene de recursos provinciales; contribución por mejoras y créditos internacionales. El tipo de obras que predominan son construcción o reacondicionamiento de: canales de drenaje; terraplenes de defensa; alambrados; alcantarillas y puentes (Ferreira, 1998).

Estos entes son integrados por (art.3):

- a - Un representante del organismo provincial en materia de aguas (actual SRH).
- b - Cada uno de los Distritos afectados, que concurren con cuatro titulares y cuatro suplentes, que representan en proporciones iguales a los entes comunales y beneficiarios de las obras.

Corresponde al Comité de Cuenca (art.4) proponer ante la SRH el plan de trabajo a desarrollar y ejecutar por sí o por terceros. Debe, además, elevar anualmente al Poder Ejecutivo, un informe de la labor desarrollada y el presupuesto con sus recursos y

erogaciones. Los órganos del Comité de Cuenca son la Asamblea Plenaria y el Comité Ejecutivo (art.5). Entre las atribuciones de la primera, se destacan (art.7):

a - Designar de entre sus miembros a los integrantes del Comité Ejecutivo y decidir su remoción con causa.

b - Aprobar los proyectos de presupuesto y plan de trabajo anuales.

c - Aprobar la imposición del tributo por hectárea para la concreción de las funciones a las que se refiere el art.2.

d - Autorizar las contrataciones, compras e inversiones y movimientos de fondos, así como las gestiones destinadas a la obtención de créditos, para la compra de bienes destinados al funcionamiento y equipamiento.

e - Aprobar el proyecto de informe anual al Poder Ejecutivo; el Balance General y la Rendición de Cuentas anual.

El costo de las tareas desarrolladas por los Comités, en parte es soportado por el Estado Provincial, a través de las Rentas Generales, mediante el aporte de maquinarias y repuestos. La otra parte, destinada principalmente a los costos operativos del sistema, está a cargo de los productores agropecuarios de la cuenca, mediante una tasa que es proporcional a la superficie de cada propiedad. Es de destacar que esta tasa no es un tributo fijado por el Estado, sino que es la Asamblea Plenaria la que establece la contribución por hectárea, en función de las obras a realizar y de la capacidad económica de la región.

Los recursos se forman (art.19) de la siguiente manera:

a - Con la contribución de los beneficiarios de la cuenca mediante el pago del tributo por hectárea que se fije.

b - Con los fondos que eventualmente les designe el Estado.

c - Con subsidios, donaciones en efectivo, equipos y materiales que reciba de instituciones públicas, privadas y de particulares.

Si bien el art. 20 prevé una categorización de beneficiarios, dejando la definición y argumentación técnica al organismo de competencia, hasta ahora la norma que prevalece es la de aplicar una contribución igual por hectárea. El concepto de "tasa uniforme por hectárea" para toda la cuenca, fue revisado en trabajos anteriores (Ferreira, 1994; 1995) proponiendo un método de cálculo de tasas diferenciales en función de las obras construidas o las planificadas, de los tipos de suelos de la cuenca y de los beneficiarios de estas obras.

La función del Representante Técnico es desarrollar la comunicación entre el Comité de Cuenca y la SRH y realizar la inspección técnica de las obras que ejecuta el Comité. La mayoría de las obras de canalización se ejecutan con equipos excavadores asignados por la provincia y equipos propios, encargándose el Comité de Cuenca del apoyo logístico de los mismos. Además, se ejecutan obras contratando equipos privados. De acuerdo con Gandolfo (1998), al momento de creación de muchos de estos organismos (mediados de la década de 1980), existía ausencia de estudios integrales en las respectivas cuencas hidrográficas; inadecuada capacitación profesional que reflejaba la falta de conocimiento profundo del funcionamiento de los sistemas hidrológicos de llanura y descontrol en la ejecución de las obras de canalización, lo que conducía a una situación anárquica, no existiendo una relación coherente entre la provincia, el Comité de Cuenca y los contribuyentes que lo integraban. En este marco, los resultados esperados de las obras de canalización no fueron satisfactorios. Las obras realizadas se encuentran en su mayoría en la parte alta de la cuenca, sin proyecto y sin el correspondiente control de su ejecución, causando como consecuencia el traslado de los daños a las zonas de aguas abajo, aumentando de esta manera el descontento y el descreimiento de los contribuyentes.

Con el objeto de revertir esta situación, se comenzó a buscar una metodología a los fines de determinar el funcionamiento de los sistemas de llanura preponderantes en la provincia, llevándose a cabo estudios integrales interdisciplinarios de los mismos. Se determinó además la importancia de la inspección y el control de la construcción de canales en sistemas de llanura con depresiones como los de la provincia de Santa Fe, estando la misma a cargo del Representante Técnico designado en cada Comité de Cuenca. A los fines de perfeccionar y garantizar la calidad de la ejecución de las obras, se adoptaron medidas como la de rotar cada dos años a los secretarios técnicos, creando además comisiones con el fin de auditar las obras ejecutadas. Una importante medida de la evolución de estos organismos es su intervención en situaciones de emergencia hídrica, ya sea por exceso o por déficit del recurso. Esto ha tomado relevancia en los últimos años, fundamentalmente a partir de la década de 1990.

Hasta el presente, se han creado 39 Comités de Cuencas (Figura 5.3), de los cuales: 32 están en funcionamiento pleno; 3 han sido creados, pero sin constitución y 4 paralizados. La superficie total que abarcan los Comités de Cuencas es de 71.800 km², siendo la superficie de la Provincia de 133.007 km², ocupan casi el 54 % de la misma.

Involucran a 250 distritos, un 68 % del total de los distritos de la provincia y agrupan a más de 1000 representantes de productores en participación plena, de acuerdo con Schmidt (2018).

Desde 1979 a 1995 se crearon 29 (veintinueve) Comités de Cuencas y desde el año 2010 al 2015, se crearon otros 10 (diez). Recientemente se ampliaron las jurisdicciones de 3 (tres) de ellos. En cuanto a la recaudación de la tasa por hectárea, se observa disparidad en los porcentajes: entre el 30 y el 90%. El valor se fija en litros de gas-oil por hectárea y por año. Por ser una tasa que se autoimpone la Asamblea, la misma es variable de Comité a Comité. Actualmente varía entre 1,5 a 6 lt/ha/año, siendo el monto recaudado estimado anual de pesos 195.000.000. El equipamiento dedicado a obras en el sistema de Comités de Cuenca es de 83 equipos retroexcavadores, de los cuales 15 son nuevos. De este total, 21 equipos se dedican a tareas volantes, los cuales son asistidos para su transporte con carretones y camiones. Se estima a 2018 una producción anual de 3.750.000 m³ de excavación de suelo. Como tareas complementarias se efectúan obras de alcantarillado, alambrado perimetral, alteo de caminos provinciales y comunales (Schmidt, 2018). De acuerdo con este autor, entre las ventajas de los Comités de Cuenca pueden establecerse las siguientes:

- Generan un ámbito institucional donde cada región identifica los problemas hídricos y promueve/gestiona la búsqueda de soluciones.
- Garantizan la continuidad en el tiempo de este accionar comunitario.
- Permiten el desarrollo y capacitación de los dirigentes zonales.
- Incrementan el nivel de conciencia pública regional sobre el manejo de los recursos naturales.
- Aseguran que los aportes económicos sean volcados íntegramente a la superación de las limitaciones que la propia región posee.
- Una ventaja económica: el movimiento de suelos efectuado por los Comités de Cuencas tiene un costo operativo equivalente a un tercio del trabajo realizado mediante licitación pública.

Por otra parte, la reciente promulgación de la Ley de Aguas de la provincia de Santa Fe, postula la creación de Organizaciones de Cuenca (artículos 189 al 192) y de Organizaciones de Usuarios (artículos 193 al 197) “en determinados aspectos de la gestión hídrica (riego, drenaje, agua potable, etc.)”. A diciembre de 2018, los artículos mencionados aún no han sido reglamentados, pero se prevé que los Comités de Cuenca,

tal como se los conoce en la actualidad, habrán de experimentar modificaciones en un futuro no muy lejano.

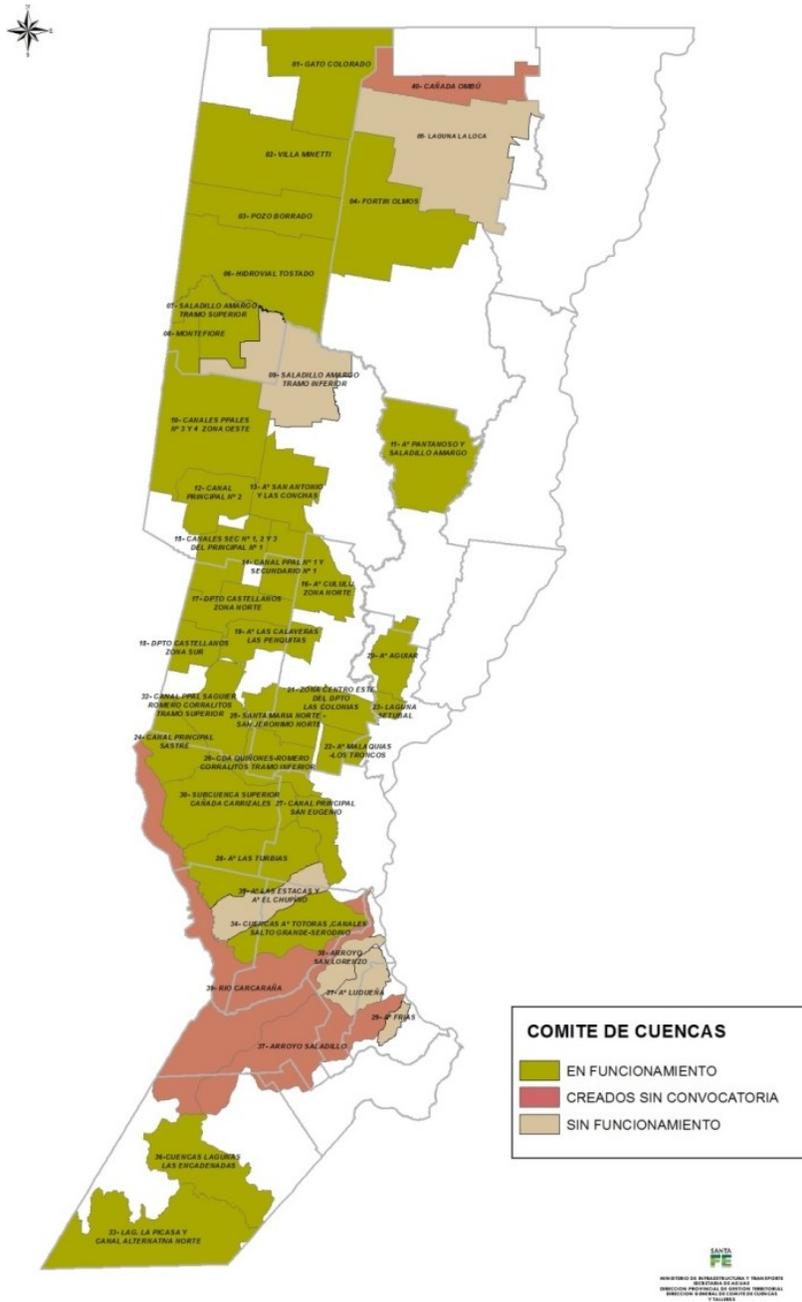


Figura 5.3. Comités de Cuenca de la prov. de Santa Fe (Schmidt, 2018).

5.2.3. Comités de Cuenca del A° Cululú

De acuerdo a los datos recabados, que se muestran en las Tabla 5.1 y Tabla 5.2, los Comités de Cuenca del A° Cululú son seis y abarcan una superficie de 6.277,3 km², por lo tanto, cubren alrededor de dos terceras partes del área de la cuenca. En estos

organismos están representados varios miles de productores. En cuanto a la ubicación geográfica en la cuenca, puede observarse en el mapa de la Figura 5.4, que los mismos han sido conformados en las áreas media y alta. La zona baja (o de descarga) no tiene Comités de Cuenca. Además de no cubrir la totalidad de la cuenca, los Comités existentes tienen límites con una forma poligonal como consecuencia de la adición de los territorios de los distritos políticos que los conforman, nada más alejado de los límites naturales.

REFE- RENCIA	NOMBRE DEL COMITÉ DE CUENCA
14	Canal Principal N° 1 y Secundario N° 1 – San Cristóbal
15	Canales Secundarios N° 1, 2 y 3 del Principal N° 1 – San Cristóbal
16	Comité de Cuenca Arroyo Cululú – Zona Norte
17	Comité de Cuenca Dpto. Castellanos – Zona Norte
18	Comité de Cuenca Dpto. Castellanos - Zona Sur
19	Comité de Cuenca A° Las Calaveras y A° Las Penquitas

Tabla 5.1. Comités de Cuenca de la cuenca del A° Cululú.

REFERENCIA	SEDE	DISTRITOS QUE LO INTEGRAN	Número de DECRETO	SUPER- FICIE (has)	CONTRI- BUYENTES
14	Humberto I	4 - Humberto I, Colonia Mauá, Virginia, Constanza.	3045/79	85.600	721
15	Palacios	8 - Colonia Bicha, Las Palmeras, Tacural, Hugentobler, Moises Ville, Palacios, Colonia Bossi, Colonia Tacurales	3044/79	134.000	1.148
16	La Pelada	6 - Ituzaingó, Elisa, Providencia, La Pelada, María Luisa, Soutomayor	3043/79	110.000	1.312

REFERENCIA	SEDE	DISTRITOS QUE LO INTEGRAN	Número de DECRETO	SUPERFICIE (has)	CONTRIBUYENTES
17	Colonia Aldao	9 - Galisteo, Ataliva, Sunchales, Colonia Aldao, Bigand, Eusebia, Fidela, Marini, Egusquiza	1869/82	126.000	1.098
18	Vila	6 - Bauer y Sigel, Coronel Fraga, Vila, Ramona, Castellanos, San Antonio	2880/84	63.630	1.350
19	Rafaela	7 - Roca, Lehman, Egusquiza, Rafaela, Bella Italia, Felicia, Sarmiento	3511/92	103.500	1.100
TOTALES	6	40	-----	622.730	6.729

Tabla 5.2. Datos de los Comités de Cuenca de la cuenca del A° Cululú.

En la mayor parte de los casos, el decreto de formación de los Comités se promulgó a principios de la década de 1980, con la excepción del Comité de Cuenca A° Las Calaveras y A° Las Penquitas, que se formó en 1992. El tamaño de la propiedad promedio es de 92,5 has/contribuyente.

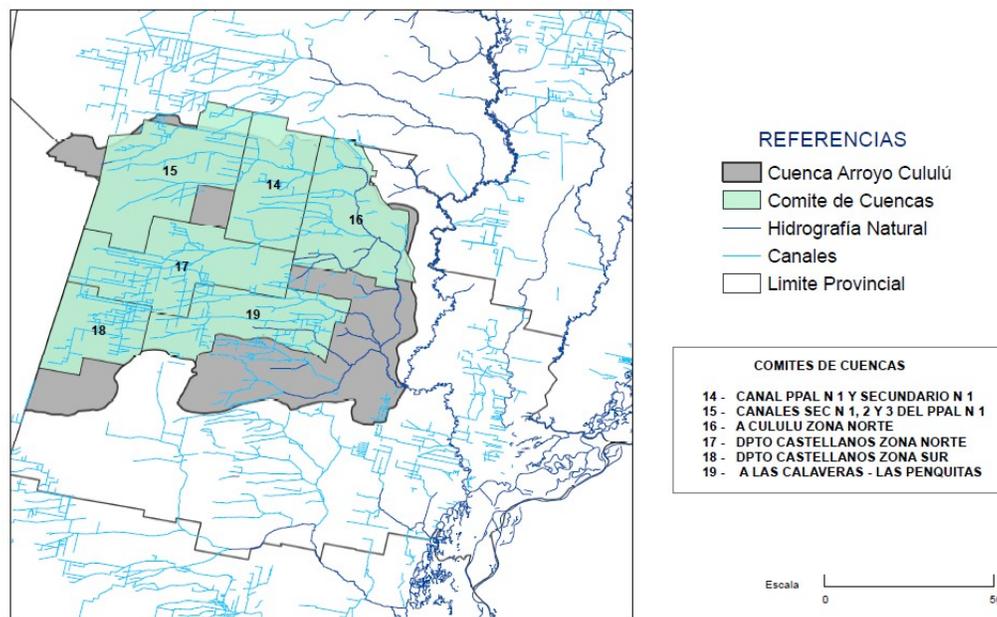


Figura 5.4. Distribución territorial de los Comités de la Cuenca del A° Cululú. Fuente: SRH-MIT.

De la Tabla 5.2 y de la figura anterior se deduce claramente que no están representados todos los distritos de la cuenca (65 vs. 40). A futuro (ver Capítulo 6) será necesario corregir esta situación ya que el territorio de la cuenca es aquel en el cual se deben desarrollar las medidas de intervención orientadas por una correcta planificación hídrica.

5.2.4. Principal actor institucional: SRH-MIT

En el Capítulo 1 se describió la organización institucional que rige en la provincia para la gestión administrativa de los recursos hídricos y los principales objetivos de la política hídrica (Ver 1.4.1 Gobierno: aspectos institucionales provinciales y política hídrica). En el presente apartado se brindan más detalles acerca de las misiones y funciones de la SRH, por ser el actor principal y tener responsabilidades específicas fijadas por ley, además de ser la Autoridad de Aplicación de la Ley del Agua N° 13.740 recientemente promulgada (art. 11).

A finales de 2015 se sancionó la Ley N° 13.509 denominada LEY ORGÁNICA DE MINISTERIOS DEL PODER EJECUTIVO, la cual fija el nombre, número e incumbencia de los mismos en el Gobierno de la Provincia de Santa Fe. De esta manera se crea en el sexto lugar al Ministerio de Infraestructura y Transporte a través del art. 22 de la mencionada norma:

ARTÍCULO 22.- El Ministro de Infraestructura y Transporte asiste al Gobernador de la Provincia en todo lo atinente a la formulación de políticas provinciales destinadas a la planificación, desarrollo y mantenimiento de la infraestructura y equipamiento vial carretero, fluvial..., ferroviario y aéreo y en todo lo atinente a la prestación de los servicios públicos a cargo de la Provincia y el sistema de transporte de cargas y pasajeros en todas sus modalidades...

En particular, le corresponde:

.....

5) Entender en materia de aguas, en lo referido a una gestión integrada del aprovechamiento, control y preservación de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos, sean propios o compartidos con provincias vecinas, como las dirigidas a la prestación del servicio de aguas y de desagües cloacales en todo el territorio provincial;

6) Entender en la planificación y definición de la política hídrica a nivel provincial, a fin de desarrollar un moderno Plan Integral para toda la Provincia; así como en la coordinación de acción con otras jurisdicciones provinciales con las que se compartan sistemas hidrológicos;

7) Entender en la actividad administrativa relativa a la conducción y aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas en todo el territorio de la Provincia;

8) Entender en el estudio, proyecto, ejecución, mantenimiento, operación y administración de las obras públicas hidráulicas que se realicen, en coordinación con

las jurisdicciones administrativas a las que las normas les atribuyan competencia en materia de producción, medio ambiente, desarrollo sustentable y recursos naturales para asegurar la compatibilidad de las obras con las previsiones de los planes de gestión integral de las aguas;

9) Entender en el estudio, proyecto, ejecución, operación, mantenimiento y administración de obras de prevención y defensa contra las inundaciones y de la defensa de las costas;

10) Entender en lo concerniente a la aplicación del régimen de Comités de Cuenca y ejercer el control de las obras de saneamiento ejecutadas o por ejecutarse en las cuencas hídricas que puedan afectar las condiciones hidrológicas de las mismas, siendo asimismo autoridad de aplicación, cuando no le corresponda a Municipios y Comunas, del régimen de resolución de situaciones conflictivas originadas por los efectos de obras menores, obras hidráulicas no autorizadas u otras obras, en los casos que alteren o modifiquen el escurrimiento natural de las aguas y causen un daño real o previsible;

.....

En el mismo sentido, se dictó el Decreto N° 0074/2015 que reglamenta la ley citada; su objetivo es aprobar la estructura orgánica funcional del MIT, definiendo y enumerando las misiones y funciones de cada autoridad política. En el artículo 9°, se crea la SRH, con –entre otras menos relevantes- las siguientes competencias:

1. Efectuar la planificación y definición de la política hídrica a nivel provincial y para desarrollar un Plan Integral para la Provincia, considerando las unidades territoriales emergentes de la regionalización de la misma, así como en la coordinación de acción con otras jurisdicciones provinciales con las que se compartan sistemas hidrológicos.

2. Realizar una gestión integrada del aprovechamiento, control y preservación de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos; así como en la formulación de toda norma y /o reglamentación que hagan a su aprovechamiento, control y preservación, y los acuerdos interjurisdiccionales que se promoviesen.

3. Promover el estudio, proyecto, ejecución, mantenimiento, operación y administración de las obras públicas hidráulicas que se realicen, en coordinación con los municipios y comunas.

4. Promover los estudios y proyectos para el aprovechamiento de los recursos hídricos como vías de irrigación, canalización, generación de energía y/o provisión de agua para producción.

5. Planificar y diseñar las políticas de protección de áreas urbanas contra inundaciones, en la definición de niveles de protección y parámetros de diseño hídrico, sistemas menores y sistemas mayores de desagües pluviales urbanos.

6. Promover estudios, proyectos, ejecución, operación, mantenimiento y administración de obras de prevención y defensa contra inundaciones y defensas de costas, mediante convenios con municipios y comunas, locales o metropolitanos.

7. Coordinar y colaborar con las gestiones de los Comités de Cuenca y ejercer el control de las obras de saneamiento ejecutadas o por ejecutarse en las cuencas hídricas que puedan afectar las condiciones hidrológicas de las mismas, siendo asimismo autoridad de aplicación, cuando no le corresponda a municipios y comunas, del régimen de resolución de situaciones conflictivas originadas por los efectos de obras

menores, obras hidráulicas no autorizadas u otras obras, en los casos que alteren o modifiquen el escurrimiento natural de las aguas y causen un daño real o previsible.

8. Producir estudios y análisis técnicos con la finalidad de obtener parámetros y normas específicas para el diseño de las obras hidráulicas.

9. Realizar convenios con universidades, institutos, colegios profesionales y otros organismos provinciales, nacionales o internacionales para realizar estudios, proyectos, planes y obtener recursos económicos destinados a trabajos propios de los objetivos planificados, u otros relacionados con el funcionamiento de la Secretaría.

10. Proponer, asesorar y colaborar con municipios y comunas para que desarrollen planes directores de desagües, planes de trabajos, normas de regulación de usos del suelo, mapas de riesgo hídrico, proyectos y obras hídricas.

11. Coordinar con los sectores empresarios, organizaciones no gubernamentales, municipios y comunas, el estudio y planificación de las políticas provinciales de su competencia, fijando la metodología de participación y las funciones específicas de cada uno de los entes a su cargo que deban intervenir.

12. Promover los estudios, proyectos y ejecución de obras de drenajes rurales para excedentes o retenciones hídricas, sean artificiales, naturales o recuperación de estas últimas, sobre la base otorgada por los consejos regionales y las unidades de cuencas que integren las mismas.

En particular, con la creación de la SRH se aglutinan y amplían las acciones que desarrollaban anteriormente la Secretaría de Aguas del MASPOMA en el periodo 2008-2015; el Ministerio de Asuntos Hídricos (MAH) entre el periodo 2004-2007 y la ex-DPOH en el periodo 1988-2003.

La SRH funciona a través de tres Subsecretarías (Decreto N° 2847/17): la de Planificación, la de Estudios y Proyectos y la de Obras y Gestión Territorial, que la asisten o colaboran en diversos temas. Finalmente, las unidades de organización denominadas Direcciones Generales, creadas con sus misiones y funciones por el Decreto 2612/2006, formaron parte de la estructura organizativa de los anteriores estamentos denominados Ministerio de Asuntos Hídricos y Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente, fueron reasignadas a la organización política de la SRH de la siguiente manera (Tabla 5.3):

Subsecretaría/Dirección Provincial	Dirección Generales (D.G.) dependientes
Subsecretaría de Planificación (SSP)/ Dirección Prov. de Planificación	Planificación Hídrica Servicios Técnicos Específicos
Subsecretaría de Estudios y Proyectos (SSEyP)/ Dirección Prov. de Proyectos	Administración y Legislación de los Recursos Hídricos Estudios Básicos y Gestión de Tierras Programas Estratégicos Proyectos
Subsecretaría de Obras y Gestión Territorial (SSOyGT) /	Comités de Cuenca y Talleres Obras por Terceros

Dirección Prov. de Obras Hidráulicas - Dirección Prov. de Gestión Territorial	
---	--

Tabla 5.3. Organización de la SRH-MIT y unidades de organización técnico-administrativas dependientes.

5.3. Análisis de series mensuales de precipitaciones y caudales

5.3.1. Introducción. Justificación de la tarea

En el Capítulo 4 se describieron aspectos de la red de medición hidrológica en la cuenca. En esta sección se emplean las series de datos diarios observados -agregados a nivel mensual- pertenecientes a dos estaciones de medición confiables. El objetivo es caracterizar de manera general el comportamiento de la precipitación y el escurrimiento total en la cuenca y procurar detectar las consecuencias más evidentes y efectivamente registradas en los caudales como manifestación de los cambios conjuntos en las precipitaciones y en el comportamiento global de la cuenca, sometida a importantes modificaciones en el uso del suelo, canalizaciones, etc., entre los dos periodos de análisis identificados más abajo. Este análisis constituye el paso previo a la modelación matemática de la cuenca a escala temporal de eventos y con paso diario, que se desarrolla en la Sección 5.4 del presente capítulo.

Para caracterizar la precipitación mensual se emplean datos de la estación INTA Rafaela. Mediante la aplicación de un SIG, Ferreira (2004) encontró que existe una muy buena correlación entre la precipitación mensual de esta estación y la precipitación mensual de la cuenca. La representatividad de esta estación pluviométrica se ve favorecida por su posición geográfica cercana al centro de gravedad de la cuenca, y por la distribución de las isohietas, que toman direcciones groseramente paralelas en sentido Norte-Sur, además de presentarse relativamente equiespaciadas. La longitud del registro es de varias décadas (1930-2018).

Por su parte, los caudales de salida de la cuenca se han registrado en la estación hidrométrica Cululú en RP 50-S. El registro es discontinuo, pero a través del tiempo acumula 22 años de datos entre los años 1974 y 2017 (ver Sección 4.3.6). El registro puede dividirse en dos periodos totalmente representativos para el análisis que se pretende efectuar: 1977-1988, denominado “situación 1980”, y 2004-2017, denominado “situación 2010”. Las discontinuidades que presenta cada subserie se detallan más adelante. De ahora en más “situación” o “periodo” se utilizan indistintamente.

5.3.2. Análisis de caudales mensuales

En el capítulo anterior se presentó un hidrograma medio para la serie de caudales registrada. En este apartado se procura describir con mejor detalle los periodos denominados “situación 1980” y “situación 2010”. Cada uno será caracterizado por una serie parcial de la serie total disponible como consecuencia de las interrupciones en el monitoreo (ver en Anexo 5.2 la serie completa de caudales mensuales registrados construida en base a información proveniente de distintos organismos que operaron la estación hidrométrica Cululú). En la Tabla 5.4 se incluye el número de años calendarios de registro a ser evaluados; la cantidad de datos faltantes; la cantidad de datos por mes y el caudal medio anual de cada serie parcial.

De la comparación del caudal medio anual (Q ma) de cada periodo, se observa que las diferencias son insignificantes. No obstante, a nivel mensual se presentan importantes cambios entre un periodo y otro (ver Figura 5.5 y Figura 5.6). Se observa que en el periodo noviembre a marzo, los caudales medios mensuales son mayores para la serie actual; en el resto de los meses es a la inversa.

Situación	Subserie	N° de Años	Meses faltantes relativo a meses totales	Caudal medio anual-Qma (m³/s)	Diferencia 2010/1980 Q ma (%)
“1980”	1977-1988	12	20/144	15,48	-0,55
“2010”	2004-2017	14	22/168	15,39	

Tabla 5.4. Subseries para caracterizar a nivel mensual los periodos bajo análisis.

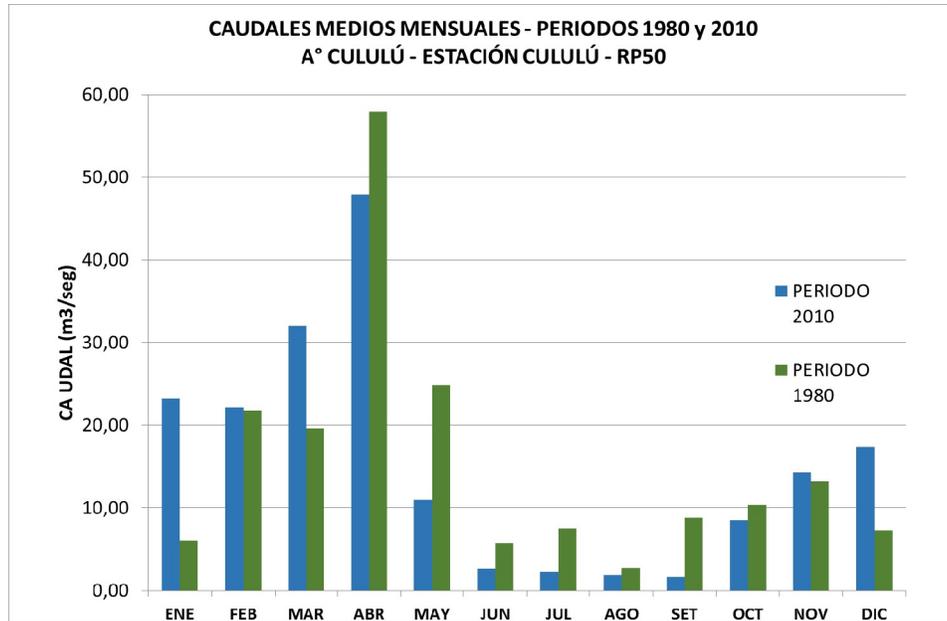


Figura 5.5. Caudales medios mensuales del A° Cululú (Periodos 1980 y 2010).

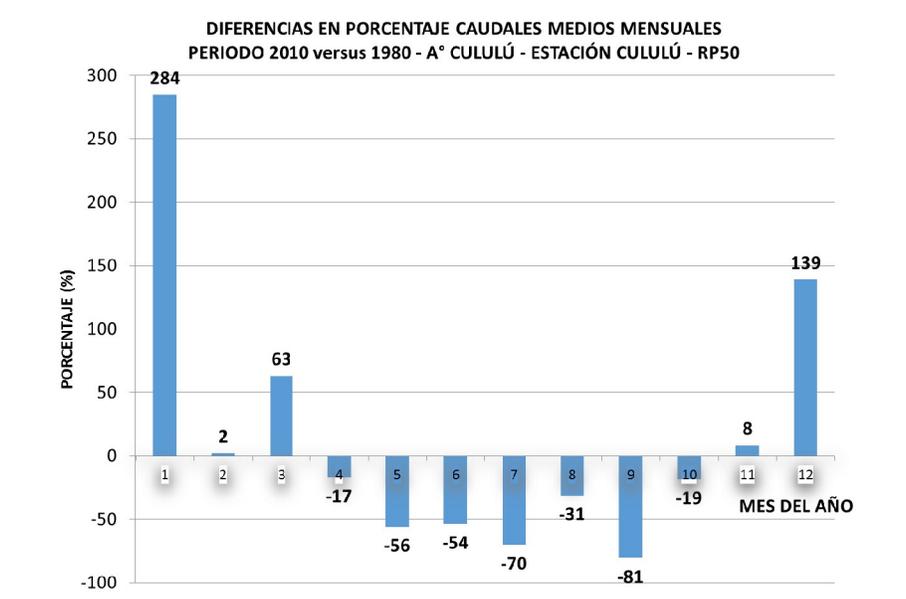


Figura 5.6. Diferencia porcentual entre los caudales medios mensuales de los periodos “2010” (subserie 2004-2017) y “1980” (subserie 1977-1988) en el A° Cululú.

Además, en la Tabla 5.5 se presentan para cada mes los caudales mensuales máximo, medio (Q_{mm}) y mínimo.

	1980	2010	DIF.RELAT. Q_{mm} (%)

MES	MÁX.	MEDIO	MÍN.	MÁX.	MEDIO	MÍN.	“2010”- “1980”
ENE	16,54	6,04	0,36	197,94	23,20	0,53	284
FEB	129,76	21,75	0,35	91,82	22,15	0,63	2
MAR	67,40	19,61	0,83	130,92	31,97	1,78	63
ABR	259,07	57,88	0,79	310,64	47,94	0,91	-17
MAY	123,75	24,90	0,52	61,38	10,96	0,51	-56
JUN	37,62	5,68	0,50	9,53	2,63	0,52	-54
JUL	34,73	7,53	0,70	9,17	2,24	0,57	-70
AGO	7,44	2,71	0,46	5,30	1,86	0,48	-31
SET	35,50	8,79	1,07	5,18	1,69	0,59	-81
OCT	42,96	10,39	0,52	31,09	8,46	0,61	-19
NOV	29,34	13,20	0,72	92,57	14,28	0,63	8
DIC	27,31	7,26	0,60	56,77	17,35	0,71	139
Q_{ma}		15,48			15,39		

Tabla 5.5. Caudales mensuales característicos de los periodos bajo análisis – Estación Hidrométrica RP 50, A° Cululú.

De esta manera queda ampliamente caracterizado el escurrimiento superficial mensual cercano a la salida de la cuenca del A° Cululú en la Estación Hidrométrica situada en la RP-50-S, cerca de su desembocadura en el río Salado, destacándose importantes variaciones de los caudales actuales en relación con los caudales de décadas pasadas.

5.3.3. Análisis de precipitaciones mensuales

Como se explicó anteriormente, Ferreira (2004) encontró una muy buena correlación entre la precipitación mensual observada en la Estación INTA Rafaela, con la precipitación media mensual de la cuenca, obtenida a través del método de los Polígonos de Thiessen, contando con datos de hasta 15 estaciones pluviométricas distribuidas en la cuenca o en sus cercanías, como lo ilustra la Figura 5.7, con un coeficiente de correlación superior a 0,9. Este resultado muestra que las variaciones en la precipitación mensual en la estación INTA Rafaela son representativas de las variaciones de la precipitación de la cuenca a nivel mensual.

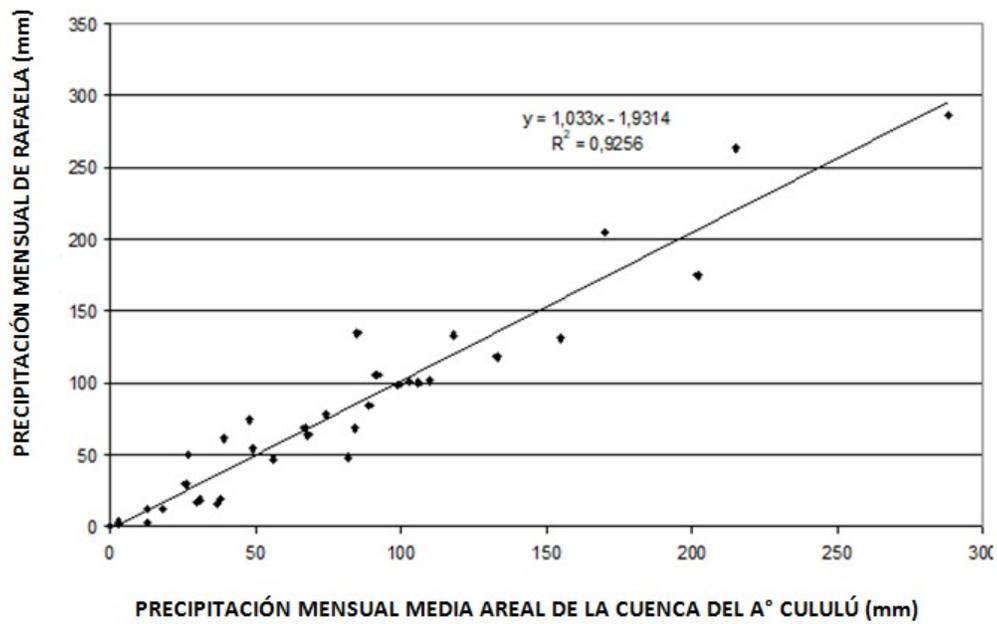


Figura 5.7. Precipitación mensual de Rafaela vs. Precipitación mensual media areal de la cuenca del A° Cululú (tomado de Ferreira, 2004).

En la Tabla 5.6 se analizan los hietogramas promedio mensuales para los periodos “1980” y “2010”, utilizando las series 1977-1996 y 1997-2016, respectivamente, que no presentan datos faltantes.

Periodo	Subserie Característica	Nº de años	Precipitación media anual- Pma (mm)	Diferencia 2010/1980 Pma (%)
“1980”	1977-1996	20	1043,2	-1,4
“2010”	1997-2016	20	1028,1	

Tabla 5.6. Información de las subseries para caracterizar a nivel mensual los periodos de precipitación bajo análisis. Estación INTA Rafaela.

De la comparación de la precipitación media anual en los dos periodos, se observa que las diferencias son insignificantes, existiendo una leve disminución en el periodo más cercano. Además, la distribución de la precipitación media mensual a lo largo del año no muestra grandes variaciones (los hietogramas medios son semejantes-Figura 5.8). Sin embargo, durante ocho meses del año existe una reducción en las precipitaciones que se compensa con un importante crecimiento de las mismas en el trimestre que acumula mayor precipitación en el año (febrero-marzo-abril) en términos medios (ver Figura 5.8 y Figura 5.9). Por último, en la Tabla 5.7 se presentan para cada mes la precipitación media mensual máxima, media y mínima.

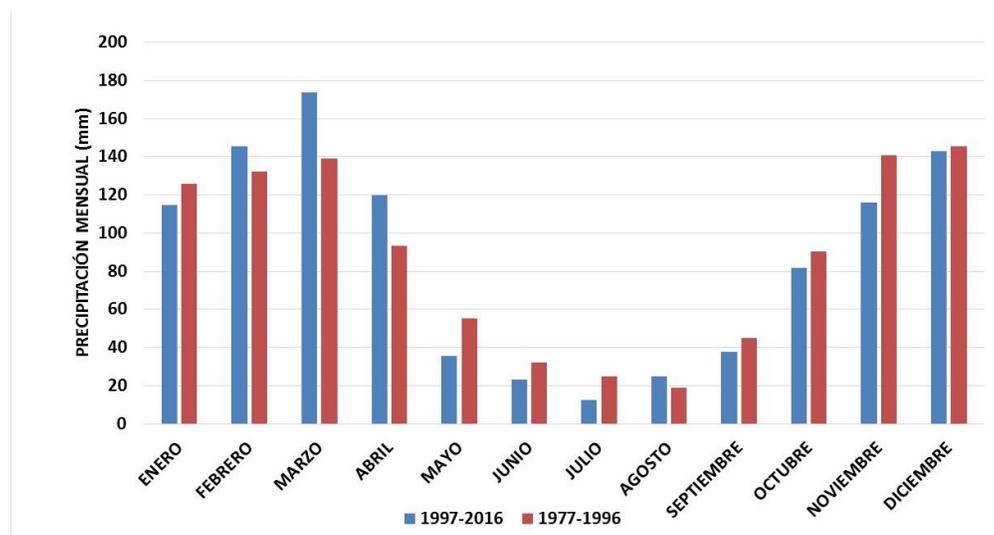


Figura 5.8. Precipitación media mensual en la Estación INTA Rafaela; Periodo “1980”; Periodo “2010”.

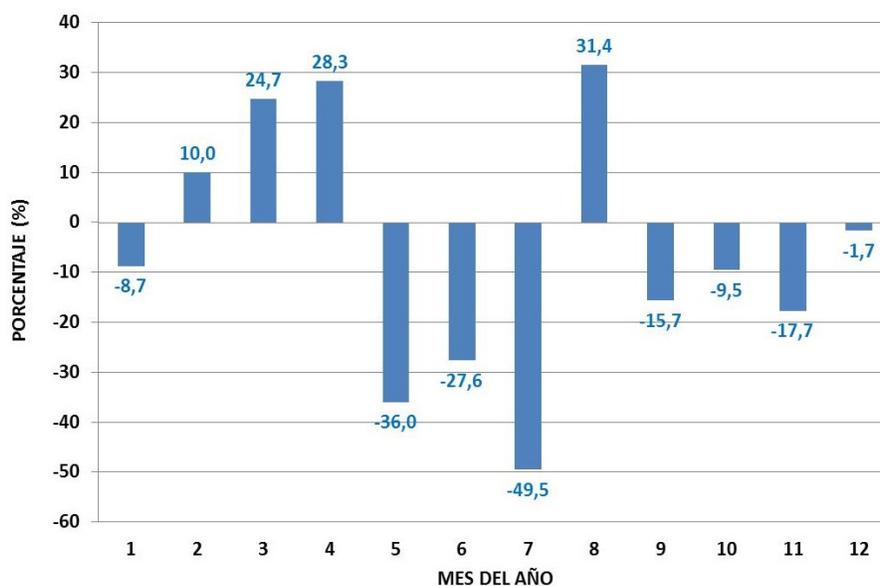


Figura 5.9. Porcentajes de diferencias entre la precipitación media mensual para los periodos “2010” y “1980”, Estación INTA Rafaela.

MES	Subserie 1977-1996 Periodo 1980			Subserie 1997-2016 Periodo 2010			Diferencia relativa Pmm (%) “2010”- “1980”
	MÁX	MEDIO	MÍN	MÁX	MEDIO	MÍN	
ENE	330,9	125,7	16,0	250,3	114,7	22,4	-8,7
FEB	344,7	132,2	29,6	380,6	145,4	19,2	10,0
MAR	402,4	139,2	38,3	542,3	173,6	12,5	24,7
ABR	286,6	93,5	5,4	354,9	120,0	11,3	28,3
MAY	184,8	55,4	1,7	86,1	35,5	4,3	-36,0
JUN	119,1	32,1	0,0	87,8	23,2	0,2	-27,6
JUL	72,4	24,9	0,0	44,1	12,6	0,3	-49,5
AGO	55,9	18,8	0,0	103,3	24,7	0,0	31,4
SET	141,4	44,8	3,2	87,6	37,8	1,6	-15,7
OCT	247,9	90,5	18,4	212,1	81,9	22,7	-9,5
NOV	283,2	140,8	32,2	294,0	115,9	21,4	-17,7
DIC	349,5	145,4	16,8	393,7	142,9	16,3	-1,7

Tabla 5.7. Precipitaciones mensuales características de los periodos bajo análisis – Estación INTA Rafaela.

5.3.4. Conclusiones parciales

El año hidrológico para esta cuenca comienza en setiembre y finaliza en agosto del año siguiente. Para las subseries consideradas, el caudal promedio anual es prácticamente igual. Si se analiza una agrupación de meses subanual, pueden tenerse en cuenta, en principio dos semestres. Para diversos estudios, el año hidrológico en esta región suele dividirse de la siguiente manera: el semestre cálido, que se caracteriza por tener

temperaturas medias del aire por encima de los 20 °C, entre los meses de octubre hasta marzo inclusive, y el semestre frío, entre los meses de abril a setiembre, con registros de temperatura promedio por debajo del valor mencionado (Ferreira et al., 2012).

En la Figura 5.10 se aprecian las diferencias entre los caudales medios para los semestres frío y cálido, de los periodos “1980” y “2010”. De acuerdo a la tabla incorporada al gráfico, se observa que la diferencia de caudales es prácticamente la misma, pero de signo contrario (-6,70 m³/s para los semestres fríos y 6,60 m³/s para los semestres cálidos). Esas diferencias, llevadas a porcentajes sobre los valores de caudal medio semestral del periodo 1980, muestran claramente el crecimiento de los caudales para el semestre cálido del periodo 2010, que alcanza un 50 %. En tanto, para el semestre frío, los caudales medios del periodo actual decrecen en un -37,7 %.

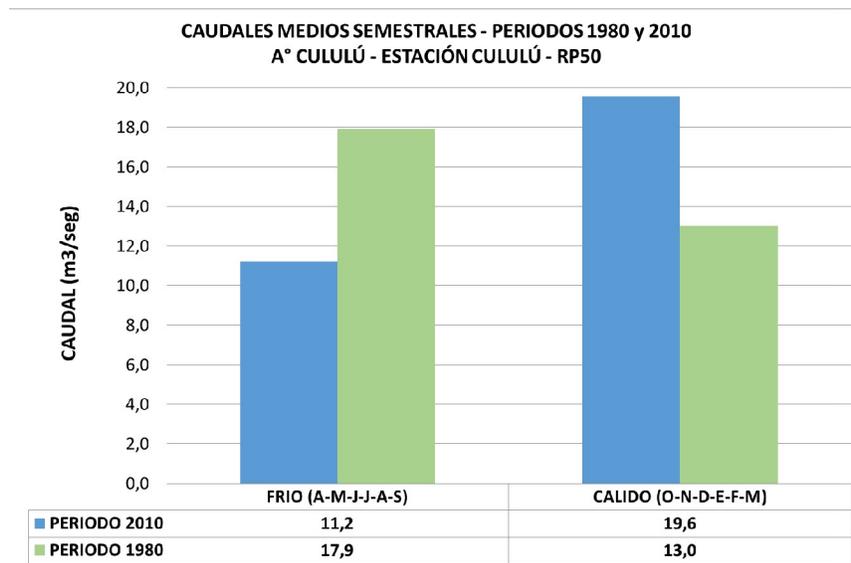


Figura 5.10. Comparación entre los caudales medios semestrales (semestre Frío y Cálido) para los periodos “2010” y “1980”.

Por otra parte, teniendo presente los resultados obtenidos más arriba (Tabla 5.5), puede concluirse en cuanto a la variación de caudales medios mensuales que existe un cambio positivo entre los meses de noviembre a marzo, en tanto que en el resto de los meses (semestre frío más octubre) los caudales mensuales del periodo “2010” son menores que los del periodo “1980”. Particularmente se acumulan importantes diferencias positivas en el bimestre diciembre-enero. En estos dos meses más marzo se producen también en concomitancia con importantes cambios positivos a nivel medio mensual, grandes diferencias en los caudales máximos medios mensuales (ver Tabla 5.5).

Con referencia a las precipitaciones mensuales en la Estación INTA Rafaela, estas muestran una distribución intra-anual de sus promedios mensuales muy similar en cualquiera de los dos periodos bajo análisis. La diferencia entre el valor de la Pma es de **-1,4 %**. Para los dos periodos analizados, se observa un aumento de precipitaciones en el periodo actual solamente en cuatro meses: en los tres meses de mayor precipitación anual promedio – febrero, marzo y abril – además del mes de agosto. En los ocho meses restantes existe una reducción en la precipitación media mensual en el periodo actual.

Las importantes diferencias positivas en cuanto a caudales medios mensuales en el semestre cálido podrían explicarse por la mayor intensidad de las tormentas o periodos lluviosos (con duración de horas o a lo sumo de algunos días), lo que ha sido ya mencionado en el Capítulo 1. Por otra parte, para la precipitación anual de la Pampa Húmeda, Sarochar et al. (2005) han evaluado que, en promedio, el 75% de la cantidad precipitación es de origen convectivo y el restante 25%, estratiforme. Los autores observan que tanto la precipitación convectiva como su frecuencia de ocurrencia son superiores a las respectivas de origen estratiforme entre los meses de noviembre a abril, con un máximo principal entre enero y abril, y otro secundario en octubre o noviembre dependiendo de la estación.

Estos caudales superficiales generados por precipitaciones intensas provenientes de tormentas convectivas, sobre un suelo en mejores condiciones para el escurrimiento, tanto en las áreas rurales –por un avance en la agricultura- como en las áreas urbanas – de extensión areal e impermeabilidad siempre crecientes- serían conducidos más rápidamente hacia aguas abajo por una red de drenaje artificial en permanente expansión en cuanto a su longitud, al menos en las últimas tres décadas-. Por lo tanto, los resultados que arrojan los datos hidrométricos y pluviométricos de las estaciones analizadas, confirman una de las hipótesis planteadas. Se observa que los caudales en el régimen actual no han modificado su comportamiento promedio anual pero sí su comportamiento intra-anual, lo que implica que el ciclo hidrológico está alterado y se hace necesario intervenir con el objetivo de una regulación de caudales que sea beneficiosa para los habitantes de la cuenca y para el ambiente en general. Es evidente que las diferencias encontradas a nivel semestral o bimestral, indican que se deben tomar medidas tanto estructurales como no estructurales, puesto que los resultados constituyen una alerta de potenciales extremos hídricos: mayores picos en los extremos de los periodos húmedos y peor distribución del agua a lo largo del año para años secos.

Debe resaltarse que se estudiaron las diferencias en las características de los valores de las variables en los dos periodos bajo análisis, pero no se extraen conclusiones de la comparación entre caudales y precipitación mensual, dado que los datos de caudal no abarcan la totalidad del periodo, como sí lo hacen los datos de precipitación. A futuro, destacando la importancia de este tipo de análisis para la planificación y gestión hídricas, se podrán completar las series de caudales mediante herramientas de modelación de la cuenca, según se menciona en recomendaciones y/o futuros trabajos en el Capítulo 7. No obstante, en términos de promedios anuales y de manera muy general, se observa que a una disminución del -1,4 % en la precipitación media anual, le corresponde una reducción en los caudales de salida de la cuenca, aunque casi insignificante. Más adelante se presentan los resultados de los análisis a nivel de eventos, para cuantificar de manera más exhaustiva las evidencias de los cambios encontrados en los registros hidrométricos a nivel promedio mensual.

5.4. Modelación hidrológica de la cuenca a paso diario

5.4.1. Introducción

La simulación matemática a través de modelos hidrológicos e hidráulicos conforma una parte fundamental de la gestión de cuencas hidrográficas, como fue presentado en el Capítulo 2. Los resultados de la aplicación de un modelo hidrológico pueden ser utilizados para la evaluación de una cuenca en su estado actual y anterior, y para verificar la incidencia de determinadas obras hidráulicas a nivel de proyecto, en ejecución o ejecutadas, como así también para planificar y evaluar medidas no estructurales.

En las tareas realizadas que se detallan más abajo se utilizó información histórica de precipitaciones y caudales de salida disponible a nivel diario, con el objeto de calibrar el modelo hidrológico en los dos periodos históricos analizados en la sección anterior, “1980” y “2010”, para eventos “emblemáticos” ocurridos en esas décadas, y posteriormente para verificar los ajustes efectuados en cada caso, con otros eventos de crecidas importantes, pertenecientes a dichos periodos.

Dados los cambios en el uso de suelo, se adoptaron diferentes parámetros vinculados al suelo según el periodo, y se calibró y verificó el modelo para representar dicha situación. El primer periodo está vinculado con la etapa previa a la densificación de la red de drenaje y a la introducción de la soja y el segundo se considera representativo de

las condiciones actuales. Se prestó atención, además, al cambio de superficie urbanizada, principalmente en las ciudades más importantes incluidas en la cuenca de manera total (Frontera, Rafaela y Sunchales) o parcial (San Francisco) por el impacto que esta situación provoca especialmente en subcuenca donde se sitúan.

Por su parte, en la etapa de explotación de los modelos calibrados se utilizaron ajustes estadísticos de series de precipitaciones máximas obtenidos por Bertoni et al. (2008), tal como se detalla más abajo, con el objeto de obtener crecidas de diseño correspondientes a cada periodo, que permitan comparar y encontrar diferencias en esos dos estados de la cuenca, bajo condiciones de precipitación diferentes.

Por otro lado, con el modelo calibrado para la situación actual (“2010”) se realizaron simulaciones de explotación utilizando precipitaciones de diseño obtenidas de estudios recientes (Incociv, 2012; Serra et al., 2017). Así se obtuvieron crecidas de diseño para recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, aplicables a proyectos actuales. Otro aspecto de la explotación fue simular el sistema actual funcionando con la incorporación de reservorios propuestos. De esta manera, los pasos que se describen a continuación siguen el gráfico presentado en la metodología (Capítulo 3).

5.4.2. Descripción del modelo matemático utilizado

5.4.2.1. El modelo HEC-HMS

El HEC-HMS es un software que reúne a varios modelos hidrológicos y cuya distribución es libre y gratuita. Puede descargarse desde la página web del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-USACE) <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/download.html>. El modelo puede ser utilizado para un único acontecimiento (evento aislado) o para una simulación continua en un periodo extendido. Su aplicación es muy flexible y permite la selección de diferentes métodos para el desarrollo de los cálculos. El modelo simula el movimiento y almacenamiento del agua en la vegetación, en la superficie del suelo, y en el perfil de suelo. Para valores dados de precipitación, el modelo calcula la escorrentía superficial, el flujo subterráneo, las pérdidas debido a la evapotranspiración y la percolación profunda en la cuenca.

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de

control definen el periodo de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar.

El modelo de cuenca representa a la cuenca física. El usuario desarrolla el mismo incluyendo y conectando elementos hidrológicos. Estos elementos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos que se producen en la cuenca. Los elementos hidrológicos pueden ser definidos como: Subcuenca; Tramo; Unión; Fuente; Sumidero; Depósito (reservorio) y Derivación. Cada uno de los elementos hidrológicos se puede conectar en una red para simular los procesos de escurrimiento.

Las subcuencas son unidades hidrológicas del terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje conducen la escorrentía directamente hacia un punto de descarga. En el elemento Subcuenca, dada una determinada entrada de precipitación, la salida se obtiene restando las pérdidas y transformando el exceso de precipitación en caudal en el punto de salida de la subcuenca sumando finalmente el caudal base. El elemento Tramo se usa para transportar el agua generada en algún punto de la cuenca hacia aguas abajo hasta otro punto de la cuenca. La respuesta de este transporte es un retardo y una atenuación del hidrograma de entrada. Entre los métodos que utiliza para la propagación en cauce pueden citarse los métodos de Retardo, Puls modificado, Muskingum y Muskingum-Cunge.

Por su parte el elemento Depósito (o Reservorio) se usa para modelar la retención y atenuación de un hidrograma causado por un embalse o depósito de retención. La entrada puede provenir de uno o varios elementos hidrológicos situados aguas arriba del mismo. La salida puede calcularse de dos maneras: el usuario define la relación almacenamiento-salida, cota-almacenamiento-salida o cota-área-salida, o bien el usuario define una relación cota-almacenamiento o cota-área y una o más estructuras de salida.

Entre los métodos disponibles para la estimación de las pérdidas, pueden mencionarse: el Número de Curva (CN) y el SMA (Soil Moisture Account), en tanto que para la transformación lluvia-caudal utiliza entre otros métodos el del Hidrograma Sintético de Clark y el de Onda Cinemática.

Los cambios en el uso del suelo tienen relación directa con la escorrentía que se produce para una determinada tormenta y por lo tanto tendrán repercusión en la respuesta de los

caudales a la salida de la cuenca. En tal sentido, los parámetros principales de los métodos CN y SMA deben reflejar estos cambios.

Otro de los componentes del HEC-HMS son los modelos meteorológicos a través de los cuales se ingresan los pluviómetros con sus hietogramas en el caso de tormentas observadas, o también distintos tipos de tormentas de diseño (distribución espacial y temporal de la precipitación) y datos de evapotranspiración.

Por su parte las especificaciones de control se refieren al tiempo de duración de la simulación, incluyendo fecha y hora de comienzo y fin del proyecto e intervalo de cálculo.

Los datos de entrada básicamente son series temporales de diversas variables hidrometeorológicas y pares de valores que definen, entre otras, las curvas de altura-almacenamiento de los reservorios o secciones transversales.

De manera particular, en cuanto a los datos de entrada, se debe destacar que, en varios trabajos de aplicación del modelo a cuencas de la región Litoral del país, se reconoce la necesidad de una buena representación espacial de la variable precipitación, de lo contrario aparecen incertidumbres en los resultados de la aplicación (INA-MASPyMA, 2012; Reyna et al., 2015). Los autores coinciden en que, a mejor representación espacial de la precipitación, mejores serán los resultados de salida.

5.4.2.2. Justificación del uso del modelo HEC-HMS implementado por el Instituto Nacional del Agua

En el año 2007, mediante un Convenio firmado con el entonces Ministerio de Asuntos Hídricos, se realizó un estudio de la cuenca del A° Cululú el que –entre otras tareas– incluyó la simulación hidrológica mediante HEC-HMS. A posteriori, el mismo modelo, fue empleado por el organismo nacional mencionado para avanzar en la Etapa de Diagnóstico del desarrollo incipiente del Plan Director de Recursos Hídricos de la provincia de Santa Fe. Al presente, está siendo actualizado para arribar a la Etapa de Propuestas de Medidas de Intervención Estructurales y no Estructurales.

A continuación, se presenta la descripción del modelo tal como fuera realizada por sus autores (INA-FICH-INTA, 2007):

Para el análisis de la composición actual de la red de canales, la superficie de aportes del arroyo Cululú fue subdividida en 15 cuencas y cada una de ellas en subcuencas. Los puntos de salida de cada una de estas subcuencas se seleccionaron teniendo en

cuenta que puedan ser considerados secciones de control para distintos estados hídricos en la modelación hidrológica. (Figura 5.11).

La modelación hidrológica se realizó con el modelo HEC HMS (USACE). Las áreas fueron desagregadas a nivel de cuencas y subcuencas, tal como se presenta en la Tabla 5.8, junto con la denominación que tienen en el HEC HMS.

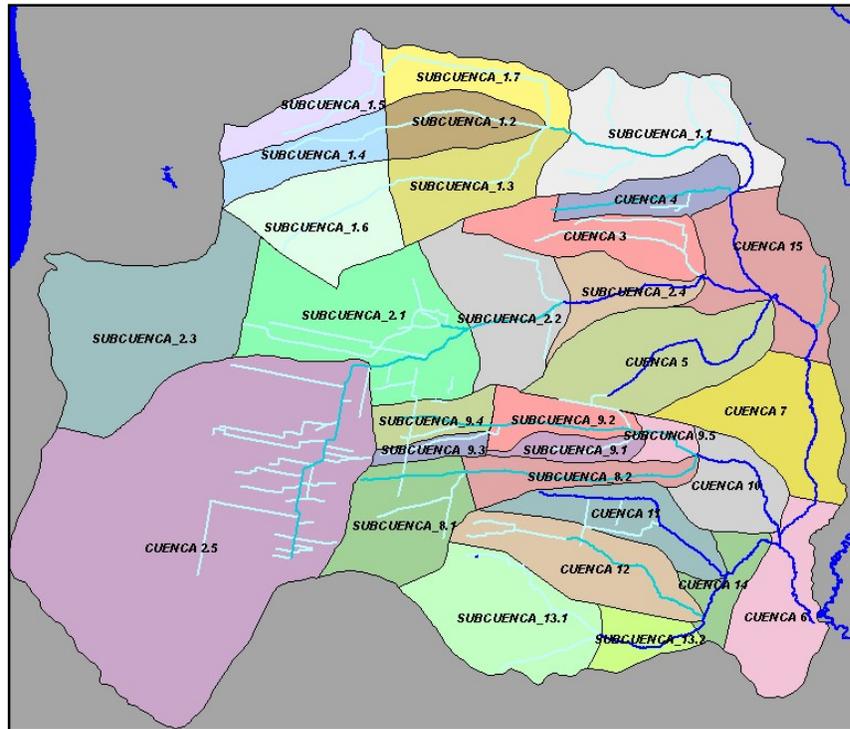


Figura 5.11. Subcuencas del A° Cululú (tomado de INA-FICH-INTA, 2007).

Nombre	Nombre en HEC HMS	Áreas parciales (km ²)	Áreas totales (km ²)
CUENCA 1 (C. Ppal N° 1)		1740.51	1740.48
SUBCUENCA 1.1	SC1.1	464.30	
SUBCUENCA 1.2	SC1.2	179.26	
SUBCUENCA 1.3	SC1.3	262.97	
SUBCUENCA 1.4	SC1.4	162.44	
SUBCUENCA 1.5	SC1.5	175.31	
SUBCUENCA 1.6	SC1.6	309.75	
SUBCUENCA 1.7	SC1.7	186.45	
CUENCA 2 (Vila-Cululú-Retiro)		3745.20	3745.20
SUBCUENCA 2.1	SC2.1	583.26	
SUBCUENCA 2.2	SC2.2	349.62	
SUBCUENCA 2.3	SC2.3	659.14	
SUBCUENCA 2.4	SC2.4	154.89	
SUBCUENCA 2.5	SC2.5	1998.29	
CUENCA 3 (Avalle)	C3-AVALLE	249.62	249.62

Nombre	Nombre en HEC HMS	Áreas parciales (km ²)	Áreas totales (km ²)
CUENCA 4 (Ituzaingó)	C4-ITUZAINGO	146.29	146.29
CUENCA 5 (Las Tablitas)	C5-LAS TABLITAS	424.05	424.05
CUENCA 7 (Aportes directos tramo María Luisa - Cululú)	C7-APORTE	377.37	377.37
CUENCA 8 (A Calaveras)		461.96	461.95
SUBCUENCAS 8.1	SC8.1	303.07	
SUBCUENCAS 8.2	SC8.2	158.88	
CUENCA 9 (Las Penquitas)		427.21	427.18
SUBCUENCA 9.1	SC9.1	76.67	
SUBCUENCA 9.2	SC9.2	130.71	
SUBCUENCA 9.3	SC9.3	53.17	
SUBCUENCA 9.4	SC9.4	112.50	
SUBCUENCA 9.5	SC9.5	54.13	
CUENCA 10 (Los Corrales)	C10-LOS CORRALES	192.55	192.55
CUENCA 11 (Las Palomas)	C11-PALOMA	228.94	228.94
CUENCA 12 (Cda Felicia)	C12-FELICIA	319.49	319.49
CUENCA 13 (Cda Sur Rafaela)		509.82	509.82
SUBCUENCA 13.1	SC13.1	402.70	
SUBCUENCA 13.2	SC13.2	107.12	
CUENCA 14 (Aportes directos Las Prusianas)	C14-APDLP	108.99	108.99
CUENCA 15 (Aportes directos tramo 1)	C15-APORTE	382.24	382.24
CUENCA 6 (Aportes directos tramo 3)	C16-APORTE	321.61	321.61

TOTAL

9635.78km²

Tabla 5.8. Características de las subcuencas del A° Cululú (tomado de INA-FICH-INTA, 2007).

La cuenca presenta un área total de 9636 km², con sub-áreas variables entre 53 km² (SC9.5) y 2000 km² (SC2.5).

Para la modelación se utilizaron los siguientes métodos:

(i) Método del SMA (Soil Moisture Account) para la determinación de las pérdidas en las áreas que presentan efecto de almacenamiento.

(ii) Método de Curva Número CN para la determinación de las pérdidas en las áreas de aporte inmediato.

(iii) Método del Hidrograma Sintético de Clark para la propagación en cuenca.

(iv) Método de Muskingum-Cunge para la propagación en cauce.

La Tabla 5.9 presenta los valores de curva número (CN), los tiempos de concentración (TC) y los coeficientes de almacenamiento de las subcuencas.

DENOMINACIÓN	CN	TC (hs)	Coef. Almac (hs)
CUENCA 1 (C. Ppal N° 1)			
SUBCUENCA 1.1	55	28	40
SUBCUENCA 1.2		12	18
SUBCUENCA 1.3		13	16
SUBCUENCA 1.4		13	20
SUBCUENCA 1.5		60	65
SUBCUENCA 1.6		16	22
SUBCUENCA 1.7		16	22
CUENCA 2 (Vila-Cululú- Retiro)			
SUBCUENCA 2.1		34	50
SUBCUENCA 2.2		20	29
SUBCUENCA 2.3		25	40
SUBCUENCA 2.4	55	10	30
SUBCUENCA 2.5		79	100
CUENCA 3 (Avalle)	55	18	38
CUENCA 4 (Ituzaingó)	55	15	7
CUENCA 5 (Las Tablitas)	55	17	37
CUENCA 7 (Aportes directos tramo María Luisa - Cululú)	55	14	2
CUENCA 8 (A Calaveras)			
SUBCUENCAS 8.1		18	25
SUBCUENCAS 8.2		14	26
CUENCA 9 (Las Penquitas)			
SUBCUENCA 9.1		7	26
SUBCUENCA 9.2		15	10
SUBCUENCA 9.3		9	20
SUBCUENCA 9.4		12	26
SUBCUENCA 9.5		5	7
CUENCA 10 (Los Corrales)	55	10	8
CUENCA 11 (Las Palomas)	55	18	25

DENOMINACIÓN	CN	TC	Coef. Almac
CUENCA 12 (Cda Felicia)	55	18	25
CUENCA 13 (Cda Sur Rafaela)			
SUBCUENCA 13.1		11	17
SUBCUENCA 13.2	55	8	13
CUENCA 14 (Aportes directos Las Prusianas)	55	10	13
CUENCA 15 (Aportes directos tramo 1)	55	25	2
CUENCA 6 (Aportes directos tramo 3)	55	11	17

Tabla 5.9. Parámetros de modelación (tomado de INA-FICH-INTA, 2007).

En el trabajo mencionado se realizaron las siguientes tareas (INA-FICH-INTA, 2007):

“Para la implementación, y teniendo en cuenta la situación actual de la red de canales, se dividió la superficie de aportes del Arroyo Cululú en 15 cuencas y cada una de ellas en subcuencas. El cierre del sistema se consideró en Cavour, pero la estación de aforos se encuentra en RPN° 50-S próxima a la localidad de Cululú...

Para la calibración del modelo se utilizó la crecida del año 2005, debido a que dicho evento está asociado a las condiciones de uso actual del suelo (periodo 2005-2007). Como resultado, se obtuvo una aceptable concordancia entre valores observados y simulados cuando se consideró un hietograma distribuido uniforme en el espacio. El considerar hietogramas medios regionales incorporó la incertidumbre existente en la distribución de la precipitación. No obstante, la calibración arrojó diferencias del 8% en los caudales y -29% en los volúmenes.

Por su parte, en la etapa de verificación, se seleccionaron los eventos que corresponden a las crecidas de marzo-junio de 2003 y marzo-abril de 2007. Los resultados entre los caudales simulados y observados arrojan diferencias del orden de -20 %, mientras que en el volumen las diferencias son del orden del 16 %.

Finalmente, para la explotación del modelo se consideraron dos escenarios que representan nivel vacío y nivel lleno en los reservorios. Se simularon eventos de lluvia de entre 2 y 5, 10 y 50 años de período de recurrencia obtenidos de la estación del INTA Rafaela.....El sistema del arroyo Cululú es un sistema extremadamente complejo, debido a que muchas de sus subcuencas se comportan como sistemas hidrológicos “no típicos”, donde predominan los almacenamientos. Esa condición natural del sistema, sumada a las acciones antrópicas y a la vasta red de canales existentes hacen muy difícil la representación de la cuenca.

No obstante, se consideran aceptables los resultados obtenidos en la calibración y en la verificación del modelo, considerando la escasez de datos pluviográficos para la discretización de los eventos de lluvia y que en algunos casos, también fue necesario la reconstrucción del hidrograma” (INA-FICH-INTA, 2007).

Se considera que la distribución de subcuencas es lo suficientemente práctica para encarar trabajos vinculados a la gestión de la cuenca. Entre otras razones, también se utiliza el modelo presentado por INA para tener una base de comparación con resultados ya publicados y de esta manera poder sacar conclusiones.

No obstante, como parte de esta tesis, se efectuó una revisión de la implementación por parte de INA-FICH-INTA (2007), y se introdujeron algunas mejoras las cuales intentan subsanar aspectos no muy bien resueltos de la aplicación anterior, a saber:

-Uno de los puntos débiles del modelo implementado por INA (INA-FICH-INTA, 2007), fundamentalmente en las etapas de calibración y verificación, es decir, cuando existen datos de salida para comparar caudales generados con caudales observados, es la escasa cantidad de estaciones pluviométricas empleadas como dato de entrada.

-En trabajos previos (INA-FICH-INTA, 2007; INA-MASPyMA, 2012) se comparan las diferencias en caudales y volúmenes generados en eventos 1981 y 2007, pero sólo se lo realiza cambiando parámetros en las subcuencas vinculados al tipo y uso de suelo, en ningún momento se “recalibra” el modelo.

-Se utiliza un solo tipo de tormenta de diseño para dimensionar los impactos en un análisis que abarca varias décadas, cuando ya está totalmente documentado que se han presentado cambios notables en los registros de las intensidades de lluvia en el transcurso de las últimas décadas.

-En todas las subcuencas, se considera nulo el porcentaje de áreas impermeables, cuando al menos 4 (cuatro) subcuencas se ven afectadas por la creciente urbanización, aunque los porcentajes aún son muy bajos. Se considera una cuestión de tipo conceptual.

5.4.3. Armado del modelo, sistematización de datos, estimaciones y criterios

Partiendo de un análisis anterior, se procuró identificar los años más apropiados dentro de las décadas 1980 y 2010 con datos que potencialmente se utilizarían para calibrar y verificar a paso diario al modelo hidrológico. Numerosos autores, entre ellos Ferreira (1990), Reyna et al. (2003) e Incociv (2012), advierten acerca de las dificultades a la hora de trabajar con series de datos completas y confiables en la provincia de Santa Fe, ya que su densidad es relativamente baja. Por otra parte, Incociv (2012) menciona que no deberían considerarse los datos de pluviómetros publicados por la Dirección General de Comunicaciones de la Provincia (DGC) debido a que presentan periodos extensos,

incluso años completos, con datos faltantes. En los últimos 10 años la situación ha mejorado, la información de la DGC resulta más confiable y con la mayoría de los años completos. Aunque su uso en análisis de frecuencia está limitado por la longitud de la serie, puede ser considerada para cuantificar la magnitud de los eventos pluviométricos (Incociv, 2012).

Teniendo en cuenta el conjunto de datos disponibles, en primer lugar, se priorizó elegir eventos para la calibración y verificación con importantes picos de crecida, que fueran precedidos por periodos de escasas precipitaciones, de modo de considerar que los flujos base en cada subcuenca fueran nulos o despreciables; en segundo lugar, que los eventos elegidos hayan sido registrados en una importante cantidad de estaciones pluviométricas (el mínimo fue de 16 estaciones, el máximo de 56).

La tercera condición fue que existiera al menos una estación pluviométrica con la distribución temporal diaria, ya que en algunos casos -1980- se presentaban valores acumulados de lluvia para todo el evento registrado. En la década de 2010, en cada evento elegido se contó con varios puntos con hietograma de paso sub-diario pertenecientes a la Red Telemétrica de la cuenca del río Salado (Ferreira, 2015).

En cuanto al diagrama topológico, es decir la representación esquemática del sistema real que permite visualizar en forma rápida y simple la forma en que se conectan los elementos del sistema, se adoptó el desarrollado por INA (INA-FICH-INTA, 2007) sin modificaciones

5.4.4. Etapa de calibración

El objetivo de la calibración fue ajustar de la mejor forma posible en primer lugar el caudal pico de la crecida correspondiente al evento seleccionado; en segundo lugar, el volumen, y en tercer lugar el tiempo al pico. El CN fue el principal parámetro de calibración, por su influencia en dichas tres variables.

5.4.4.1. Periodo 1980

El modelo fue calibrado para la crecida de abril del año 1981, cuyo caudal pico del día 15, es el mayor desde que existen registros de caudales diarios en la Estación RP 50-S sobre el A° Cululú. Las condiciones corresponden al uso de suelo de aquella época con predominio de pasturas y tambos en la mayor parte de la cuenca. En cuanto a las áreas urbanas, las superficies impermeables fueron consideradas despreciables. La mancha urbana se estimó a partir de medición directa sobre fotomosaicos en escala 1:50.000,

publicados por la empresa SPARTAN en el año 1980, disponibles en el Centro de Documentación de la SRH-MIT.

La simulación se efectuó para el periodo comprendido entre el 01/04/1981 y el 30/04/1981. Los datos pluviométricos en su mayoría provienen de 21 estaciones recopiladas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), resultando una densidad promedio de 1 pluviómetro cada 459 km². Parte de los datos fueron publicados por INCyTH (1986).

Se debe advertir que la mayoría de las estaciones presentaban algunos días con datos de lluvia acumulada. El listado de estaciones con sus montos tal como se los empleó en el modelo, se muestra en la Tabla 5.10, distribuidos según el hietograma de paso diario correspondiente a las tormentas registradas en la Estación INTA Rafaela (Figura 5.12).

ESTACIÓN	DIAS DE ABRIL 1981 CON PRECIPITACIONES											TOTAL MENSUAL
	4	6	7	8	9	12	13	15	20	22	23	
Bauer y Siguel	15	0	68	6	16	6	63	37	103	35	1	352
Cululú	0	0	41	4	10	17	172	101	99	34	1	479
Egusquiza	15	0	128	12	30	7	69	40	111	38	2	452
Elisa	0	0	64	6	15	9	89	52	106	36	1	379
Eusebia	0	0	72	7	17	5	50	29	63	21	1	266
Felicia	0	0	98	9	23	9	92	54	100	34	1	420
Grutly	0	0	45	4	11	10	95	55	66	23	1	310
Humberto I°	0	0	17	2	4	12	114	67	76	26	1	318
La Pelada	0	0	0	0	0	9	88	51	57	19	1	225
Las Palmeras	15	0	68	6	16	7	68	40	80	28	1	329
Lehman	0	0	124	11	29	8	77	45	117	40	2	453
Palacios	15	0	73	7	17	6	60	35	81	28	1	323
Progreso	0	0	17	2	4	7	65	38	103	35	1	273
Providencia	0	0	19	2	4	14	139	82	82	28	1	371
Rafaela	11	1	183	17	42	8	79	46	108	37	2	532
Ramona	0	0	72	7	17	5	50	29	63	21	1	266
Sarmiento	0	0	106	10	25	16	160	93	94	32	1	536
Suardi	15	0	53	5	12	6	59	35	90	31	1	307
Sunchales	0	0	89	8	21	7	68	40	86	30	1	350
Tacural	0	0	72	7	17	5	50	29	63	21	1	266
Vila	15	0	0	0	0	4	44	26	114	39	2	244

Tabla 5.10. Precipitaciones diarias en estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del A° Cululú. Abril de 1981.

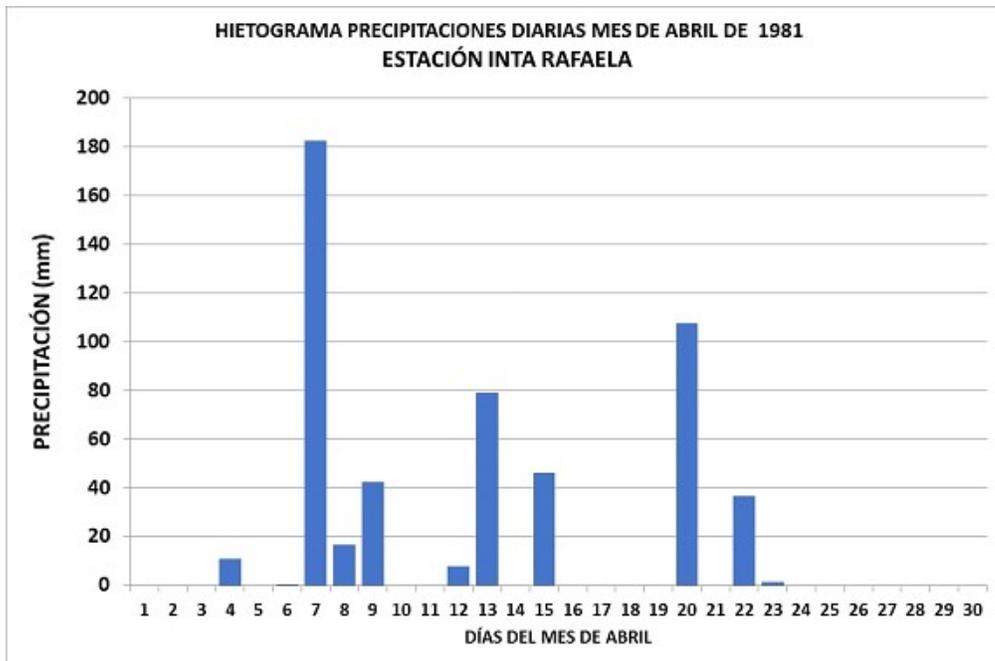


Figura 5.12. Hietograma de precipitaciones diarias de abril de 1981. Estación INTA Rafaela.

Los resultados de la calibración, luego de ajustar los valores de CN, se observan en la Figura 5.13 y en la Tabla 5.11, para la sección del A° Cululú en la RP 50-S.



Figura 5.13. Resultados de la calibración en el A° Cululú en RPN° 50-S para abril de 1981: hidrograma simulado vs. observado.

	Observado	Simulado
Qp (m ³ /s)	1059,58	1057,80
Fecha del pico	15 Abril 1981	11 Abril 1981
Volumen (Hm ³)	671	518

Tabla 5.11. Resultados de la calibración para abril de 1981, A° Cululú en RP-50-S: características del hidrograma observado y simulado.

El error relativo entre el caudal pico observado y el simulado es del orden del 0,2 % y el error relativo entre los volúmenes es del orden del -26,7%. Se observa una diferencia relevante en cuanto a la fecha del caudal pico. El valor del CN resultante de la calibración fue de CN=58.

5.4.4.2. *Periodo 2010*

El modelo fue calibrado para la crecida de abril de 2014, una de las mayores crecidas de los últimos años en la cuenca desde que existen registros provistos por la Red Telemétrica del Río Salado. El mes de abril de 2014 se ubica en el segundo lugar de los mayores caudales medios mensuales de abril, para el periodo “2010”.

Se debe tener en cuenta la importante modificación en las condiciones de uso de suelo, fundamentalmente en la agriculturización de muchas subcuencas y, aunque aún reducidos, los porcentajes de impermeabilidad de las manchas urbanas de los mayores centros poblados (Rafaela, Sunchales, Frontera y San Francisco), las cuales ya tienen influencia en los caudales de salida en la subcuenca a la cual pertenecen. La mancha urbana se estimó a partir de medición directa sobre las imágenes de satélite que provee GoogleEarth® para la condición actual.

La simulación se efectuó entre el 01/04/2014 y el 30/04/2014. Fue posible obtener datos de 56 (cincuenta y seis) estaciones pertenecientes a distintos organismos: SRH-MIT; DGC, Red Pluviométrica de la Bolsa de Comercio de Córdoba (CBA.), INTA y SMN, cuya distribución fue presentada en el Capítulo 4. La densidad de pluviómetros aumentó con respecto al periodo “1980”, a 1 pluviómetro cada 170 km². El listado de estaciones, su organismo de pertenencia y los montos diarios, se muestran en la Tabla 5.12. Por su parte, cinco de estas estaciones son pluviógrafos, que proveen datos a nivel subsidiario: Las Palmeras, Vila, Rafaela, Sunchales y Soledad. La distribución temporal en los últimos tres se observa en la Figura 5.14.

ESTACIÓN	FUENTE	DÍAS DE ABRIL 2014 CON PRECIPITACIONES											TOTAL
		6	7	8	9	10	11	16	23	24	29	30	
VILA RED	MIT	15	20	0	0	0	0	0	0	0	11	4	48
VILLA SAN JOSE	DGC	72	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122
VIRGINIA	DGC	230	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240

Tabla 5.12. Precipitaciones diarias en estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del A° Cululú. Abril de 2014.

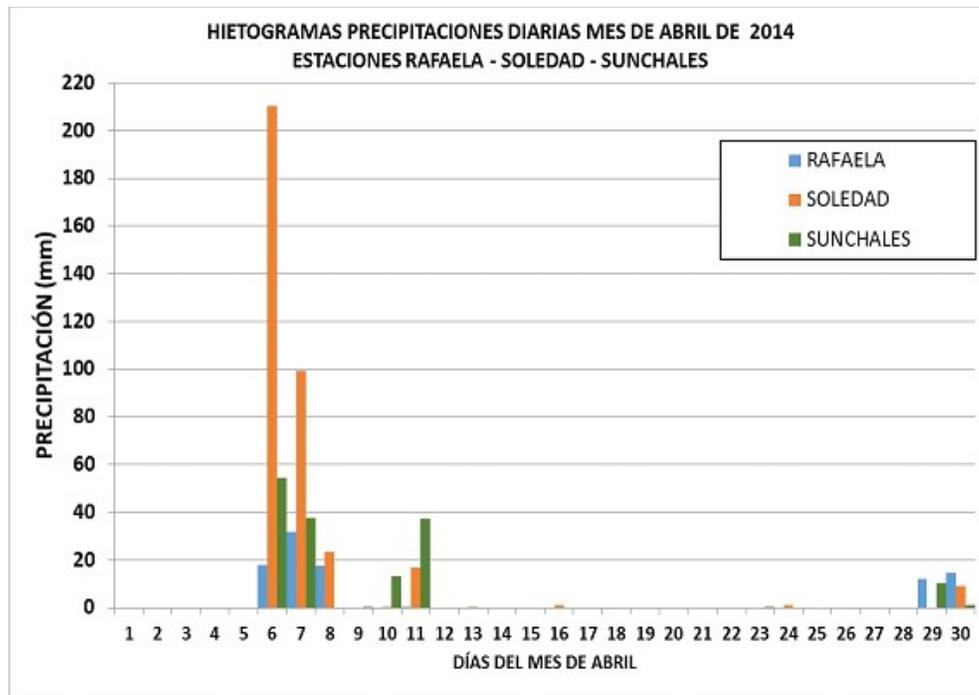


Figura 5.14. Hietogramas utilizados para la distribución de los datos de lluvia, abril de 2014.

No fue necesario recurrir a la distribución temporal de los pluviógrafos, ya que los datos no presentaban días acumulados. No obstante, se grafican para observar en detalle la marcha de las precipitaciones en los sitios elegidos: Rafaela, Sunchales y Soledad.

Para la modelación de este periodo se consideraron las áreas urbanas de las ciudades de San Francisco, Frontera, Rafaela y Sunchales, descartando la influencia de otras localidades de menor porte. Se midieron las superficies de las respectivas manchas urbanas y se las relacionó con la superficie de la subcuenca (Tabla 5.13).

Número de la subcuenca	Área (km ²)	Área impermeable (km ²)	Coefficiente de impermeabilidad	Ciudad
2.1	583,2	5,19	0,009	Sunchales
2.5	1998,3	8,5	0,004	San Francisco (parcial) y Frontera
9.3	53,17	5,37	0,150	Rafaela (parcial)
9.4	112,5	16,0	0,142	Rafaela (parcial)

Tabla 5.13. Áreas impermeables urbanas de las ciudades de San Francisco, Frontera, Rafaela y Sunchales y subcuenca de influencia, para el periodo “2010”.

Los resultados de dicha simulación luego de ajustar los valores de CN, se observan en la Figura 5.15 y en la Tabla 5.14, para la sección correspondiente al A° Cululú en la RP 50-S.

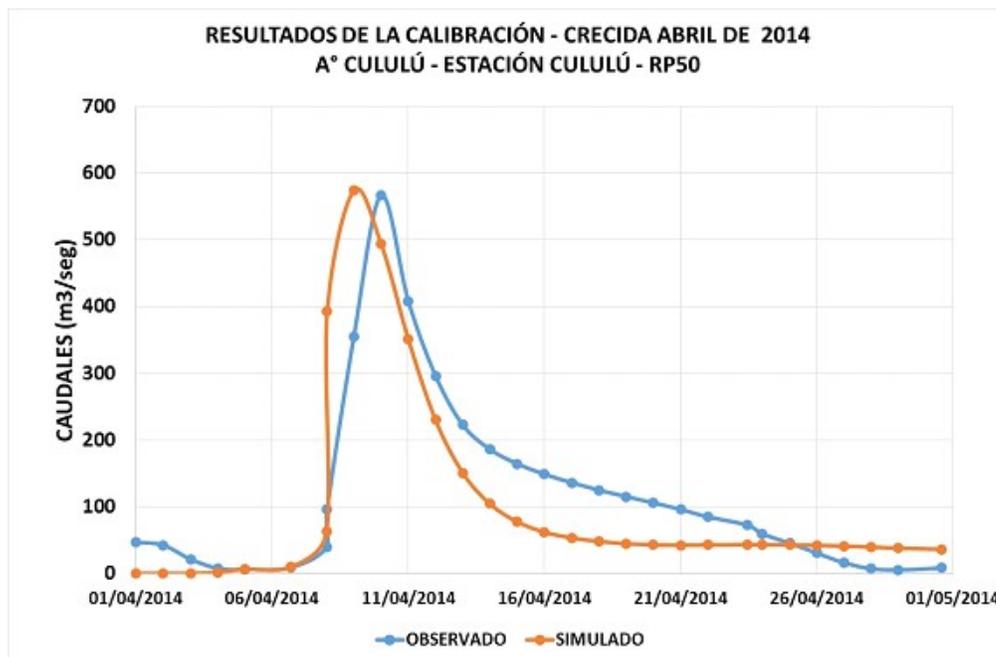


Figura 5.15. Resultados de la calibración en el A° Cululú en RPN° 50-S, para abril de 2014: hidrograma simulado vs. observado.

	Observado	Simulado
Qp (m ³ /s)	566,86	574,20
Fecha del pico	10 Abril 2014	09 Abril 2014
Volumen (Hm ³)	315,14	271

Tabla 5.14. Resultados de la calibración para abril de 2014. A° Cululú en RP 50-S: características del hidrograma observado y simulado.

El error relativo entre el caudal pico observado y el simulado es del orden de -1,3 % y el error relativo entre los volúmenes es del orden de 14,0%. Se observa que la fecha en la que se produce el caudal pico del hidrograma simulado es más cercana a la observada a diferencia del caso anterior, debido a una mejor discretización temporal de la precipitación, lo que introduce menos incertidumbres. El valor del CN resultante de la calibración fue de CN=65.

5.4.5. Etapa de verificación

Mediante la verificación se pretende constatar el grado de representación del modelo calibrado a la realidad, comparando los resultados generados con un evento diferente al de la calibración. De esta manera se verificará la utilidad del modelo para la etapa de explotación.

5.4.5.1. Periodo 1980

El modelo fue verificado para la mayor crecida del año 1983, que presenta un caudal pico de 368,31 m³/s el día 6 de abril. Ese mes se ubica en el segundo lugar de los mayores caudales medios mensuales de abril, para el periodo “1980”, debajo de abril de 1981. La simulación de verificación se efectuó desde el 28/03/1983 al 30/04/1983. Los datos de precipitación en su mayoría son provenientes de estaciones recopiladas por el SMN. Se obtuvieron datos de un número menor de estaciones que en el caso de la calibración, en este caso 16 estaciones, lo que hace una densidad promedio de 1 pluviómetro cada 602 km². En algunas estaciones sólo se obtuvo el total mensual o días de precipitación acumulados los fines de semana, por lo tanto, el hietograma para la distribución temporal correspondió a la estación INTA Rafaela (Figura 5.16). El listado de estaciones con sus montos distribuidos se muestra en la Tabla 5.15.

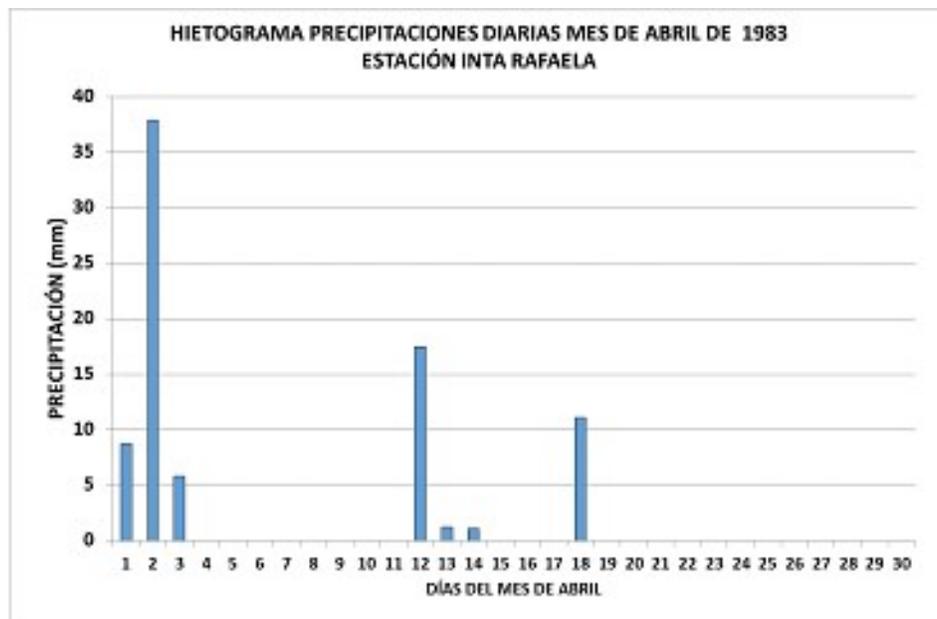


Figura 5.16 Hietograma de precipitaciones diarias de abril de 1983. Estación INTA Rafaela.

ESTACIÓN	DIAS DE ABRIL DE 1983 CON PRECIPITACIÓN							TOTAL MENSUAL
	1	2	3	12	13	14	18	
Constanza	13	58	9	27	2	2	17	127
El Cisne	10	42	6	19	1	1	12	92
Eusebia	10	42	6	20	1	1	12	93
Frontera	7	32	5	15	1	1	9	71
Grutly	9	38	6	18	1	1	11	85
Humboldt	3	15	2	7	0	0	4	32
Las Palmeras	7	32	5	15	1	1	9	71
Moisés Ville	9	41	6	19	1	1	12	90
Palacios	9	38	6	18	1	1	11	84
Pilar	6	27	4	12	1	1	8	59
Rafaela INTA	9	38	6	18	1	1	11	83
Santa Clara de Saguier	6	27	4	13	1	1	8	60
Sarmiento	12	53	8	24	2	2	15	116
Soutomayor	15	64	10	29	2	2	19	140
Sunchales	13	58	9	27	2	2	17	128
Virginia	19	85	13	39	3	2	25	186

Tabla 5.15. Precipitación diaria en estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del A° Cululú. Abril de 1983.

En la Tabla 5.16 y Figura 5.17 se comparan los hidrogramas simulado y observado para la sección correspondiente al A° Cululú en la RP 50-S.

	Observado	Simulado
Qp (m ³ /s)	368,31	332,00
Fecha del pico	06 Abril 1983	04 Abril 1983
Volumen (Hm ³)	267,6	155

Tabla 5.16. Resultados de la verificación. Período “1980”. A° Cululú en RP 50-S: características del hidrograma observado y simulado.



Figura 5.17. Resultados de la verificación del modelo para el Período “1980”. A° Cululú en RP 50-S. Abril de 1983: hidrograma simulado vs. observado.

El error relativo entre el caudal pico observado y el simulado es de 9,9 % y el error relativo entre los volúmenes es del orden del 42%. Existe una diferencia de dos días en la fecha del caudal pico.

5.4.5.2. Período 2010

El modelo fue verificado para la crecida del mes de noviembre de 2013 (del 28/10/2013 al 25/11/2013). Ese mes presentó el mayor caudal medio para un mes de noviembre en toda la serie de registros históricos. Para los datos de precipitación se utilizaron las mismas estaciones que en la calibración (ver 5.4.4.2) excepto Cnia. Bigand, Cnia. Mauá, Frank, Porteña, San Francisco y Soledad. Por lo tanto, se obtuvo información de

50 estaciones, de esta manera la densidad de pluviómetros fue de 1 pluviómetro cada 192 km². En la Tabla 5.17 se presentan los datos de precipitación utilizados. La fuente de información es la misma que la detallada en la Tabla 5.11. En cuanto a la distribución temporal, se emplearon los pluviógrafos de Rafaela y Sunchales, cuyos hietogramas se observan en la Figura 5.18, para aplicar a los pluviómetros que presentaban datos acumulados. La distribución temporal de los pluviógrafos, se asignó a cada estación de acuerdo a la menor distancia al mismo.

ESTACIÓN	DÍAS DE NOVIEMBRE 2013 CON PRECIPITACIÓN												TOTAL
	2	8	9	10	11	12	15	16	24	26	27	28	
ATALIVA	34	10	32	23	36	0	3	0	0	60	0	0	197
AURELIA	23	7	12	9	14	0	10	0	0	70	30	0	174
BAUER Y SIGEL	30	18	9	7	11	0	0	0	0	0	20	0	95
BELLA ITALIA	10	5	20	15	23	0	30	0	0	65	40	0	208
CNIA. ALDAO	38	70	28	20	32	0	0	0	0	30	30	0	247
CNIA. BICHA	40	22	25	18	28	0	0	0	0	45	12	0	190
CNIA. BOSSI	50	0	11	8	13	0	0	0	45	0	15	0	142
CNIA. CELLO	21	25	19	14	22	0	15	0	0	35	40	0	191
CNIA. FIDELA	45	52	27	19	31	0	2	0	0	30	25	0	231
CNIA. MARGARITA	18	20	11	8	12	0	18	0	0	15	40	0	141
CNIA. RAQUEL	40	5	36	26	41	0	0	0	0	80	12	0	239
CONSTANZA	95	0	33	24	38	0	0	0	85	0	0	0	275
CORONEL FRAGA	52	5	15	11	18	0	0	0	0	4	22	0	127
CULULU	105	5	23	16	26	0	0	0	0	95	16	0	286
EGUSQUIZA	25	6	21	15	24	0	5	0	0	35	11	0	142
ELISA	79	19	9	7	11	0	0	0	0	67	30	0	222
ESPERANZA	90	8	11	8	12	0	18	0	0	97	30	0	273
ESTACIÓN SAGUIER	30	25	0	0	0	0	25	0	0	80	37	0	197
EUSEBIA	42	65	27	19	30	0	0	0	0	38	14	0	235

ESTACIÓN	DIAS DE NOVIEMBRE 2013 CON PRECIPITACIÓN												TOTAL
	2	8	9	10	11	12	15	16	24	26	27	28	
SUSANA	18	10	11	8	13	0	20	0	0	60	33	0	173
TACURAL	45	8	42	30	48	0	0	0	0	70	0	0	243
VILA RED	71	0	37	31	18	7	0	19	0	49	6	12	249
VILLA SAN JOSE	12	25	34	24	38	0	25	0	0	80	35	0	273
VIRGINIA	50	3	102	73	116	0	0	0	0	70	20	0	433

Tabla 5.17. Precipitación diaria en estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del A° Cululú. Noviembre de 2013.

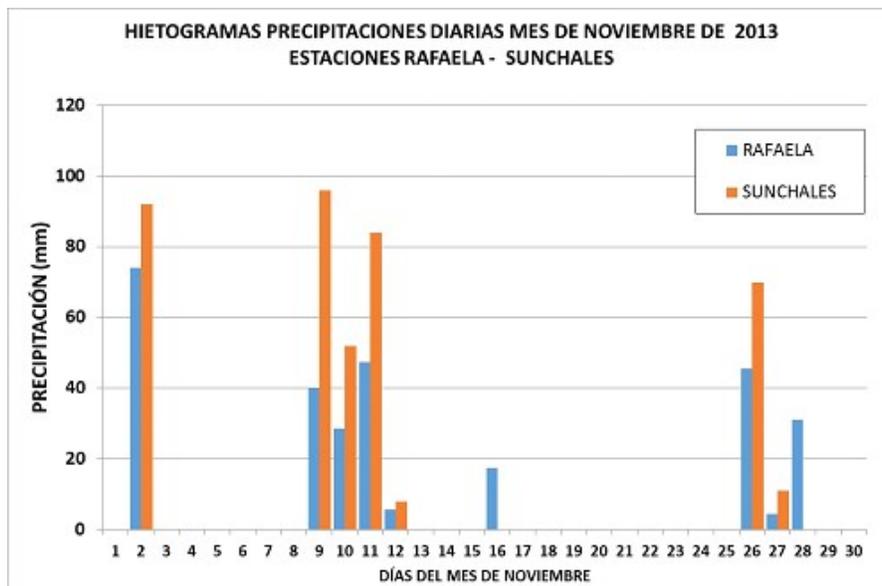


Figura 5.18. Hietogramas utilizados para la distribución de los datos de lluvia de las estaciones de la DGCP, noviembre de 2013.

Los resultados de dicha simulación se observan en la Figura 5.19 y en la Tabla 5.18, para la sección correspondiente al A° Cululú en la RP 50-S.

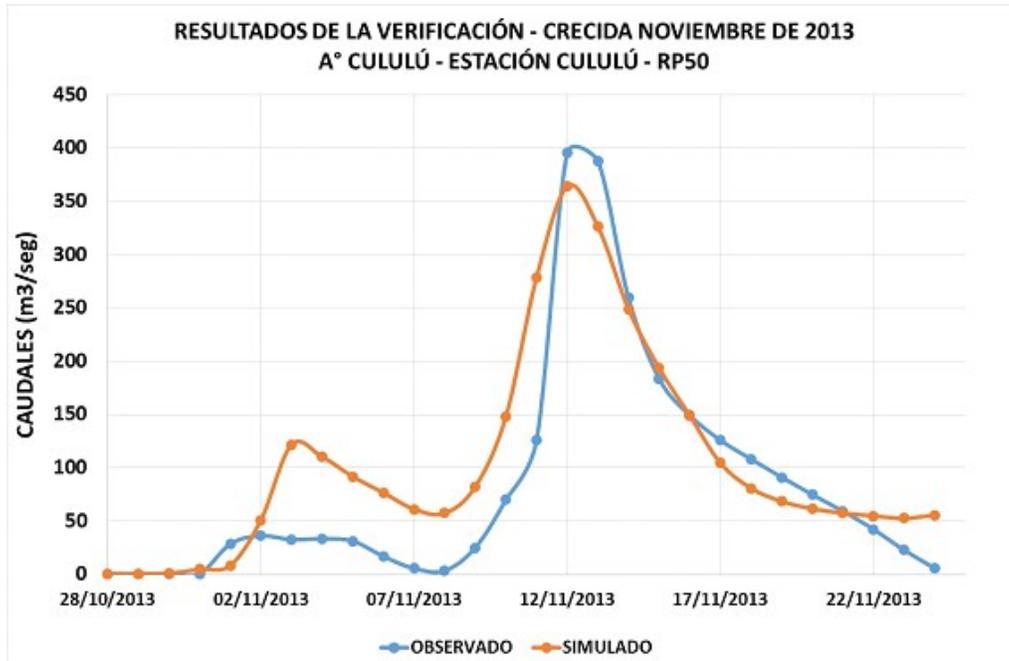


Figura 5.19. Resultados de la verificación del modelo para el Periodo “2010” en el A° Cululú en RP 50-S. Noviembre de 2013: Hidrograma observado vs. Simulado.

	Observado	Simulado
Qp (m ³ /s)	395,3	364,0
Fecha del pico	12 Noviembre 2013	12 Noviembre 2013
Volumen (Hm ³)	214,2	250

Tabla 5.18. Resultados de la verificación. Período “2010”. A° Cululú en RP 50-S: características del hidrograma observado y simulado.

El error relativo entre el caudal pico observado y el simulado es del orden del 7,9 % y el error relativo entre los volúmenes es del orden del -16,7%. Como en el caso de la calibración, puede observarse que una mejor discretización temporal de la precipitación introduce menos incertidumbre. Si bien la simulación contempla dos picos, la fecha del caudal máximo es la misma en el hidrograma observado y el simulado.

5.4.6. Explotación del modelo

La *explotación* del modelo calibrado comprendió tres aspectos o tareas. En primer lugar, se lo aplicó para obtener crecidas de diseño correspondientes a los dos periodos bajo estudio para poder comparar y así extraer conclusiones parciales en lo que respecta a hidrogramas de salida para eventos de precipitación de **un día** de duración y **determinadas recurrencias**, obtenidas de series temporalmente relacionadas con cada uno de los dos estados de la cuenca, bajo dos condiciones de precipitación diferentes.

En segundo lugar, se realizaron simulaciones con el modelo calibrado para la situación actual (“2010”) para tormentas de duración mayor que en el paso anterior (cinco días, en lugar de uno) y semejante al tiempo de concentración de la cuenca. Para esta segunda parte se utilizaron precipitaciones de diseño obtenidas de dos estudios recientes, uno para la determinación de la lámina (Incociv, 2012) y otro para la distribución temporal (Serra et al., 2017). De esta manera, se obtuvieron crecidas para distintas recurrencias (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) aplicables al diseño hidrológico de cualquier tipo de obra hidráulica en distintos puntos de la cuenca, por ejemplo, los atenuadores de crecidas.

Finalmente, en tercer lugar, con el modelo calibrado para la situación actual (“2010”) se simuló el funcionamiento del sistema incorporando diferentes reservorios de regulación.

5.4.6.1. Comparación de crecidas de diseño entre 1980 y 2010, duración de la tormenta (D) un día.

De acuerdo con la metodología desarrollada en el Capítulo 3, se realizaron simulaciones con las dos versiones del modelo calibrado (“1980” y “2010”) para distintas tormentas de diseño, generadas a partir de los registros históricos de precipitación de la Estación INTA Rafaela, correspondientes a cada periodo analizado (Bertoni et al., 2008). Estos autores proveyeron las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia). Para un determinado tiempo de duración de la tormenta (en minutos/horas o días) y para una determinada frecuencia (Recurrencia de un fenómeno, es la inversa de la Frecuencia), se obtuvo la intensidad promedio de la precipitación en el intervalo de duración de la tormenta. En la Figura 5.20 se muestra un conjunto de curvas IDF de manera genérica a los fines ilustrativos.

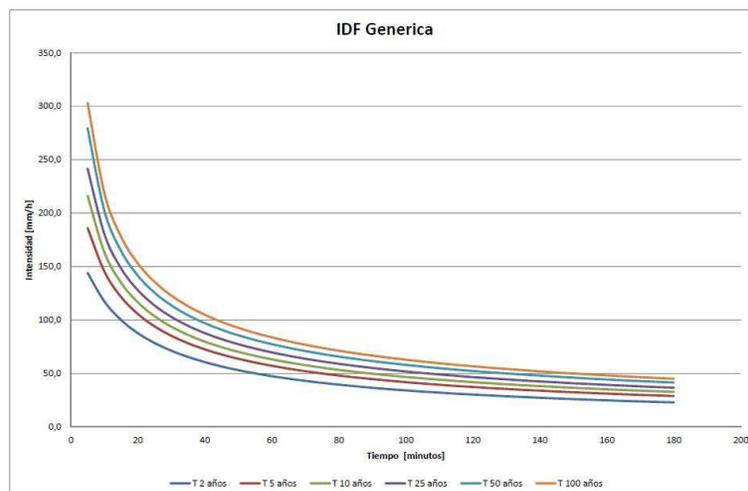


Figura 5.20. Ejemplo de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (genérica).

Para las distintas recurrencias habituales de diseño (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), los autores mencionados encuentran diferencias en el ajuste realizado para la duración de un día, tal como se muestra en la Tabla 5.19 (los datos para el análisis fueron obtenidos de registros diarios de pluviómetro, de acuerdo a Bertoni et al. 2008):

Recurrencia de diseño (años)	Intensidades (mm/h)		Monto diario (mm)		Incremento (%)
	Serie antigua	Serie actual			Actual/Antigua
	(1930-1970)	(1970-2006)	(1930-1970)	(1970-2006)	
2	3,61	3,88	86,64	93,12	7,48
5	4,96	5,4	119,04	129,6	8,87
10	5,86	6,4	140,64	153,6	9,22
25	6,99	7,66	167,76	183,84	9,59
50	7,83	8,6	187,92	206,4	9,83
100	8,66	9,53	207,84	228,72	10,05

Tabla 5.19. Precipitaciones para la obtención de hidrogramas de diseño. Duración de la tormenta D = 1 día. Estación INTA Rafaela (tomado de Bertoni et al., 2008).

La duración igual a un día y la adopción de una distribución espacial uniforme de la precipitación, se justifican con el objeto de obtener a través de modelación, hidrogramas de salida que permitan comparar de manera simple y cuantificable, la influencia combinada de los cambios registrados en el uso de suelo y en las precipitaciones en los dos periodos estudiados. Las recurrencias seleccionadas para las corridas fueron 10, 50 y 100 años, remarcadas en la Tabla 5.18, en la 4ta y 5ta columnas se destaca la precipitación diaria utilizada en los periodos “1980” y “2010”, respectivamente.

Los resultados de las 6 (seis) corridas realizadas se observan en las Figura 5.21 y Figura 5.22 y en la Tabla 5.20, para las secciones del A° Cululú en la RP 50-S y en la Sección Cavour (ver Figura 4.8). Como se ha mencionado en la Sección 5.4.2.2, esta última es la sección de salida de la cuenca completa.

Para la modelación se confeccionó un hietograma de 30 días de duración con toda la precipitación de diseño concentrada en el día 14, el resto de los días la precipitación fue nula. Los picos de las crecidas simulados aparecen el tercer día posterior al de la tormenta (día 4). En las figuras se muestra el hidrograma generado desde el día de la tormenta (día 1) hasta el día 27.

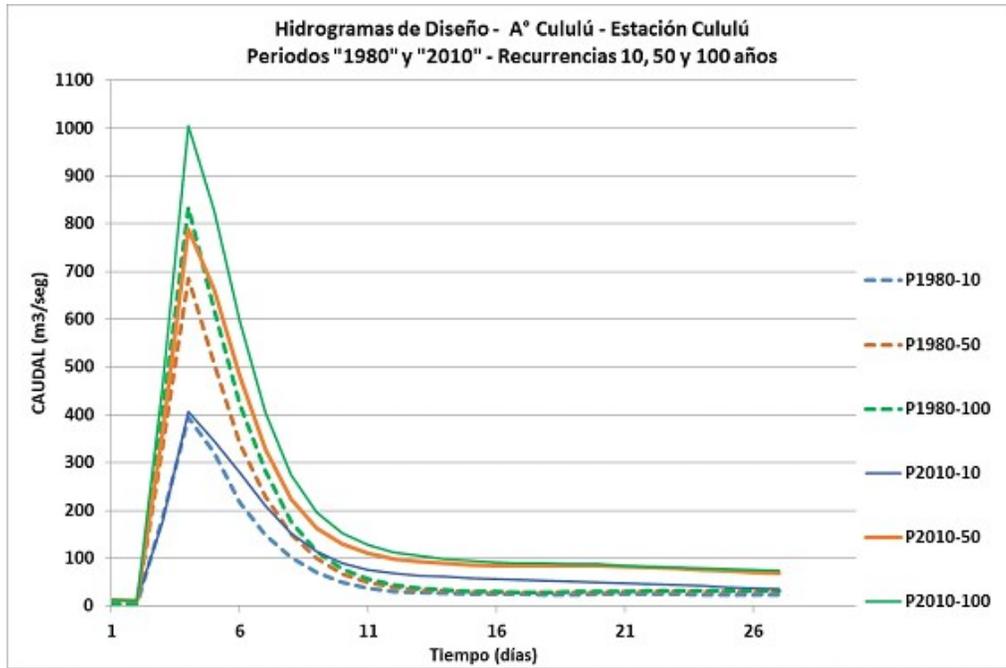


Figura 5.21. Resultados de las corridas para recurrencias de 10, 50 y 100 años en el A° Cululú en RPN° 50-S. Tormentas duración un día

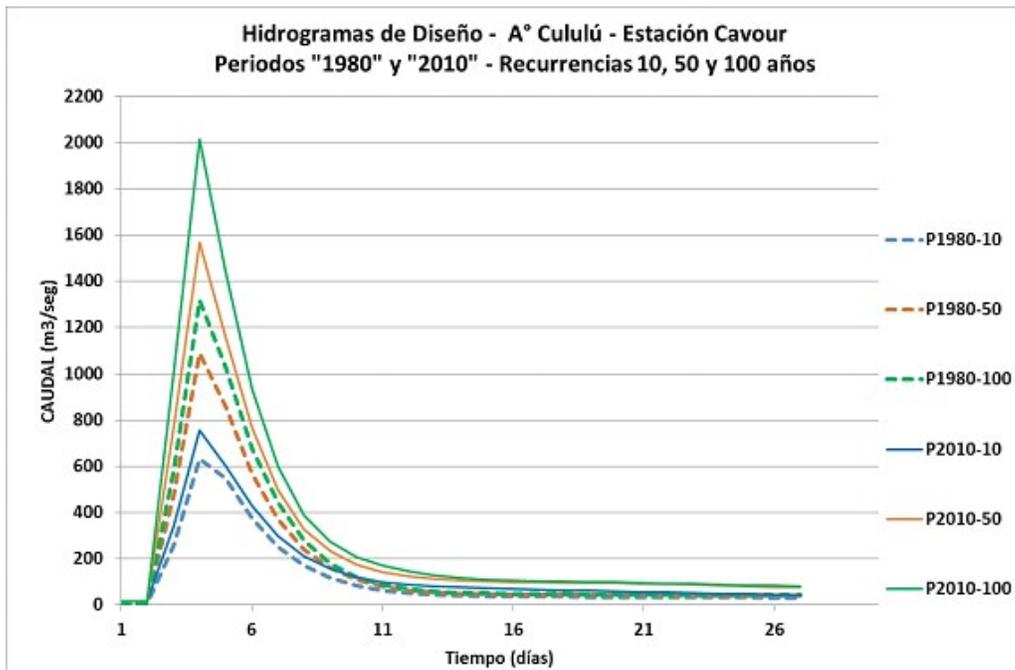


Figura 5.22. Resultados de las corridas para recurrencias de 10, 50 y 100 años en el A° Cululú, Sección Cavour. Tormentas duración un día

RECURRENCIA	Periodo	Secc. RP 50-S		Secc. Cavour	
		Q _p (m ³ /s)	Volumen (hm ³)	Q _p (m ³ /s)	Volumen (hm ³)
10 años	1980	394,5	168	632,1	268
	2010	406,8	240	754,8	355
	%	3	43	19	32
50 años	1980	684,9	256	1087,6	405
	2010	788,3	404	1569,6	628
	%	15	58	44	55
100 años	1980	833,7	303	1317	476
	2010	1004,8	480	2015,2	757
	%	21	58	53	59

Tabla 5.20. Resultados destacados de las corridas para distintas recurrencias con tormentas de duración D=1 día. (secciones en RP50-S y Cavour)

Nota: %: **Porcentaje de incremento de la variable analizada en 2010, con respecto a 1980.**
Volumen: **definido hasta el día 27 del hidrograma.**

Se observa que, para tormentas maximizadas de un día de duración y recurrencias de 10, 50 y 100 años, los valores de precipitación se incrementan entre 9,22 y 10,05 % entre la serie actual y la serie antigua. Esas precipitaciones de diseño aplicadas al modelo calibrado para el periodo actual y el anterior, producen notables incrementos en el caudal pico para la situación actual versus la anterior en función de la recurrencia adoptada: del 3 al 21 %, en la Sección Cululú en RP 50-S y del 19 al 53 %, en la Sección Cavour. En cuanto a los volúmenes de escurrimiento, puede estimarse de manera no taxativa, un incremento de entre 43 y 58 % para la Sección Cululú y de entre 32 y 59 % para la Sección Cavour. Se destaca que para la Sección Cululú, la crecida de 50 años de recurrencia en el periodo actual es similar a la de 100 años del periodo “1980”, posee un caudal pico algo menor, pero un volumen mayor. Sin embargo, en la Sección Cavour, la crecida de 50 años del periodo actual es directamente superior a la crecida de 100 años de recurrencia del periodo anterior. Este resultado expresa nuevamente el aumento en los caudales pico y los volúmenes de escurrimiento entre los dos periodos estudiados debido a los cambios en la intensidad de las precipitaciones y del uso de suelo (rural y urbano). Para las crecidas de 50 y 100 años de recurrencia, los volúmenes de escurrimiento son superiores en más de un 50% para las dos secciones presentadas (entre 55 y 59%). Sin embargo, los caudales pico en la sección Cululú, crecen entre 15 y 21 %, menos de la mitad de lo que crecen los caudales pico en la sección Cavour, que es de entre 43 y 53%. Esta diferencia puede estar vinculada con dos aspectos: (i) las subcuencas que se agregan a la sección de salida tienen mayor

pendiente, y (ii) tienen influencia directa las áreas urbanizadas de la ciudad de Rafaela (subcuenca del A° Las Prusianas).

5.4.6.2. *Obtención de crecidas de diseño para la situación actual (2010) y duración semejante al tiempo de concentración de la cuenca (D = 5 días)*

Con el modelo calibrado para la situación actual (“Periodo 2010”) se obtuvieron crecidas para el diseño de los reservorios. Las precipitaciones de diseño utilizadas fueron obtenidas de trabajos recientes (Incociv, 2012) desarrollados con el objeto de establecer la zonificación y regulación del uso del suelo en áreas inundables en todo el territorio provincial. Para la cuenca del A° Cululú, estos autores obtuvieron precipitaciones medias areales para duraciones de 5 días, igual al tiempo de concentración de la misma. Los datos diarios utilizados provienen de 6 (seis) pluviómetros (Moisés Ville, Eusebia; Santa Clara de Sagüier, Rafaela, Sunchales y Esperanza) y su área de influencia se obtuvo mediante polígonos de Thiessen. La serie empleada es 1988-2011 con datos del SMN y de la DGC. Incociv (2012) realizó un análisis de frecuencia de las series, y eligió la distribución de Log-Gauss. De dicho estudio se adoptaron los montos de precipitación acumulada media areal de las tormentas de diseño para las recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (ver Tabla 5.21).

Recurrencia (años)	Precipitación de diseño aplicable al “Periodo 2010” (mm)
2	115,4
5	169,5
10	207,3
25	256,9
50	295,1
100	334,3

Tabla 5.21. Precipitación Media Areal de la cuenca del A° Cululú, Maximizada, Duración = 5 días (tomado de Incociv (2012)).

Previa a la aplicación de estos montos de precipitación, se debe adoptar una distribución temporal de la tormenta de diseño, la que afecta el volumen de escurrimiento, así como la magnitud y la ubicación temporal del caudal pico. En este caso se aplica un intervalo temporal $Dt = 1$ día. El pico de la crecida modelada quedará bien definido porque la duración de la tormenta se divide en 5 partes.

En base al trabajo de Serra et al. (2017), en este trabajo se aplicó la técnica del hietograma adimensional. A partir de numerosas tormentas registradas en los pluviógrafos pertenecientes a la Red Telemétrica de la Cuenca del Río Salado, estos autores evalúan curvas que definen su comportamiento temporal para distintas probabilidades. Se adoptó una curva promedio de las curvas características de las estaciones de Rafaela, Curupaity, Las Palmeras, Soledad y Santa Fe que pertenecen a la cuenca del A° Cululú o están en las cercanías de su límite. Estas tormentas adimensionales brindan una relación entre el tiempo en que se desarrolla la tormenta y el monto total de la lluvia en cada intervalo, además relacionan su variación temporal con la probabilidad de que esa distribución se produzca. En la Figura 5.23 se presentan las curvas de las estaciones mencionadas para una probabilidad del 90 % y la curva promedio obtenida, la cual es aplicada en este estudio.

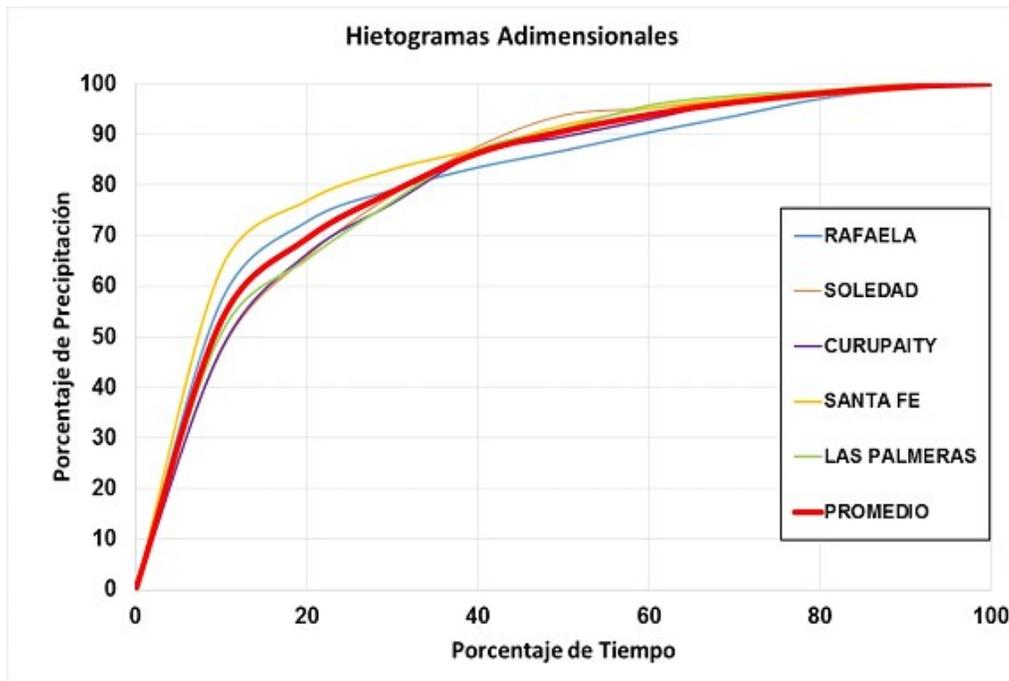


Figura 5.23. Hietogramas adimensionales de las estaciones de la cuenca del A° Cululú y aledañas y curva promedio aplicada en este estudio

En la Tabla 5.22 se incluyen los porcentajes de la curva promedio a aplicar para cada intervalo, y se presentan los hietogramas de diseño para distintas recurrencias, distribuyendo a lo largo de 5 días los montos totales obtenidos en la tabla anterior.

Porcentaje de tiempo acumulado (%)	Porcentaje de precipitación acumulada en la curva adimensional promedio (%)	PRECIPITACIÓN ACUMULADA (mm) según RECURRENCIA (años) de la TORMENTA					
		R=2	R=5	R=10	R=25	R=50	R=100
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	69,4	80,1	117,6	143,9	178,3	204,8	232,0
40	86,3	99,6	146,3	178,9	221,7	254,7	288,5
60	93,9	108,3	159,1	194,6	241,2	277,1	313,9
80	98,1	113,2	166,3	203,4	252,0	289,5	328,0
100	100,0	115,4	169,5	207,3	256,9	295,1	334,3

Tabla 5.22. Hietogramas de tormentas de diseño para distintas recurrencias, con una probabilidad del 90 % y una duración total de 5 días.

A continuación, se presenta a modo de ejemplo de aplicación del hietograma medio de la cuenca para una tormenta de 5 días de duración, con una recurrencia de diseño de 100 años (ver Figura 5.24):

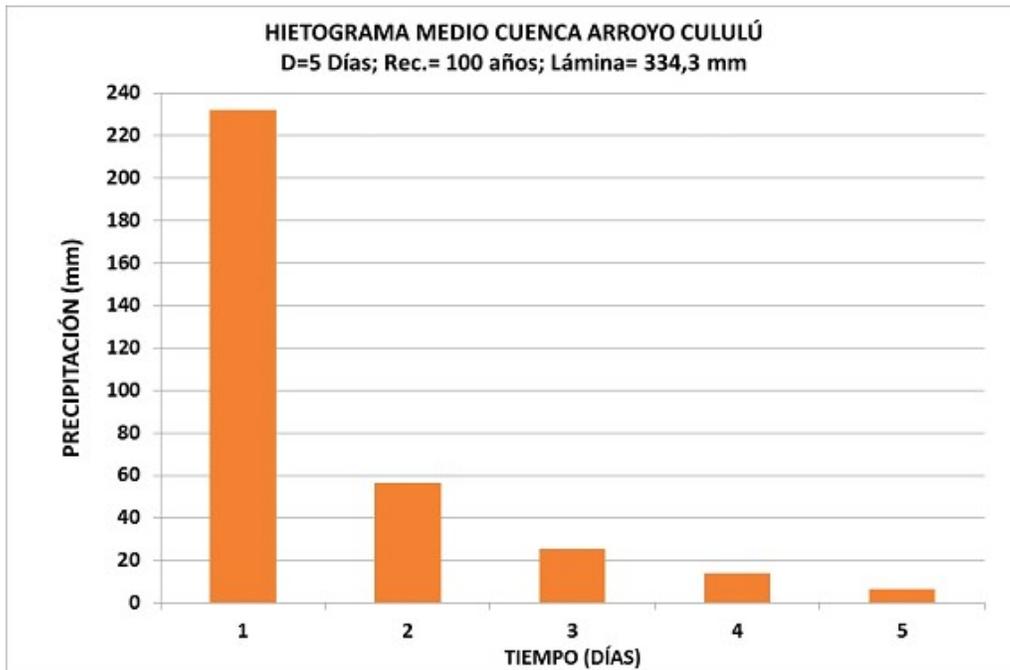


Figura 5.24. Hietograma de diseño (R = 100 años) promedio areal de la cuenca del A° Cululú combinando los estudios de Incociv (2012) y Serra et al. (2017).

Las crecidas de diseño en la condición actual de la cuenca para distintas recurrencias resultantes de la modelación son aplicables para el diseño hidrológico de diversos tipos

de obras. A continuación, se presentan algunos de los hidrogramas correspondientes para las secciones del A° Cululú en RP 50-S y en Cavour (Figura 5.25 y Figura 5.26).

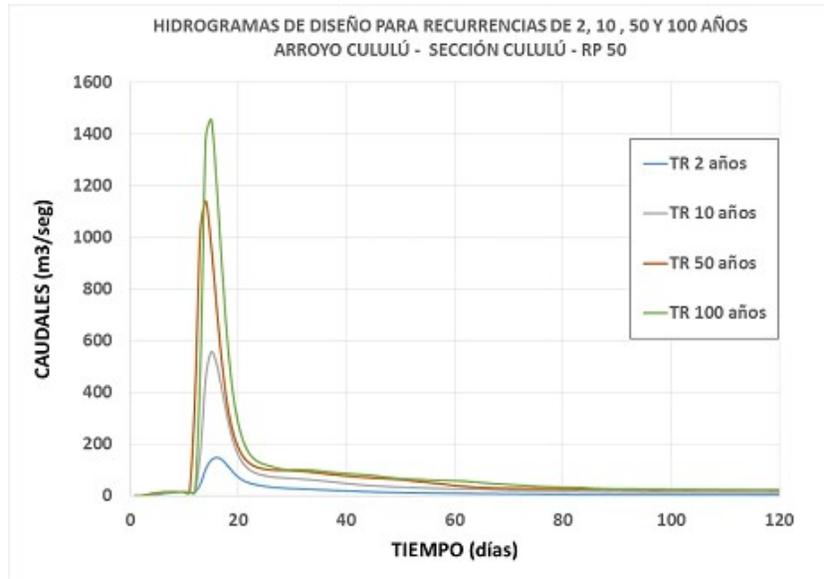


Figura 5.25 Resultados de las corridas para recurrencias de 2,10, 50 y 100 años. Duración de la tormenta 5 días, distribución areal según INCOCIV (2012) y temporal según Serra et al. (2017). A° Cululú en Sección Cululú (RP 50-S).

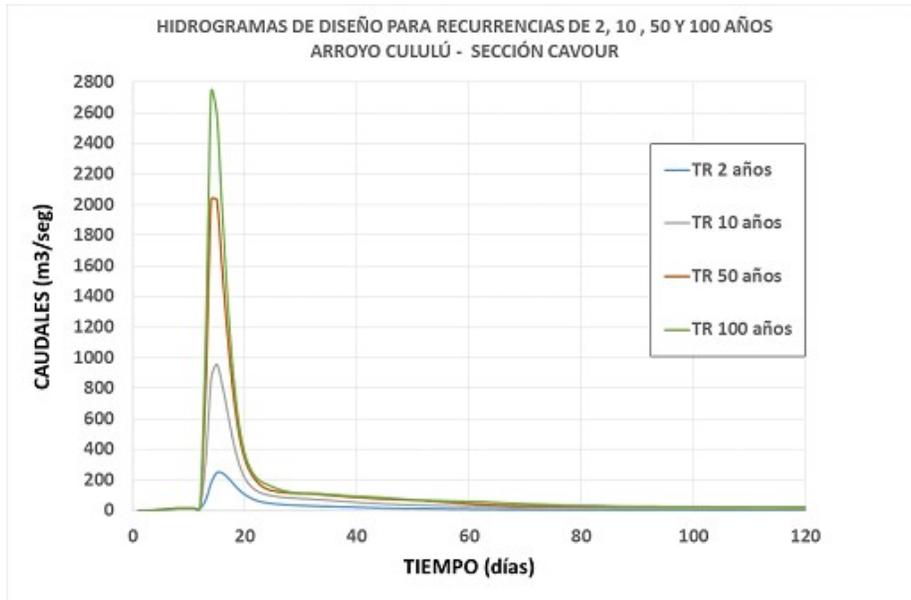


Figura 5.26. Resultados de las corridas para recurrencias de 2,10, 50 y 100 años. Duración de la tormenta 5 días, distribución areal según INCOCIV (2012) y temporal según Serra et al. (2017). A° Cululú en Sección Cavour.

En la Tabla 5.23 se presentan las principales características de las crecidas de diseño de las dos secciones de análisis, para todas las recurrencias obtenidas mediante simulación. El modelo hidrológico brinda esta información para cada subcuenca y para cada unión entre subcuencas.

RECURRENCIA de Diseño (años)	Sección RP 50-S		Sección CAVOUR	
	Q_p (m^3/s)	Volumen (hm^3)	Q_p (m^3/s)	Volumen (hm^3)
2	148	184	249	251
5	343	347	588	474
10	556	514	959	707
25	842	713	1494	1000
50	1140	890	2034	1265
100	1457	1066	2735	1535

Tabla 5.23. Caudal pico y volumen de las crecidas de diseño de las dos secciones del A° Cululú .

La obtención de estas crecidas de diseño, caracterizadas por caudales y volúmenes en las distintas secciones de las subcuencas que conforman el modelo, fueron útiles para orientar y pre-diseñar la posición de los reservorios que se presentan en el punto siguiente, como así también la mayoría de sus características geométricas.

5.4.6.3. Simulación hidrológica de la cuenca en estado actual con la incorporación de reservorios propuestos

Como se ha demostrado, los escurrimientos en la cuenca se han incrementado por diferentes factores. Para su regulación, se dispone de una importante diversidad de medidas tanto estructurales como no estructurales y de manejo del suelo. En este estudio se propone como medida estructural, la creación de reservorios en puntos estratégicos de la cuenca, con el fin de reducir los caudales pico y la regulación de los caudales de crecida. A través de la explotación del modelo calibrado para la situación actual y a partir de las crecidas de diseño generadas en el punto anterior, se verificó la eficacia de las obras de detención propuestas en distintos sectores de la cuenca para crecidas provocadas por eventos de precipitación aislados.

En general las obras de regulación son estructuras hidráulicas que permiten mantener un desnivel entre aguas arriba y aguas abajo, interceptando el flujo de los cursos de agua en los valles fluviales elevando el nivel de aguas arriba y generando un embalse en el vaso

topográfico natural. Se deben ejecutar además estructuras para controlar la acción erosiva de las corrientes en el fondo y en las orillas de los cauces.

En la provincia de Santa Fe comenzaron a ejecutarse hace ya algunas décadas, por lo tanto, no es excepcional hablar del diseño y la construcción de las mismas. Además, existe otra cantidad importante de obras de regulación de caudales en estado de proyecto. Entre los ejemplos de obras de regulación en funcionamiento pueden mencionarse:

- Obras de regulación en la cuenca interprovincial de la Laguna La Picasa
- Estaciones de Bombeo en la Laguna Melincué,
- Azud sobre el río Salado en Tostado (ver Figura 5.27),
- Presa Reguladora de crecidas del Arroyo Ludueña (Rosario).



Figura 5.27. Vertedero central en el azud de Tostado, sobre el río Salado (prov. de Santa Fe), visto desde aguas abajo. Fuente: foto del autor.

En el modelo descrito en la Sección 5.4.6.2, se introdujeron las características de las potenciales obras de regulación propuestas a nivel de prefactibilidad, representadas por reservorios. La ubicación, cotas mínima y máxima, cota y longitud del vertedero y longitud de la presa de cada reservorio se incluyen en la Tabla 5.24. Los reservorios quedan definidos además mediante curvas características: altura-volumen y caudal-volumen.

REF.	UBICACIÓN del RESERVORIO		Longitud de VERTEDERO (m)	Longitud de PRESA (km)	
	Carta IGN	Coordenadas			
		LAT			LONG
R1	Elisa	30°42'20.83"S	61° 4'48.14"O	80	9,5
R2	Providencia (NE)	30°51'50.32"S	61° 3'38.64"O	160	6,5
R3	Providencia (N)	30°53'26.21"S	61° 6'51.32"O	160	6,8
R4	La Pelada (SO)	30°56'39.15"S	60°57'59.39"O	420	3,2
R5	Sarmiento (SO)	31° 9'21.05"S	61° 2'18.80"O	200	5,7
R6	Nelson (NO)	31°10'24.94"S	60°56'34.56"O	460	1,5
R7	Pilar (E)	31°22'59.75"S	61°16'30.74"O	40	4,5
R8	Felicia	31°16'28.12"S	61° 3'19.79"O	220	1,6
R9	Nelson (SO)	31°17'29.81"S	60°58'45.31"O	860	1,5

Tabla 5.24. Características de los reservorios propuestos. Cuenca del A° Cululú.

Continuación

REF.	Cota Mínima a IGN (m)	Cota Máxima IGN (m)	Altura Máxima de la Presa (m)	Cota del Vertedero IGN (m)	Volumen Máximo Estimado (hm3)	Area Máxima Estimada (km2)
R1	50	60	10,0	57,5	144	53
R2	44	50	6,0	47,5	210	60
R3	50	57,5	7,5	55	175	40
R4	40	45	5,0	42,5	91	48
R5	37,5	47,5	10,0	45	92	21
R6	31	37,5	6,5	35	36	27
R7	50	60	10,0	57,5	87	17
R8	32,5	40	7,5	37,5	36	18
R9	23	30	7,0	27,5	50	20
TOTAL					921	304

NOTA: REF.: número de identificación del reservorio de acuerdo a la Figura 5.26, Carta IGN: nombre de la carta topográfica en escala 1:50.000 en la que se ubica el reservorio, Coordenadas: corresponden a la Latitud y Longitud del centro del Vertedero.

Las características de los reservorios indicadas en la tabla precedente fueron obtenidas a partir de los siguientes criterios:

-UBICACIÓN y ALTURA MÁXIMA: A partir de los datos de la red de drenaje, de la topografía y de las características de las crecidas de diseño, se propone la ubicación de un cierto número de futuros reservorios, los que definirán una capacidad de almacenamiento máximo. A los fines de asegurar el cumplimiento del requerimiento de regulación de caudales, se estableció que estén ubicados en la zona de descarga de la

cuenca, por ser la colectora final de los escurrimientos y porque en función de su topografía, se obtienen volúmenes de embalse acordes con los de los hidrogramas de crecida de mayores recurrencias. Se priorizaron los sitios potenciales de menor longitud de presa en función del volumen embalsado. La cota mínima corresponde al punto más bajo de la sección del arroyo o del tributario, en general obtenida de la carta topográfica en escala 1:50.000 o de algún relevamiento topográfico previo. Como cota máxima se identificó la curva de nivel que no afectara sitios con posible ocupación humana actual. Se procuró no afectar rutas o caminos, y finalmente no interferir con la descarga de reservorios situados aguas arriba por efectos de remanso. La altura máxima se obtuvo de la resta entre la cota máxima y la cota mínima. La ubicación de los reservorios se presenta en la Figura 5.28.

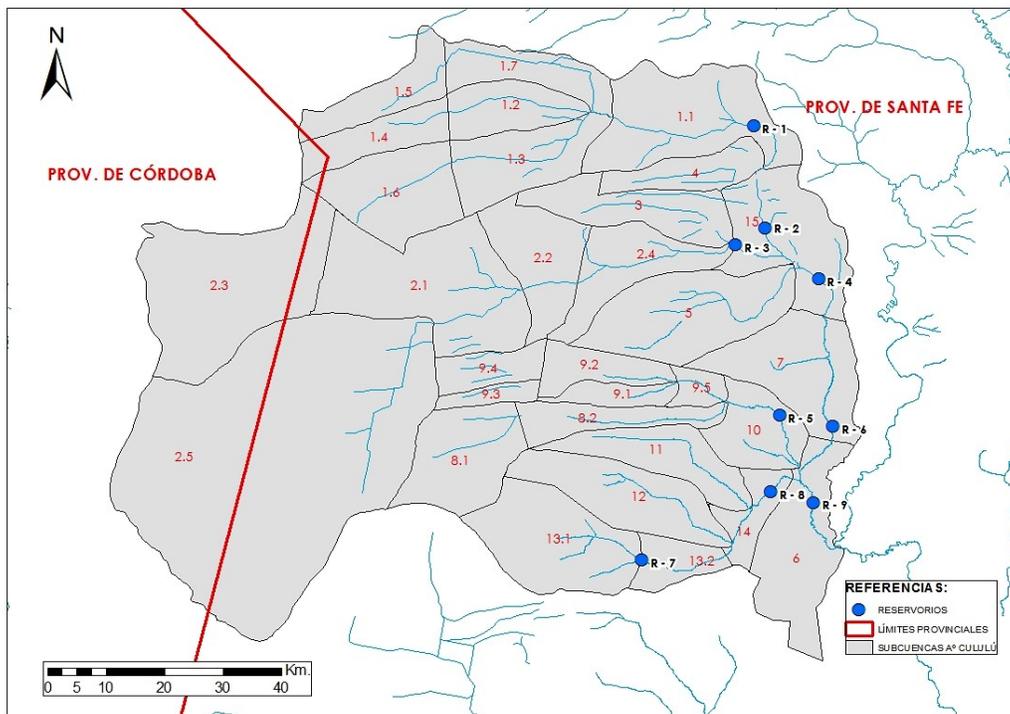


Figura 5.28. Ubicación de los reservorios propuestos.

-COTA Y LONGITUD DEL VERTEDERO: El órgano principal de descarga de caudales de crecida en cada uno de los reservorios es un vertedero de amplia longitud que permite la descarga de grandes caudales, sin generar elevaciones exageradas. Se han previsto descargadores de fondo como baterías de orificios circulares de 1 m de diámetro. El prediseño efectuado para los descargadores tiene en cuenta relaciones entre el caudal base (Q_b), el caudal promedio anual (Q_{ma}) y el caudal pico de recurrencia 2 años ($Q_p R=2$ años), obtenidos para la sección RP 50-S (Cululú). El Q_b puede estimarse

como el 30 % del caudal promedio anual (Ferreira et al., 2009), el cual a su vez es el 10 % del Q_p R=2 años. Este último valor es conocido por las corridas de explotación del modelo calibrado en condiciones actuales. Los módulos elegidos consisten en dos, cuatro u ocho orificios de salida según el valor estimado de caudal base para las secciones correspondientes a cada reservorio. Para diseñar la cota del vertedero se tuvo presente dejar pasar el caudal de Q_p R=100 años, manteniendo una revancha general de 1m por debajo de la cota máxima, en función de diversas afectaciones, en todos los reservorios. En general, se estableció el valor de 2,5 m por debajo de la cota máxima del reservorio para fijar el umbral del vertedero. La longitud se obtuvo adoptando un vertedero modular de 20 m, el cual, para un $h=0,75$ m de carga aguas arriba, descarga $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Se calculó para el caudal pico de R=50 años, dividiendo por $50 \text{ m}^3/\text{s}$ y multiplicando por 20 m. Se estimó cual sería esa longitud, para un $h=1\text{m}$, tal que el vertedero de 20 m deje pasar $75 \text{ m}^3/\text{s}$. Con este valor se dividió el caudal pico de R=100 años. Finalmente se adoptó en cada caso un valor de L (m) situado entre estos dos calculados, y que fuera múltiplo de 20 m (así se obtuvieron los datos para la columna “Longitud de Vertedero” en la tabla anterior). En la Tabla 5.25 se incluye el caudal pico y el volumen de crecida de diseño en cada sitio, empleados en los cálculos mencionados y obtenidos como producto de las corridas descritas en la Sección 5.4.6.2.

REF.	2 años		10 años		50 años		100 años	
	Q_p (m^3/s)	Vol (hm^3)						
R1	22	48	31	75	132	137	234	184
R2	49	64	134	121	340	218	483	281
R3	41	78	175	262	377	448	468	515
R4	140	172	514	477	1038	828	1337	990
R5	148	184	556	514	1140	890	1457	1066
R6	28	21	143	65	453	148	601	188
R7	5	8	8	14	63	29	138	44
R8	83	35	259	93	530	166	711	207
R9	249	251	959	707	2034	1265	2735	1535

Tabla 5.25. Características de las crecidas de diseño para los reservorios propuestos.

-CURVAS CARACTERÍSTICAS: ALTURA-VOLUMEN Y ALTURA-CAUDAL: Habiendo obtenido las curvas altura-área con información de las cartas topográficas, se construyeron las curvas altura-volumen y altura-caudal. Como ejemplo,

se presentan las dos curvas correspondientes al Reservoirio R1, ubicado en cercanías de la localidad de Elisa (Figura 5.29, Figura 5.30, y Figura 5.31).

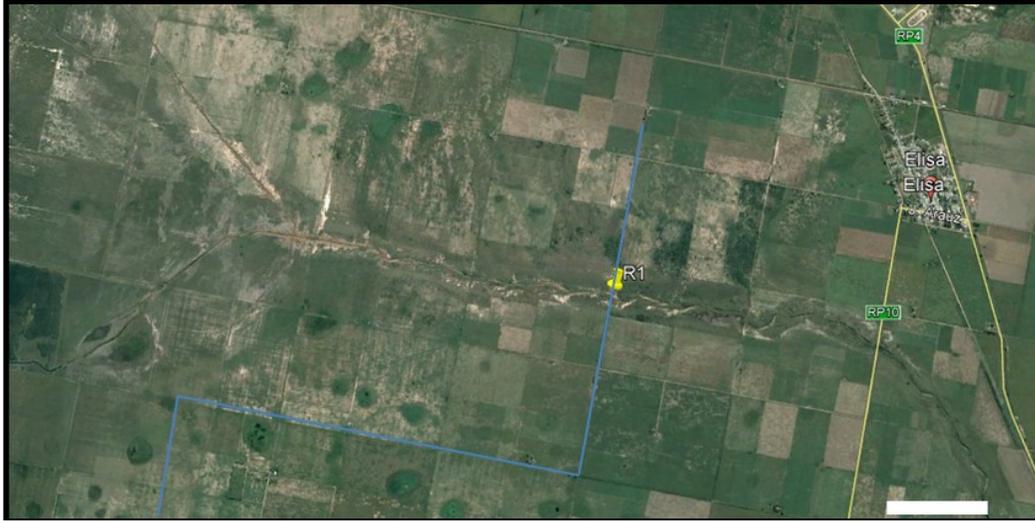


Figura 5.29. Croquis de ubicación del reservorio R1. (El segmento blanco abajo a la derecha indica 1 km, en azul la traza parcial de la presa).

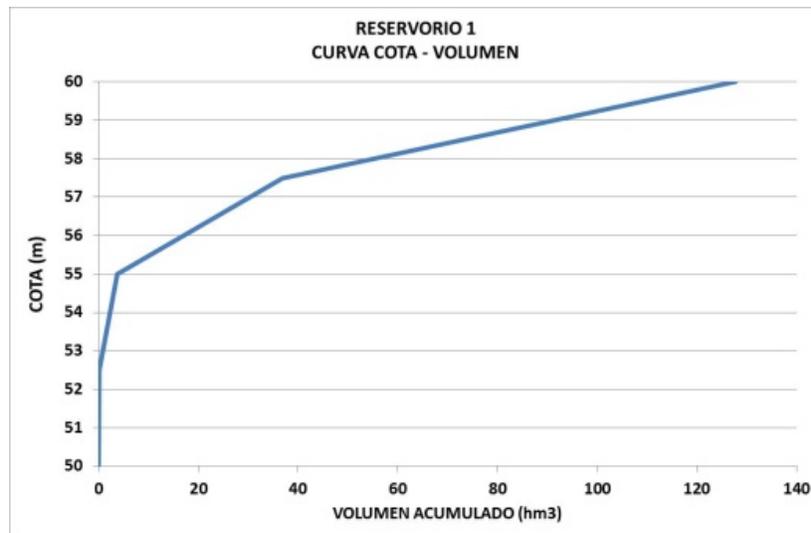


Figura 5.30. Curva Cota (IGN)-Volumen para el Reservoirio 1.

En el Anexo 5.3 se presentan croquis de ubicación y las curvas características correspondientes a todos los reservorios propuestos para la cuenca del A° Cululú.

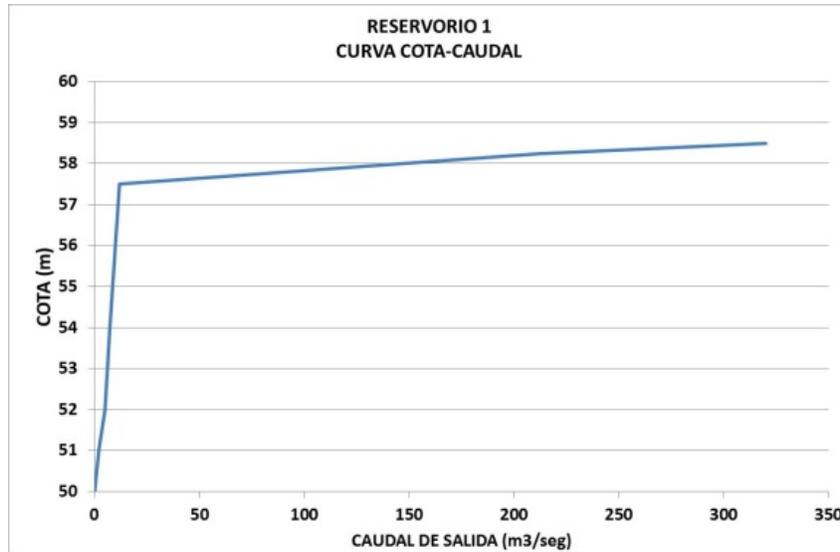


Figura 5.31. Curva Altura-Caudal para el Reservorio 1.

Se definieron cuatro escenarios, según el porcentaje de adhesión a la construcción de reservorios (Tabla 5.26). El escenario 1, cuyo porcentaje de adhesión es del 0 %, corresponde a la configuración de la calibración para la cuenca en el estado actual (sin reservorios). En el escenario 2, se considera solamente el funcionamiento de los tres reservorios situados aguas arriba (R1, R2 y R3). En el escenario 3 se consideran los seis reservorios de aguas arriba (R1 a R6). Finalmente, el escenario 4, considera los nueve reservorios (R1 a R9) funcionando simultáneamente. El diagrama topológico de la cuenca donde se incluyen los nueve reservorios de muestra en la Figura 5.32.

Escenario	1	2	3	4
Adhesión a la propuesta (en número de reservorios)	0%	33%	66%	100%

Tabla 5.26. Escenarios de construcción de reservorios.

La efectividad de cada escenario se evaluó a través de la reducción del caudal pico de la crecida de una determinada recurrencia lograda con la implementación de 3, 6 o 9 reservorios. Se cuantifica del siguiente modo:

$$\text{Efectividad (\%)} = (Q_p(s/r) - Q_p(c/r)) / Q_p(s/r)$$

Donde:

$Q_p(s/r)$: Caudal pico sin regulación en la sección considerada.

$Q_p(c/r)$: Caudal pico con regulación en la sección considerada, de acuerdo a cada escenario.

CAUDAL PICO (m ³ /s) – Sección CAVOUR				
RECURRENCIA	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4
2	249	211,5	114	126
10	959	850	560	542
50	2034	1878	1476	1508
100	2735	2428	1977	1882,3
Efectividad (%) – Sección CAVOUR				
RECURRENCIA	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4
2	0	15	54	49
10	0	11	42	43
50	0	8	27	26
100	0	11	28	31

Tabla 5.28. Caudal pico y porcentaje de efectividad para distintas recurrencias en la sección Cavour, según cada escenario.

Finalmente, en la Figura 5.33, Figura 5.34 y Figura 5.35 se presentan los hidrogramas generados en la sección Cavour (a la salida de la cuenca) para los escenarios 2, 3 y 4, respectivamente, en comparación con el hidrograma de crecida de 100 años de recurrencia de la cuenca en estado “actual”.

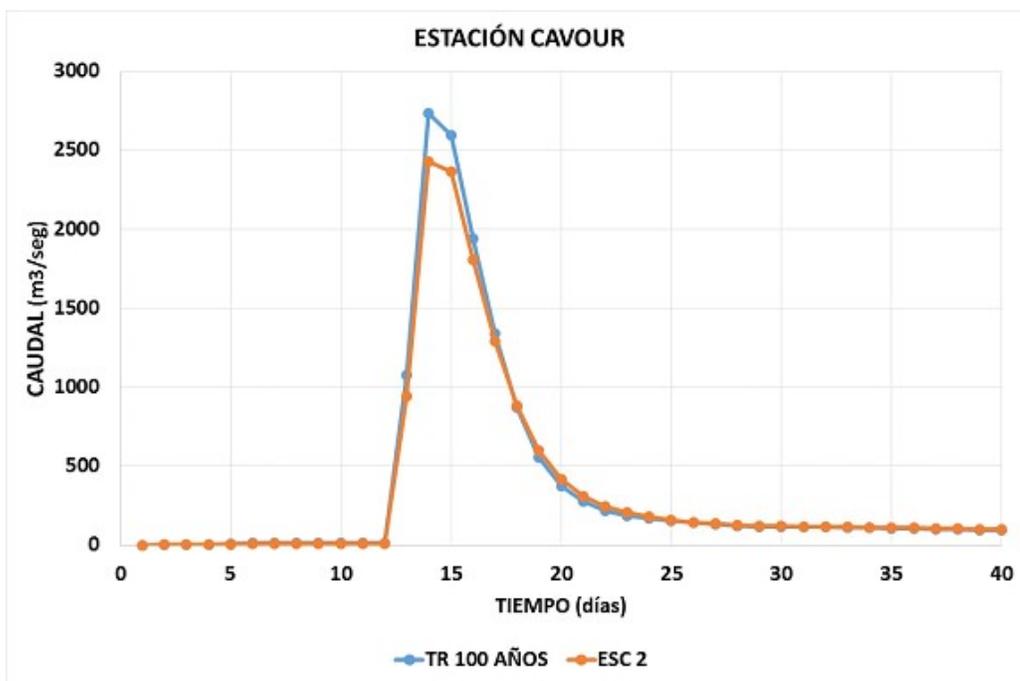


Figura 5.33. Escenario 2. Estación Cavour.

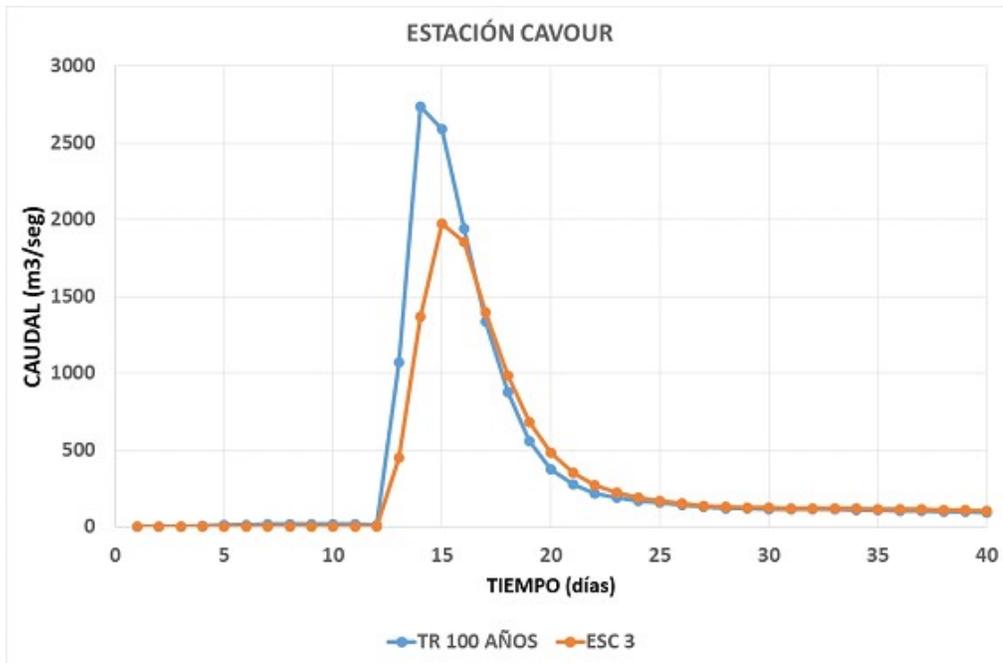


Figura 5.34. Escenario 3. Estación Cavour.

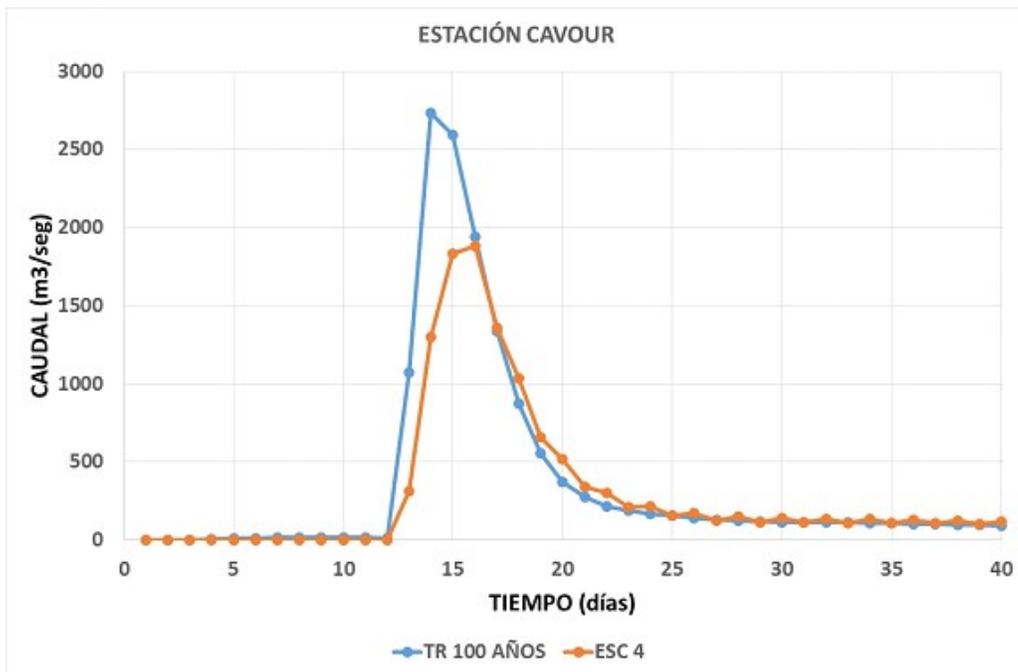


Figura 5.35. Escenario 4. Estación Cavour.

Los resultados de la modelación muestran la utilidad de implantar este tipo de obras, ya que, por ejemplo, para una crecida de 100 años de recurrencia y los nueve reservorios

construidos, se logra una reducción del 31% del caudal pico a la salida de la cuenca. Por otro lado, se puede analizar el impacto para distintos porcentajes de adhesión a la propuesta de la construcción de reservorios. Contar con herramientas de modelación convenientemente calibradas y verificadas, permite plantear otros casos hipotéticos de gestión y manejo del recurso hídrico. Por ejemplo, puede modificarse el porcentaje de adhesión e incluso cambiar el número y/o ubicación de los reservorios.

5.4.7. Comparaciones y conclusiones parciales

La metodología desarrollada permitió por primera vez analizar los cambios producidos de manera conjunta en las precipitaciones y en el uso de suelo. Los resultados obtenidos son cuantitativos, partiendo de datos reales generados a lo largo de décadas por organismos reconocidos. Se detectaron eventos concentrados de precipitación para evitar un proceso largo de calibración y verificación, maximizando la cantidad de estaciones pluviométricas utilizadas en los cálculos, conociendo la sensibilidad que presenta la modelación a datos de entrada que no sean representativos de la distribución temporal y espacial de los eventos de precipitación considerados. Por tal razón, los resultados aquí obtenidos presentan una mejora significativa respecto de resultados de estudios anteriores (INA-FICH-INTA, 2007).

A diferencia del trabajo de INA (INA-FICH-INTA, 2007) en el cual los valores de CN para la condición actual son “inferidos”, aquí por el contrario los valores de CN son obtenidos por calibración y posteriormente se realiza una verificación, para una situación histórica diferente, considerando eventos de magnitud destacada en la historia de los registros hidrométricos del A° Cululú. En cuanto al principal objetivo de la calibración (Q_p), en ambos casos el ajuste se produce con un error menor o igual al 1,3 % en valor absoluto. En el caso de las verificaciones, el Q_p se ajusta con un error menor o igual a 9,9 %. En cuanto a los ajustes de volumen aparece claramente la incertidumbre vinculada a la cantidad de datos de precipitación disponible: para el periodo actual los errores son menores o iguales al 16,7% en valor absoluto, mientras que en el caso del periodo “1980”, son el doble o el triple. Los valores de CN hallados a través de la calibración para los eventos elegidos de los periodos “1980” y “2010” son respectivamente de 58 y 65, lo que implica un incremento estimado en el valor actual del CN del 12 % con respecto a “1980”, considerando este cambio de extrema importancia.

A partir de los resultados de la explotación del modelo en la situación “1980” y “2010”, se calculó el incremento en el caudal pico de crecidas para la situación actual, generada por una tormenta de un día de duración y recurrencias de 10, 50 y 100 años. A modo de ejemplo, esta diferencia fue de 3 a 21 %, en la Sección Cululú en RP 50-S y del 19 al 53 %, en la Sección Cavour.

En las etapas de calibración y verificación para el periodo “2010” –lo más cercano a la situación actual-, se dio prioridad a la variable “caudal pico”, de modo de contar con una representación de la cuenca utilizable en las condiciones de proyecto a nivel de prefactibilidad de los reservorios, por cuestiones vinculadas al diseño de los órganos de descarga. En segundo lugar, se tuvo en cuenta el volumen escurrido, ya que en su cálculo tiene mucha influencia el monto de la precipitación media de la cuenca en el evento modelado.

En cuanto a la aplicación de medidas estructurales como los reservorios propuestos, se destaca en el caso del escenario 4 (construcción de nueve reservorios), los resultados de la amortiguación del caudal pico en un 31% en la sección de salida de la cuenca para una crecida de 100 años de recurrencia en las condiciones actuales.

Se destaca un dato importante para la futura gestión de la cuenca: los reservorios, por las razones explicadas más arriba, están situados fuera de la jurisdicción de los actuales Comités de Cuenca. Es evidente que su construcción dependerá de recursos provinciales, nacionales o internacionales y que su manejo debería ser llevado adelante por un Organismo de Cuenca, con atribuciones por encima de los Comités de Cuenca.

6. PROPUESTA DE CREACIÓN DE UN ORGANISMO DE GESTIÓN HÍDRICA PARA LA CUENCA DEL A° CULULÚ

6.1. Introducción

En los capítulos anteriores, principalmente en los Capítulos 3, 4 y 5, se describió el estado actual de la cuenca y la posibilidad de implementar intervenciones estructurales y no estructurales. La propuesta que se desarrolla en este capítulo acerca de la creación de un organismo de cuenca en el marco de la Ley de Aguas de la Provincia de Santa Fe y de los avances alcanzados en el desarrollo del Plan Director de Recursos Hídricos para la denominada Región Hídrica III (INA-MIyT, 2018) es la principal medida no estructural. Por otra parte, se efectúa una serie de propuestas de índole técnico, algunas de carácter específico y concreto, otras de orden general. En el caso de las propuestas vinculadas con la implementación de reservorios, se destacan en el presente capítulo sus beneficios ambientales, los que están relacionados con la vinculación de estas obras a la red de drenaje, la cual conforma un verdadero entramado de corredores biológicos.

De acuerdo con FAO (1991), la cuenca hidrográfica constituye la síntesis de una percepción correcta de una unidad espacial-territorial, útil y adecuada para analizar y modelar la aplicación de políticas de desarrollo sustentable. Además, la organización y participación de la comunidad involucrada ha demostrado ser el elemento fundamental en la toma de decisiones que benefician al conjunto de actores sociales localizados en la cuenca.

En el caso de la provincia de Santa Fe, el liderazgo en la promoción de mecanismos de coordinación debe ser asumido por el Gobierno Provincial con el apoyo de las organizaciones locales (comités de cuenca, municipios, comunas, organizaciones de usuarios y productores rurales, entre otros). Como se mencionó en el Capítulo 1, a nivel de planificación hídrica y por iniciativa del Gobierno Provincial, se está avanzando en todo el territorio de la Provincia de Santa Fe, en la confección de los Planes Directores-PD para distintas Regiones Hídricas. En el año 2006 se definieron 7 (siete) Regiones Hídricas por parte de las áreas técnico-profesionales del entonces Ministerio de Asuntos Hídricos, actual SRH (MAH, 2006). La cuenca del A° Cululú pertenece a la Región Hídrica III, que está definida con los límites de la cuenca baja del río Salado en la provincia de Santa Fe (ver Figura 6.1).

Hasta el momento, el grado de avance alcanzado en cuanto al PD es el definido como Módulo I de la Etapa II. El objetivo general de este módulo es el de “Establecer áreas críticas y priorizar la problemática desde el punto de vista de la hidrología superficial”, en tanto que, entre sus objetivos particulares, merecen mencionarse: (i) Actualización de la base hidrológica/hidráulica; (ii) Elaboración de propuestas de obras para mitigar/mejorar el impacto hídrico y (iii) Priorización de subcuencas y proyectos de análisis en función del impacto local y regional” (INA-MIT, 2018).



Figura 6.1. La región hídrica III (MAH, 2006).

De acuerdo a la literatura citada en el Capítulo 2, más las experiencias del extranjero que se presentan a continuación, se manifiesta que en el proceso de manejo de cuencas el nivel de intervención es a largo plazo y es preferible no abarcar grandes áreas, aunque si pueden existir numerosos actores. La extensión de la cuenca del A° Cululú (9.500 km²) es adecuada para iniciar un proceso de gestión participativa. Dadas estas dimensiones territoriales y con los actores identificados en el capítulo anterior, puede esperarse que se den las condiciones que puntualizan Cotler y Caire (2009), donde:

- El interés común de los actores es más homogéneo que en una gran cuenca.

- El área de trabajo es relativamente pequeña y por lo tanto la necesidad de recursos para la gestión será menor.
- Se facilita la comprensión de la problemática, que puede ser común en los distintos actores, de las necesidades sentidas y de cómo resolverlas.
- La administración es mucho más sencilla y el seguimiento ambiental puede ser más efectivo.
- La coordinación entre entidades de la cuenca es más inmediata y la problemática social a enfrentar puede ser más homogénea.
- Se facilita la participación de los actores y las experiencias se comparten más rápidamente.

En la actualidad se incrementa paulatinamente la toma de conciencia y el accionar en procura de una mejor gestión del agua de otros actores, particularmente vinculados con la Sociedad Civil Organizada, y que actualmente no están siendo contemplados en su potencial participación en la toma de decisiones, pero que la Ley de Aguas de la Provincia de Santa Fe les otorga la posibilidad de participar. El aspecto clave de la propuesta es tratar de que, al involucrar con responsabilidad a estos nuevos actores, se puedan subsanar los defectos de funcionamiento que han sido apreciables en las últimas décadas, corrigiendo las malas prácticas y potenciando las acciones positivas, procurando iniciar un proceso que tenga como meta alcanzar la sustentabilidad ambiental de la cuenca.

En lo que respecta a la participación, en la Provincia de Santa Fe puede considerarse a los Comités de Cuenca como una parte de los actores involucrados en la toma de decisiones vinculadas a intervenciones estructurales en determinados territorios (aunque en la mayoría de los casos, no son cuencas hidrográficas). Dada la permanencia histórica de estos organismos mixtos, con su accionar plagado de altibajos, se considera que son un punto de partida válido para generar la movilización social que requiere el planteo de una gestión participativa eficaz. Además, son probablemente las organizaciones en plena actividad las que deberían liderar, junto al Gobierno Provincial, el inicio de este proceso de creación de un Organismo de Cuenca-OC.

En este proceso se buscará reivindicar la importancia de la perspectiva ciudadana para reconocer las necesidades propias del territorio habitado, fundamentalmente de los actores que al momento han tenido escasas o nulas oportunidades de participación. Un producto a alcanzar de manera participativa, es la realización de un diagnóstico de la

situación del territorio de la cuenca partiendo de los recientes avances logrados en el Plan Director de Recursos Hídricos para la Región Hídrica III (INA-MIyT, 2018) y de los proyectos que conformaron el Plan Estratégico Provincial (PEP, 2008).

Para que la gestión participativa de la cuenca tenga éxito se deben contemplar múltiples dimensiones a fin de comprender la realidad de manera integral y encarar las acciones para abordarla teniendo en cuenta su complejidad. Esto implica esfuerzos conjuntos de los distintos actores presentes o con incidencia en la región, no sólo desde el aporte de recursos, sino desde la cooperación, la coordinación y el trabajo en un mismo sentido para concretar lo planificado. Cuando se comience a implementar el funcionamiento del OC, el Estado Provincial a través de sus diferentes jurisdicciones (ministerios) y unidades de organización (Secretarías, Direcciones Provinciales y Direcciones Generales) deberá convocar a los Comités de Cuenca además de las Autoridades Locales (Intendentes y Presidentes Comunales, así como a legisladores de las localidades y departamentos involucrados); a los Foros de Organizaciones Empresarias y Productivas con representantes de los sectores agropecuario, industrial, del comercio y servicios; y a los Foros de Organizaciones de la Sociedad Civil con instituciones y organizaciones no gubernamentales relevantes por su actividad o representación social o territorial. Finalmente, la implementación de un OC, deberá responder a los siguientes principios:

1. Igualdad de oportunidades para el ejercicio pleno de derechos de todos los actores.
2. Equilibrio territorial para un desarrollo ambientalmente sustentable basado en la equidad.
3. Hidrosolidaridad, priorizando a las poblaciones más vulnerables y el correcto uso de los recursos naturales.

Previo al desarrollo de la propuesta de un Organismo de Cuenca, es pertinente revisar casos emblemáticos de gestión que pudieran ser de utilidad para el caso de estudio.

6.2. Análisis de experiencias seleccionadas en el extranjero

6.2.1. Introducción

Para sintetizar la búsqueda de antecedentes, entre los numerosos casos que pueden encontrarse (tanto en el extranjero como en nuestro país), se realizó una selección previa basada en el conocimiento personal adquirido anteriormente.

Como se expresó en el Capítulo 2, la gestión del agua es en muchos casos de carácter estratégico, cuando no directamente vital, para algunos países o regiones, lo que implica la necesidad de la participación del estado como un actor importante para resolver los diversos problemas relacionados con los recursos hídricos. De acuerdo con Fried (1994), los países desarrollados consideran que la gestión del agua es de alta prioridad para el desarrollo económico y en ese sentido los temas principales son la estructuración institucional, la organización administrativa, las acciones e instrumentos financieros y por supuesto, el balance adecuado entre los sectores privados y públicos para un uso eficiente de los recursos naturales, humanos y financieros.

A nivel internacional existen numerosos casos de Organizaciones de Cuenca, los cuales no se mencionan por razones de extensión. También existen redes internacionales que agrupan a estos organismos y son fuente de información permanente para los avances que se producen en la materia. A nivel mundial, merece mencionarse la Red Internacional de Organismos de Cuenca (RIOC) (www.rioc.org).

Los cuatro principios que fundamentan la adhesión a la Red Internacional de Organismos de Cuenca (RIOC, 1998), son los siguientes:

- gestión global e integrada de los recursos hídricos que tiene por objetivos la prevención de los riesgos naturales, la satisfacción de las necesidades legítimas y racionales de las diferentes categorías de usuarios, la lucha contra las contaminaciones de toda índole, la protección y la rehabilitación de los ecosistemas y áreas acuáticas;
- organización de esta gestión a la escala coherente de grandes cuencas vertientes y acuíferos;
- participación en la toma de decisión, al lado de las administraciones gubernamentales competentes, de las autoridades territoriales involucradas y de las diferentes categorías de usuarios interesados;

- aplicación de sistemas de financiación apropiados, sobre la base de la aplicación del principio “utilizador-contaminador-pagador”.

Para la RIOC (1998), el conjunto de estas funciones debe estar organizado de forma permanente y deben mobilizarse y garantizarse fondos financieros para las inversiones y el funcionamiento de Organismos de Cuenca en cualquier modalidad. En general, están individualizados solamente los costos directos de los servicios de aguas y, por tanto, son visibles. Los costos indirectos, frecuentemente cubiertos por los Poderes Públicos, se ignoran o subestiman, en cualquier caso y raramente se evalúan completamente y rigurosamente; frecuentemente sucede lo mismo con los gastos de explotación, de mantenimiento y de gestión. Es muy importante tener una visión clara y completa del conjunto de los costos que se deben asumir. La implementación de sistemas de información modernos y eficaces, constituye una condición previa para la movilización de todos los actores y para la búsqueda de consenso.

Es importante considerar que a nivel mundial (RIOC, 1998) “todos los análisis convergen en poner de manifiesto, en casi todas partes, la imposibilidad de los medios presupuestarios públicos tradicionales para hacer frente a las necesidades del sector y, por lo tanto, en la necesidad de establecer sistemas de financiación que se basen en la participación y la solidaridad de los usuarios. A falta de una responsabilidad única, hay que prever medios específicos complementarios que creen un estímulo para limitar los despilfarros y para descontaminar los vertidos”.

En la República Argentina se cuenta con una recopilación exhaustiva efectuada hace algunos años por Pochat (2005) acerca de entidades de gestión del agua a nivel de cuencas. El autor menciona algunos casos representativos, tales como: (i) Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO); (ii) Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE) y (iii) Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC).

Los dos ejemplos desarrollados a continuación, son analizados desde el punto de vista del aporte que puede realizarse para la conformación y el funcionamiento del organismo de cuenca que se propone constituir, y de esta manera tiene directa influencia en el logro del objetivo general de la tesis. Los casos seleccionados son dos: Comité de Cuenca Piracicaba (Brasil) y Consorzio di Bonifica Brenta (Italia).

6.2.2. Caso 1: Comité de las cuencas hidrográficas de los ríos Piracicaba, Capivari y Jundiaí – CHB-PCJ – Brasil

El Comité de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Piracicaba, Capivari y Jundiaí (Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí conocido por las siglas CBH-PCJ) fue creado por medio de la Ley del Estado de San Pablo N° 7.663/91 y comenzó a funcionar el día 18 de noviembre de 1993 como el primer comité de cuenca del Estado de San Pablo. El CBH-PCJ gerencia los recursos hídricos de una de las regiones más críticas del estado en cuanto a la calidad y cantidad del agua.

De acuerdo con Gontijo (2013), para evaluar en el contexto histórico los usos, la gestión y los resultados de las políticas de recursos hídricos desarrolladas en las cuencas hidrográficas de los ríos PCJ, es preciso retornar a la década de 1980 para verificar cómo, a partir de allí se desarrollaron los procesos de gestión del agua. En el inicio de esa década los ríos mencionados presentaban altas concentraciones de contaminación con malos olores y mortandad de peces. La derivación de las aguas al Sistema Cantareira era tomado como el principal responsable de los bajos niveles de agua y responsable de las altas concentraciones de contaminantes. El Sistema Cantareira abastece cerca de 9 millones de personas por medio del trasvase de agua de las cuencas de los ríos Piracicaba, Capivari e Jundiaí para la Región Metropolitana de San Pablo. El crecimiento desordenado de la metrópolis paulista tuvo como consecuencia la necesidad de transposición de agua de otras cuencas, generando conflicto con las cuencas donantes. El Sistema Cantareira había sido implantado en la década de 1970 y podía derivar $31 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua de óptima calidad lo que provocó desde los primeros años una fuerte oposición política en la región de Piracicaba.

Se debe puntualizar que los desagües cloacales domésticos ampliaban su participación en la contaminación debido al crecimiento de las ciudades situadas en la cuenca. El tratamiento de las aguas servidas no acompañaba ese crecimiento urbano. En la década de 1980, los líquidos cloacales eran volcados a los ríos sin tratamiento agravando los efectos en los periodos de bajos caudales (CONSÓRCIO PCJ, s/f). Al final del siglo pasado en las cuencas PCJ se trataba solamente cerca del 10% de los efluentes domiciliarios recolectados.

A partir de la década de 1990, el Estado de San Pablo continuó estructurando su política hídrica por medio de la institución de leyes estatales y por el fomento a la organización de comités de cuenca. Organismos estatales como el Departamento de

Águas e Energia Elétrica - DAEE y el Centro Tecnológico de Saneamento Básico – CETESB, estaban en proceso de descentralización en procura de la mejora de la cantidad y calidad del agua. A estos organismos estatales se agregaron las fuerzas políticas y organizaciones sociales que luchaban por la regulación de los caudales del sistema, para tratar de minimizar los problemas, principalmente los de calidad de agua. Finalmente, a los actores mencionados se sumó el accionar del denominado Consórcio Intermunicipal de las Cuencas Hidrográficas PCJ (conocido como CONSÓRCIO PCJ), que reunía a los intendentes de la región en el intento de recuperación de los ríos. El Comité CBH-PCJ, fuertemente apoyado por el DAEE, se creó en 1993, y juntamente con el Consórcio PCJ, creado en 1989, que en esos tiempos ya reunía grandes usuarios, formulaba acciones para la gestión de las aguas del Sistema Cantareira (Gontijo, 2013).

En 2004, en el proceso de renovación del otorgamiento de derecho de uso del Sistema Cantareira, se firmaron acuerdos definiendo reglas de uso para las partes, metas de reducción de pérdidas de agua y medidas compensatorias para las cuencas donantes, tales como: implantación de sistemas de tratamiento de líquidos cloacales y programas de racionalización del uso del agua y de educación ambiental. Eso ocurrió después de intensos debates entre las partes involucradas: Comités de las cuencas donantes y de las cuencas receptoras; Órganos gestores de recursos hídricos y la Compañía de Saneamiento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que es el principal usuario de las aguas trasvasadas. Teniendo en cuenta esto, en 2009, se crea y pone en funcionamiento la Fundación Agência das Bacias PCJ, con sede en la ciudad de Piracicaba/SP, la cual, a partir de 2012, asume definitivamente las funciones de Secretaría Ejecutiva del CBH-PCJ, contando con profesionales especializados en la gestión de recursos hídricos.

6.2.2.1. Características generales del Comité de Cuenca

Con un área de drenaje de 14.178 km² y una población cercana a los 5.550.000 habitantes, el comité gerencia el territorio conformado por las cuencas de los ríos Atibaia, Atibainha, Cachoeira, Camanducaia, Capivari, Corumbataí, Jaguari, Jundiá y Piracicaba. En el sistema están implantados los siguientes reservorios: la central hidroeléctrica de Barra Bonita (Río Piracicaba), Salto Grande (Río Atibaia), Jacareí e Jaguari (Río Jacareí), Atibainha (Río Atibainha) y Cachoeira (Río Cachoeira). Los cuatro últimos reservorios forman parte del Sistema Produtor Cantareira, que provee de agua potable a un porcentaje de la ciudad de San Pablo: 9.500.000 habitantes.

La región es considerada una de las más importantes de Brasil debido a su desarrollo económico. Entre las principales actividades pueden mencionarse la agroganadera y la producción industrial. Es el tercer polígono industrial de Brasil, con el 7,5% del PIB nacional. Se destacan el polo petroquímico de Paulínia; en Americana, Nova Odessa y Santa Bárbara del Oeste, el parque textil; en Campinas y Hortolândia, el polo de alta tecnología; en Piracicaba, industrias sucroalcoholeras y del sector metal-mecánico; el parque industrial de Jundiaí; en Limeira, producción de enchapados para joyería; en Río Claro, industrias sucroalcoholeras; en Santa Gertrudes y Cordeirópolis, se encuentra ubicado el polo cerámico nacional (fuentes: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhpcj/apresentacao> y <http://www.comitepcj.sp.gov.br>).

Por su parte, el área presenta 1.911 km² de vegetación natural remanente que ocupa, aproximadamente, 13,5% del área de la cuenca. Las categorías de mayor ocurrencia son la Floresta Ombrófila Densa y la Floresta Estacional Semidecidual: las unidades de conservación de protección integral, o de uso indirecto son aquellas donde se produce la conservación de los atributos naturales, efectuándose la preservación de los ecosistemas en estado natural con un mínimo de alteraciones siendo admitido sólo el uso indirecto de sus recursos naturales (www.ambientebrasil.com.br). Unidades de este tipo y de distintas categorías se encuentran en la cuenca, a saber:

- Áreas de Protección Ambiental (APA): APA Cabreúva, APA Jundiaí, APA Corumbataí, Botucatu e Tejuapá, APA Piracicaba e Juqueri-Mirim, APA Represa Bairro da Usina, APA Sistema Cantareira.
- Áreas de Relevante Interés Ecológico (ARIE): ARIE Mata Santa Genebra y ARIE Matão de Cosmópolis.
- Reservas Particulares del Patrimonio Nacional (RPPN): RPPN Sítio Sibiúna, RPPN Ecoworld, RPPN Parque dos Pássaros, RPPN Parque das Nascentes, RPPN Estância Jatobá y RPPN Fazenda Serrinha.
- Estaciones Ecológicas (EE): EE de Ibicatu y de Valinhos.
- Floresta Estadual (FE): FE Edmundo Navarro de Andrade.

Los municipios englobados en la cuenca, pertenecientes al estado de San Pablo alcanzan el número de 60, a saber (ver Figura 6.2): Águas de São Pedro, Americana, Amparo, Analândia, Artur Nogueira, Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista,

Atribuciones Deliberativas:

- Arbitrar en primera instancia administrativa los conflictos por el uso del agua.
- Aprobar el Plan de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrográfica y consecuentemente:
 - metas de racionalización de uso, aumento de la cantidad y mejoría de la calidad;
 - prioridades para el otorgamiento de derechos de uso de recursos hídricos;
 - directrices y criterios generales para la cobranza;
 - condiciones de operación de reservorios, procurando garantizar los usos múltiples.
- Establecer los mecanismos de cobranza por el uso de los recursos hídricos.
- Establecer criterios y promover el prorrateo del costo de las obras de uso múltiple, de interés común o colectivo.

Atribuciones Propositivas:

- Acompañar la ejecución del Plan de Recursos Hídricos de la Cuenca y sugerir las providencias necesarias para el cumplimiento de sus metas.
- Indicar la Agencia de Agua para aprobación del Consejo de Recursos Hídricos competente.
- Proponer los usos no otorgables o de poca expresión al Consejo de Recursos Hídricos competente.
- Escoger la alternativa para el encuadramiento de los cuerpos de agua y encaminarlas a los consejos de recursos hídricos competentes.
- Sugerir los valores a ser cobrados por el uso del agua.
- Proponer a los consejos de recursos hídricos la creación de áreas de restricción de uso, con el objetivo de la protección de los recursos hídricos.
- Proponer a los consejos de recursos hídricos las prioridades para la aplicación de recursos provenientes de la cobranza por el uso de los recursos hídricos del sector eléctrico en la cuenca.

Atribuciones Consultivas

- Promover el debate de las cuestiones relacionadas a los recursos hídricos y articular la actuación de las entidades intervinientes.

Además de las atribuciones ya mencionadas y de acuerdo al Estatuto, entre los objetivos del CBH-PCJ, se encuentran, los siguientes (CBH-PCJ, 2012):

- bregar para que los recursos hídricos sean reconocidos como bien público de valor económico, cuya utilización debe ser cobrada, observando los aspectos de cantidad, calidad y las peculiaridades de la cuenca hidrográfica;
- combatir y prevenir las causas y los efectos adversos de la contaminación, de las inundaciones, de los estiajes, de la erosión del suelo y de la colmatación de los cuerpos de agua;
- incentivar la promoción por parte del Estado, de programas de desarrollo de los Municipios, así como de compensación a los afectados por áreas inundadas por la implantación de reservorios y por restricciones impuestas por leyes de protección de recursos hídricos, por áreas de protección ambiental u otros espacios especialmente protegidos;
- compatibilizar el gerenciamiento de los recursos hídricos con el desarrollo regional y con la protección del medio ambiente;
- promover la utilización racional de los recursos hídricos, superficiales y subterráneos, asegurando el uso prioritario para abastecimiento de las poblaciones;
- promover la maximización de los beneficios económicos y sociales resultantes del aprovechamiento múltiple de los recursos hídricos;
- promover la integración de las acciones de defensa contra eventos hidrológicos críticos, que ofrezcan riesgos a la salud y a la seguridad públicas, así como perjuicios económicos o sociales;
- apoyar el desarrollo del transporte hidroviario y su aprovechamiento económico.

De todo lo mencionado más arriba, debe destacarse que la principal competencia de un comité es la de aprobar el Plan de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrográfica (Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica). El plan funciona como instrumento que orienta los usos de las aguas de la cuenca y se construye a partir de bases técnicas que evalúan:

- condiciones de disponibilidades y de demandas de agua;
- repercusiones de las demás políticas públicas sobre las aguas;
- prospección futura de los usos;
- propuestas para la creación de áreas sujetas a restricciones de uso, teniendo en cuenta la protección de los recursos hídricos (áreas de recargas de acuíferos y de nacientes, por ejemplo) y

- programas y proyectos a ser implementados para la solución física y para acciones de regulación que garanticen el escenario pretendido por el comité para determinada cuenca.

6.2.2.2. Organización

De acuerdo al estatuto, la organización y composición del CBH-PCJ, integrado por el Estado, los municipios y la sociedad civil, está constituido por los siguientes órganos:

I - Plenario;

II – Directorio; y

III - Secretaría Ejecutiva

El comité se compone por los miembros que se mencionan a continuación, con derecho de voz y voto (se asegura la paridad de votos entre los tres segmentos representados por el Estado, los Municipios y por la Sociedad Civil:

- a. 17 (diecisiete) miembros, representantes del Estado, siendo 1 (un) titular y 1 (un) suplente para cada lugar, designados por los titulares de los órganos y entidades representadas y que, prioritariamente, ejerzan sus funciones en unidades regionales localizadas en las cuencas hidrográficas de los ríos Piracicaba, Capivari e Jundiaí, siendo 1 (un) representante de cada órgano o entidad, con un voto cada puesto.
- b. Intendentes de Municipios con territorio total o parcialmente comprendido en las cuencas PCJ, que indicarán sus respectivos suplentes, por un total de 17 (diecisiete) votos;
- c. 9 (nueve) representantes de la Sociedad Civil y sus respectivos suplentes, de cada categoría mencionada: 2 (dos) votos: universidades; 2 (dos) votos: sindicatos o asociaciones técnicas no gubernamentales; 4 (cuatro) votos: entidades ambientalistas, y 1 (un) voto: Consórcios e Associações Intermunicipales de cuencas hidrográficas en el área de actuación del CBH-PCJ.
- d. 8 (ocho) entidades asociativas, de la Sociedad Civil, representantes de los usuarios de las aguas y respectivos suplentes, con la siguiente composición: 2 votos: representantes del sector de saneamiento urbano; 2 votos: representantes

del sector industrial, comercial, de prestación de servicios y de minería; 2 votos: representantes del sector de irrigación y uso agropecuario; 1 voto: representantes del sector de hidroelectricidad y 1 voto: representantes de los sectores hidroviario, turismo, pesca y otros usos no consuntivos.

Además, las universidades, institutos de enseñanza superior y entidades de investigación y desarrollo tecnológico, vinculados a la administración directa o indirectamente, de los poderes ejecutivos estatal o municipal, relacionadas a las cuestiones ambientales o especiales de recursos hídricos, pueden participar de las reuniones plenarias y de la Cámara Técnica de Planejamento (CT-PL) en la condición de invitados con derecho a voz.

6.2.2.3. Cámaras Técnicas

Las Cámaras Técnicas (CTs) tienen por atribución asistir en la toma de decisiones del comité. Deben desarrollar y profundizar las discusiones temáticas necesarias antes de someterlas al plenario. Las CTs son creadas por el plenario y deben tener plenamente definidas sus atribuciones, la composición, la forma de funcionamiento y la relación con las demás instancias del comité. Actúan como consultivas a partir de demandas del plenario y del directorio del comité. Las CTs están constituidas de manera preferencial por los miembros, titulares o suplentes del comité, o excepcionalmente, podrán estar compuestas por representantes formalmente indicados por esos miembros. En general, la composición debe procurar reflejar la proporcionalidad entre los segmentos representados. La coordinación es ejercida por uno de los participantes de la CT, electo en la primera reunión, por mayoría simple de los votos de los integrantes. En esos foros de discusión, es común invitar a técnicos especialistas para que puedan colaborar con los debates y enriquecer los análisis efectuados (ANA; 2011 b).

En 1994 ya se habían creado las Cámaras Técnicas y Grupos de Trabajo en el ámbito del CBH-PCJ. Actualmente son 12 cámaras que contemplan la participación de más de 600 miembros. Las Cámaras Técnicas, establecidas por el Estatuto son las siguientes:

- Câmara Técnica de Águas Subterrâneas (CT-AS)
- Câmara Técnica de Educação Ambiental (CT-EA)

- Câmara Técnica de Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologia (CT-ID)
- Câmara Técnica de Uso e Conservação da Água na Indústria (CT-Indústria)
- Câmara Técnica de Monitoramento Hidrológico (CT-MH)
- Câmara Técnica de Outorgas e Licenças (CT-OL)
- Câmara Técnica de Plano de Bacias (CT-PB)
- Câmara Técnica de Planejamento (CT-PL)
- Câmara Técnica de Conservação e Proteção de Recursos Naturais (CT-RN)
- Câmara Técnica de Uso e Conservação da Água no Meio Rural (CT-Rural)
- Câmara Técnica de Saneamento (CT-SA)
- Câmara Técnica de Saúde Ambiental (CT-SAM)

6.2.2.4. Agência del Agua

De acuerdo con Léo (2010), la Agencia del Agua es una entidad creada en el ámbito del comité para actuar como su Secretaría Ejecutiva. Es responsable por el gerenciamiento de los recursos financieros oriundos de la cobranza por el uso de los recursos hídricos. En el estado de San Pablo, la naturaleza jurídica prevista es la de una Fundación de Derecho Privado. Es deber del comité, además de aprobar el plan, acompañar su implementación para garantizar alcanzar las metas establecidas en este, así como la realización de los programas priorizados en el plan. Por ello, es necesaria la existencia de mecanismos que posibiliten tales actividades. Las agencias de agua y la cobranza por el uso de los recursos hídricos son algunos de los medios con los que deben contar los comités en el acompañamiento de la implementación del plan.

La secretaría ejecutiva del comité es la estructura permanente de soporte técnico-administrativo que tiene como atribución asegurar las condiciones de funcionamiento del colegiado. Para que el comité funcione es necesario garantizar algunas condiciones mínimas como la participación de sus miembros en las reuniones, la divulgación previa de informaciones para la toma de decisiones, la comunicación de las decisiones a la sociedad y el apoyo técnico necesario al entendimiento de los problemas presentados, entre otras necesidades. El formato de la secretaría ejecutiva y sus atribuciones están definidos en el reglamento interno del comité. Los recursos financieros asignados a la misma deben permitir su autonomía administrativa. (En los casos de los comités en que

no exista una agencia de agua definitiva, sus funciones pueden ser delegadas a las organizaciones civiles de recursos hídricos, en algunos estados de Brasil, son órganos gestores que ejercen esa función, en otros son consorcios intermunicipales o universidades).

6.2.2.5. Desafíos: inundaciones y sequías

En 2010, la gestión de las cuencas PCJ enfrentó una crisis ocasionada por inundaciones que afectaron a ciudades situadas aguas abajo del Sistema Cantareira y que comprometieron el mantenimiento de caudales en estas cuencas. Aparecieron fragilidades que debieron ser mitigadas por la actuación conjunta del CBH-PCJ, del DAEE y de la Agencia Nacional del Agua (ANA, 2011 a), revisando las reglas de operación y creando volúmenes de espera para el control de las inundaciones. Vinculado al tema de la “urbanización”, Gontijo (2013) propone además crear “áreas marginales de espera”: responsabilidad de los municipios de que la población “desurbanice” las áreas inundables vinculadas a los cauces.

Por otro lado, para enfrentar la permanente amenaza de las restricciones de suministro de agua que deben implementarse en periodos de sequías, estudian soluciones como la instalación de grandes plantas desalinizadoras a orillas del mar con la condición que la energía que las ponga en funcionamiento sea proveniente de fuentes de energía eólica (de Sant’Anna y Lahóz, 2015).

6.2.2.6. La participación del Consorcio PCJ y la creación de los Comitês PCJ

El Consorcio Intermunicipal de las cuencas de los ríos Piracicaba, Capivari y Jundiáí es una asociación sin fines de lucro y tiene como objeto la concientización de la población sobre la problemática de los recursos hídricos. Fundado en 1989, el Consorcio PCJ se integra con los municipios de los estados de San Pablo y de Minas Gerais, de empresas públicas y privadas. La entidad desarrolla programas de preservación y protección de los ríos de las cuencas PCJ, a saber: Gestión de Recursos Hídricos; Educación y Sensibilización Ambiental; Cooperación Institucional; Integración Regional; Apoyo a los Consorciados; Residuos Sólidos; Protección a los Manantiales; Saneamiento Básico y Racionalización; Sistemas de Monitoreo de las Aguas, Programa Especial de las

Empresas; Planeamiento y Sostenibilidad; Agencia de Agua y Cobranza de los Recursos Hídricos y Asociaciones y Captación de Recursos. Próximo a cumplir las tres décadas desde su fundación, la entidad ha contribuido en la mejora de los índices ambientales de la región, tales como: tratamiento de efluentes cloacales pasó del 3% al 50 %; reducción de las pérdidas de agua pasó del 50 % al 37%. Se plantaron 3,5 millones de árboles de vegetación nativa recuperando bosques en galería (matas ciliares) de los diversos ríos de la cuenca, además de capacitar a más de 4 millones de personas (en forma directa e indirecta) con educación ambiental (Consórcio PCJ, s/f).

Para concluir la descripción del CBH-PCJ, resta mencionar, de acuerdo con Gontijo (2013) que debido a las características de las Cuencas PCJ, con cursos de agua del dominio de la Nación y del estado de Minas Gerais, además de los del estado de San Pablo, fue necesario que –para cumplir con la normativa nacional y la del estado de Minas Gerais- se crearan a su vez otros dos comités, denominados PCJ FEDERAL, en marzo de 2003 y el CBH-PJ (correspondiente al estado de Minas Gerais), en marzo de 2008, los cuales trabajan integrados con el CBH-PCJ, siendo denominados genéricamente como Comitês PCJ. En 2012, el sistema PCJ era considerado como el mejor estructurado de Brasil, con un comité fortalecido, una agencia del agua funcionando, la cobranza por el uso del agua implantada en todos los dominios, un Plan de Cuenca avanzado y un Consorcio Intermunicipal movilizándolo la fuerza política de los intendentes, sumado a que la estructura del estado paulista se encontraba estabilizada en el cumplimiento de sus funciones regulatorias en materia de aguas.

6.2.3. Caso 2: CONSORZIO DE BONIFICA BRENTA – Italia

6.2.3.1. Características generales del Consorcio

El “Consorzio di Bonifica” es un organismo de derecho público y constituye la asociación de todos los propietarios de los inmuebles de la zona de cualquier naturaleza (terrenos, fábricas, rutas, etc.) que se benefician con la actividad de recuperación de tierras (fundamentalmente a través del riego y el drenaje). La jurisdicción del Consorcio se denomina “Comprensorio”. Es homogénea desde el punto de vista hidráulico y se delimita con la intervención de la Región (Vielmo y Niceforo, 1996).

La zona de injerencia del Consorcio Brenta está situada en el norte de Italia, en la región denominada Véneto central, sobre el río Brenta. Sus límites geográficos son: los macizos del Grappa y la meseta de Asiago al norte, al sur el río Bacchiglione, el río Astico-Tesina al oeste y el sistema del torrente Muson dei Sassi al este (ver Figura 6.3). El área que cubre es de 709,33 km², abarca 54 municipios de las tres provincias de Padova, Treviso y Vicenza, con una población estimada de 250.000 habitantes. Está encargado del mantenimiento de 2400 km de canales y de 706 km de conductos (fuente: <http://www.consorziobrenta.it/>).



Figura 6.3. Jurisdicción del Consorcio de Bonifica Brenta

Se define “bonificación” a las tareas de planeamiento, ejecución, financiación y gestión de la red hidrográfica, de las obras de arte y de las instalaciones que permiten el drenaje del agua para garantizar seguridad a los territorios urbanizados y productivos, que, en caso contrario, sufrirían de inundaciones y otros fenómenos adversos vinculados con la hidrología y la geología propias de la zona, y para permitir el cultivo de los terrenos mediante riego. Estas obras asumen por lo tanto dos funciones que necesariamente tienen que mantener un equilibrio muy delicado, por una parte, garantizan la salvaguardia del territorio, y por otra parte permiten el desarrollo racional del mismo con fines agrícolas y productivos (Galvani, 2007).

Las primeras obras que se conocen en Italia pertenecen a la civilización Etrusca de los VI y V siglo a. C., y después a la civilización Romana y a las obras de los monjes de las

grandes abadías. En la zona del Consorcio Brenta, se hallan obras de canalización del año 1375 ordenadas por la Repubblica Serenissima di Venezia y desde fines del siglo XV han tenido un funcionamiento continuo como obras de riego y para el abrevado del ganado. Posteriormente aparecieron obras que aprovechaban los saltos hidráulicos para entregar energía a distintos tipos de trabajos (molinos, p. ej.). Con el correr del tiempo esta red de distribución de agua del río Brenta se fue ramificando en canales secundarios, terciarios e incluso de orden superior. De esta manera alcanzó hasta las parcelas más pequeñas, constituyendo la base de la actual actividad de riego y drenaje.

El Consorcio Brenta (antes denominado “Pedemontano Brenta”) deriva del reagrupamiento de otros tres consorcios precedentes (denominados “Irrigazione Brenta”, “Bacchiglione Brentella” y “Grappa-Cimone”). Fue constituido por Decreto N° 1228 el 07/03/1978 de la Junta Regional Veneta en base a la Ley Regional N°3/1976 y se rige por el Estatuto adoptado por el Consejo del Consorcio y aprobado por la Junta Regional Véneta el 06/12/1979 (Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta, s/f).

Hoy, la función de gestión de los recursos hídricos para el uso preferentemente de regadío, es sólo una de las competencias que la ley atribuye a los consorcios de bonificación. Estos tienen la responsabilidad directa de la gestión de obras públicas patrimonio del Estado, además de la salvaguardia y tutela del ambiente. Los consorcios de bonificación colaboran con otros entes institucionales, con referencia a la reconstitución de ríos y a la vivificación de áreas de humedales y ambientes naturales.

El consorcio está a cargo de la gestión y mantenimiento de las obras de drenaje existentes. La construcción de nuevas obras, por el contrario, compete al Estado y la Región, que podrán hacerle diseñar y ejecutar al Consorcio, con una financiación pública adecuada. Entre las principales acciones del consorcio se pueden mencionar:

- Riego y Drenaje: las fuentes para la irrigación son las extracciones de las aguas del río Brenta y aquellas provenientes de manantiales y perforaciones de extracción de agua subterránea. El área de regadío cubre alrededor de 30.000 hectáreas. En unas 6.000 de ellas, los sistemas de riego por surcos han sido convertidos a modernos sistemas de aspersión, con el fin de conservar el agua, recurso cada vez más valioso. En la mayor parte del territorio, el drenaje es

principalmente por pendiente natural, excepto en algunas áreas situadas al sur donde es necesaria la elevación hidromecánica.

- Mantenimiento: una o más veces al año se deben limpiar los colectores de drenaje, siempre que sea posible en forma mecánica, de lo contrario en forma manual. También hay cientos de obras de arte en el sistema hidráulico (sifones, alcantarillas de derivación y emisarios, llaves, obras de defensa, terraplenes, puentes, puentes-canales, partidores, aliviadores, saltos de fondo, rejillas, tamices, estaciones elevadoras y de bombeo) que están sujetos a mantenimiento y renovación continua. La red total alcanza a 2400 km de canales y 706 km de conductos (ver Figura 6.4 y Figura 6.5).



Figura 6.4. Ejemplo de canales en el Consorcio Brenta. (tomado de <http://www.consorziobrenta.it/>)

parque. Los trabajos de restauración fueron financiados en su mayor parte con los fondos del consorcio y también de la Región del Véneto. Además de restaurar antiguas estructuras, se ha creado una referencia para renovar la memoria de la utilización de las aguas del río que tanto tuvo que ver con el desarrollo socioeconómico del territorio. En conjunto, se ha creado un área didáctica dedicada a la educación ambiental con la finalidad de ilustrar a los estudiantes acerca de la importancia del sistema de irrigación como factor histórico fundamental para la construcción del paisaje (Figura 6.6 y Figura 6.7). El Consorcio tiene en proyecto nuevas centrales hidroeléctricas sobre varios saltos de agua de los propios canales, que están en proceso de obtener autorización por parte de las autoridades regionales (Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta, 2009; Visentín, 2014).



Figura 6.6. Sitio San Lázaro. Central hidroeléctrica de 1° salto (izq.) y Central hidroeléctrica, detalle (der.)



Figura 6.7. Sitio San Lázaro, vista general.

6.2.3.2. Órganos de Gobierno

El consorcio es administrado por un Consejo de 30 (treinta) miembros elegidos cada 5 años de entre los consorciados con una amplia representación de las comunidades locales. Los consejeros a su vez, eligen entre sí al presidente, al vicepresidente, a la Junta y al colegio de Revisores de cuenta. El Consejo se completa con un representante por cada provincia interesada y de un delegado de la Región, el cual además forma parte de la Junta.

Para ejercitar sus funciones operativas el consorcio se organiza con oficinas técnicas y administrativas, con personal fijo en campaña y con personal temporario contratado. Está previsto en la legislación vigente que el consorcio pueda ejecutar obras públicas del Estado o de la Región. Para ello el consorcio puede realizar con su propio personal los relevamientos, cálculos, diseños, redacción de especificaciones técnicas, asistencia y dirección de obras para proyectar y ejecutar las mismas.

La estructura consta de más de 100 empleados, en su mayoría operan en todos los sitios de trabajo, o en movimiento continuo para numerosas operaciones, en los órganos de maniobra y el control de varias plantas. El territorio se subdivide en 14 áreas homogéneas, asignadas cada una a un supervisor, cuyo trabajo es supervisar los canales y todas las instalaciones, mantenimiento de edificios y de la organización de la operación de maniobras hidráulicas, tanto en verano, durante el riego, como durante los

eventos de inundación. El resto del personal está compuesto de equipos especializados para trabajar en canales y obras de arte, con organización similar a una empresa, con el uso de un parque de maquinaria moderna dirigido por empleados, hay 11 excavadoras (con cucharas especiales para el drenaje y la limpieza de zanjas) 7 tractores, desmalezadoras, 8 barcos a motor (para la siega de las algas en presencia de agua), 19 camiones, 39 vehículos, así como diversos equipos de construcción. Para situaciones de emergencia están disponibles algunas bombas móviles y generadores eléctricos. La potencia de las máquinas es de aproximadamente 6.000 kilovatios.

Cuando la presencia de árboles, edificios y vallas a lo largo de los canales impide el tránsito de vehículos, se hace necesaria la intervención manual, más lenta y con mayores gastos. Para estas actividades, se recurre a personal eventual, que llevan a cabo el mantenimiento de canales desde su interior, especialmente durante la temporada seca.

La plantilla se completa con la oficina de proyectos y dirección de obras, que se encarga de las obras extraordinarias; con la oficina de Catastro y SIG, que se ocupa de las actualizaciones de propiedad (más de 100.000 usuarios) y la recaudación de contribuciones, además de la cartografía automatizada, oficina de recursos humanos y contabilidad, encargada de la administración y servicios relativos al empleo y la Secretaría, que es responsable además de asuntos generales (seguros, litigios, resoluciones, archivo y Protocolo, etc..). Por otro lado, se ha establecido un servicio de seguridad y coordinación de emergencia, que atiende durante las 24 horas a través de una línea gratuita a cargo de un técnico, con posibilidades de -en cualquier momento- convocar al personal y medios adecuados necesarios en situaciones de emergencia hídrica.

6.2.3.3. Instrumentos del Consorcio

Los principales instrumentos del consorcio son: el Estatuto; el Reglamento Orgánico; el Reglamento de Irrigación; el Plano de Clasificación; el Plan General de “Bonifica” y Tutela del Territorio Rural y el Plan de Emergencia (Vielmo y Niceforo, 1996).

El Estatuto regula el funcionamiento de los órganos de administración, especificando las competencias del presidente, del vicepresidente, de la Junta y del Consejo y del colegio

de Revisores de Cuenta. Según el Estatuto (Cap.1-Art 2. Finalidad del Consorcio), el consorcio lleva a cabo las funciones y tareas asignadas por la ley estatal y regional con especial referencia a la recuperación de tierras y el riego, la conservación de suelos y del medio ambiente, la protección de la calidad de agua y la gestión de cuerpos de agua, así como contribuir con la protección civil. Se pueden mencionar, entre otras:

- a. la preparación del plan de recuperación y protección de tierras y su actualización, en coordinación con la planificación de la cuenca hidrográfica, la programación regional y los instrumentos de la planificación urbana.
- b. participación en los planes territoriales y urbanísticos, así como planes y programas de protección del medio ambiente contra la contaminación.
- c. la implementación, mantenimiento, operación y supervisión de las obras hidráulicas integrantes de la recuperación de tierras y el sistema de riego y otras obras públicas de interés zonal.
- d. reutilización de las aguas residuales, en colaboración con organismos públicos y privados interesados y ejecución de trabajos para completar el tratamiento de aguas residuales;
- e. la ayuda de los consorciados en la transformación de los sistemas productivos de los productores o empresas y su gestión, así, a petición y en nombre y por cuenta de las partes interesadas, en diseño y ejecución de adecuación del entorno y el logro de ayudas pertinentes;
- f. cualquier acción para la protección del suelo, para proteger el medio ambiente, para la protección y el uso múltiple del agua;
- g. el uso de las aguas de los ríos y de canales en el consorcio para usos que implican el retorno de agua y son compatibles con los usos posteriores, incluyendo la gestión de las instalaciones para la producción de electricidad y el suministro a las empresas productivas;
- h. la participación en las organizaciones, empresas y asociaciones cuya actividad es de interés para una mayor eficiencia y eficacia en la consecución de los fines institucionales del Consorcio.

El Reglamento Orgánico regula el funcionamiento de las oficinas técnicas y administrativas y lo relativo al personal, precisando las competencias y las jerarquías funcionales.

El Reglamento de Irrigación disciplina la actuación del servicio de irrigación (ya sea mediante métodos superficiales o por aspersión); la ejecución, operación y mantenimiento de las obras públicas y privadas y las relaciones entre las obras y las propiedades privadas.

Uno de los instrumentos más importantes es el Plano de Clasificación, el cual sirve para repartir los gastos sostenidos por el Consorcio y debe ser autorizado por la Región. El reparto se efectúa entre los propietarios de los inmuebles situados dentro del perímetro del consorcio en función del beneficio (directo e indirecto) que los propietarios obtienen por las acciones de riego y drenaje. Este plano garantiza una correcta aplicación del poder impositivo (reconocido por ley al Consorcio) a través de la individualización y aplicación de determinados parámetros (longitud de la red, intensidad de las obras, costos de operación, costos de energía y tipos de suelo en las diversas áreas homogéneas) e índices de beneficio (Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta, 1981). Los gastos son relativos al mantenimiento, a la operación y a la custodia de las obras, así como a la eventual cuota por la ejecución de obras no completamente financiadas por el Estado o la Región. Se debe precisar que los gastos debidos a la distribución de agua con fines de riego son sostenidos exclusivamente por los regantes. En tanto que la contribución por el drenaje está a cargo de todos los propietarios de los inmuebles agrícolas o no agrícolas. Los balances del Consorcio tienen carácter exclusivamente de financiamiento, descartando a priori cualquier posibilidad de lucro (la contribución de los consorciados se gasta en su totalidad en el territorio del consorcio para beneficio de los que residen en el territorio mismo). Por otro lado, los Consorcios son controlados por los organismos regionales en la actividad que desarrollan.

El Plan General de Bonifica y Tutela del Territorio Rural (P.G.B.T.T.R.) es un instrumento de planificación de la Región, elaborado por cada consorcio para su área de competencia. Es un verdadero “Plan Regulador” del consorcio y tiene como objeto individualizar las obras y el equipamiento necesarios para la preservación y el desarrollo del territorio rural teniendo presente la situación hidrográfica existente. Particularmente en la Región del Veneto, en este Plan se atiende además a las temáticas ambientales y paisajísticas con relación a la tutela, defensa y valorización del territorio rural.

El P.G.B.T.T.R. se articula en tres niveles: (i) el primero contiene documentación referente al conocimiento de la situación territorial existente (descripción geográfica; marco legal e institucional; perfil socioeconómico del área; datos climáticos; tipos de suelo y usos e instrumentos de planificación urbana comunal); (ii) en el segundo nivel se indican los objetivos a conseguir, con el fin de superar eventuales carencias, mejorar las condiciones no óptimas, estableciendo las actividades y acciones a encarar; (iii) el tercer nivel articula cuestiones propositivas, en las cuales se insertan documentos de programación, propuesta y proyecto y se determina la prioridad de las intervenciones necesarias desde un punto de vista hidráulico y ambiental, sobre la base de los análisis precedentes.

Finalmente el Plan de Emergencia es un complemento del P.G.B.T.T.R.. Evidencia las características generales del territorio y en particular el sistema de drenaje, el riesgo hídrico, la dotación operativa y la organización del sistema de emergencia para afrontar adversidades atmosféricas excepcionales. Se redacta en colaboración con otros entes vinculados con la protección civil.

A modo de conclusión y de acuerdo con Vielmo y Niceforo (1996), el “comprensorio” del Consorcio Brenta es uno de los ámbitos territoriales del Véneto de mayor rédito y productividad: la actividad del consorcio se destaca como uno de los factores relevantes para obtener tales resultados y a la vez, el Consorcio asume un rol significativo en la formación de los planos territoriales, urbanísticos y en los programas de defensa del ambiente y control de la contaminación.

6.2.3.4. Desafíos: la evolución del territorio

La evolución urbana en los últimos años, se desarrolló con gran impulso y a menudo de una manera desordenada, y ha conducido a nuevos problemas en relación con el agua de drenaje. Un área urbana contribuye de hecho 10 o 15 veces más en los caudales de los cursos de agua, en comparación con un área agrícola. La red de drenaje existente ha demostrado ser insuficiente y en muchos casos se vuelven necesarias nuevas obras para garantizar la seguridad hidráulica en un territorio de por sí en riesgo. El Consorcio está comprometido en diseñar soluciones y realizar nuevas intervenciones, en este caso con

fondos públicos, cuando estén disponibles, teniendo en cuenta el propósito de interés colectivo.

6.2.4. Observaciones finales acerca de los ejemplos tratados

¿Qué tienen en común los organismos de cuenca tomados como casos de estudio con la cuenca del A° Cululú? Para responder de manera sintética, puede puntualizarse en primer lugar, que -independientemente de la situación histórica- en las cuencas del Brenta y del PCJ, se comenzó con la intervención humana a través de la implantación de obras que tenían originalmente un objetivo preciso en cuanto a los recursos hídricos: en el caso de Italia, obras para riego iniciadas en el siglo XIV; en el caso de Brasil, obras de trasvase de cuenca para asegurar el suministro de agua a una gran metrópoli en la década de 1970; en el caso de la cuenca del A° Cululú, una red de drenaje para facilitar la explotación agrícola-ganadera de un sector de la provincia, que se inició a fines de la década de 1930.

Tomando dichas instancias como punto de partida, con la evolución de las sociedades y las amenazas de los extremos climáticos, a las que se agregan los efectos de la urbanización en los tres casos, se ha vuelto inevitable la participación de todos los usuarios en procura de una gestión integrada de los recursos hídricos. En este punto, es el que se encuentra la cuenca en estudio, con la posibilidad de sentar las bases para la gestión participativa a través de un organismo de cuenca, mediante la aplicación de la flamante Ley de Aguas de la provincia de Santa Fe (Ley N° 13740).

6.3. Propuestas para la gestión participativa de la cuenca

6.3.1. Creación de un OC

La reciente promulgación de la Ley de Aguas postula la creación de Organizaciones de Cuenca, con “competencia territorial sobre una cuenca o región hídrica” y de Organizaciones de Usuarios “en determinados aspectos de la gestión hídrica (riego, drenaje, agua potable, etc.)” (ver Título V: Organizaciones de Cuenca y de Usuarios, capítulos 1 y 2, respectivamente). Al día de la fecha, la ley no tiene decreto reglamentario. No obstante, está totalmente operativa y numerosos artículos ya son de cumplimiento efectivo y se están aplicando e influyendo para una mejor gestión hídrica en la provincia.

En consonancia con el art. 191 de la Ley de Aguas, la propuesta principal en este aspecto es la de la creación de un OC del A° Cululú, que estará integrado por diversos representantes que actúen en el territorio de su competencia: (i) representantes de las Organizaciones de Usuarios, tales como las que fija la ley (en sus artículos 193, 194 y 195); (ii) representantes de los Municipios y Comunas; (iii) un representante de cada organismo o ente de la administración pública provincial, que ejerza funciones relativas al agua en el área de su competencia y (iv) un representante de consorcios camineros o hidroviales. Además, podrán integrarlos -con carácter consultivo- organismos nacionales, organizaciones de la producción, colegios profesionales y otras organizaciones no gubernamentales.

El acto administrativo de constitución de la Organización de Cuenca, en un todo de acuerdo con el art. 192, establecerá como mínimo: a) Plano del área territorial bajo su jurisdicción; b) Órganos de gobierno; c) Mecanismos de funcionamiento; d) Reglamento de participación de los integrantes y e) Fuentes de financiamiento.

En cuanto a los órganos de gobierno y los mecanismos de funcionamiento y en coincidencia con Sánchez (2005), puede afirmarse que de los esquemas existentes referidos a la institucionalización de las acciones, se puede proponer una estructura como la de la Figura 6.8.



Figura 6.8. Organigrama de funcionamiento de un OC (Sánchez, 2005).

De esta manera, se pueden definir cada uno de los órganos del OC:

- i. “Órgano Directivo: Es el órgano político por excelencia de la organización, conformado por la representatividad institucional, provincial, comunal y usuarios.
- ii. Órgano Ejecutivo: Es quien ejecuta las decisiones del Órgano Directivo ya sea en forma directa o por medio de terceros. Es en esencia la “entidad” de la organización. En algunos casos se la denomina Comité Ejecutivo, Unidad

Ejecutora, Secretaría Ejecutiva, entre otros. Este órgano es el que genera la información, los estudios y planes para la toma de decisiones del Órgano Directivo.

- iii. Órgano Financiero: Es quien busca y define las fuentes de financiamiento de las acciones acordadas, no sólo para la ejecución de los planes de obras, sino también los recursos necesarios para la gestión operativa, administrativa, mantenimiento, reparación, actualización, estudios y proyectos. La conformación de la cartera de financiamiento es muchas veces el elemento más difícil de estructurar y cuya deficiente implementación ha sido motivo de fracaso de las organizaciones.
- iv. Órgano de Control: Es quien controla y fiscaliza las acciones de la organización y sus distintos estamentos, de manera de evitar el mal uso de los recursos económicos, financieros, que desemboquen en el fracaso de las mismas” (Sánchez, 2005).

De acuerdo a lo que fije el Reglamento de participación de los integrantes, se propone una organización del OC conformada por:

- La Asamblea (u Órgano Directivo): Es la autoridad máxima y quien toma las decisiones importantes, tales como la aprobación del plan de obras, presupuesto, tasa contributiva, etc. Estaría constituida por los integrantes representantes titulares y suplentes, tal como son mencionados en el art. 191 de la Ley de Aguas, con intervención en el área de competencia del artículo citado, o dicho en otras palabras, excluyendo a los representantes con carácter consultivo.
- Comité Ejecutivo: Es el encargado de ejecutar las decisiones que por mayoría toma la Asamblea. Está integrado por: Presidente, Vicepresidente, Tesorero, Secretario y Representante Técnico de la Secretaría de Recursos Hídricos.
- Órganos Financiero y de Control: Quedarán a definición en el Reglamento.

6.3.1.1. Aspectos financieros

De acuerdo con RIOC (1998), los sistemas de cánones territoriales organizados a escala de cuenca han demostrado una gran eficacia. En los ejemplos existentes en funcionamiento, por lo general son las organizaciones de cuenca las que fijan o proponen las tasas de estos cánones, cuya colecta y reasignación se realizan a través de las “Agencias Financieras de Cuenca”. Estas agencias desempeñan el papel de cajas de

financiación mutua, alimentadas por contribuciones, negociadas e incluso consentidas por los usuarios interesados y cuyos aportes se calculan para cubrir los gastos necesarios previstos por los Programas de Intervención plurianuales. El trabajo es de alta responsabilidad y pedagógico, y se apoya en los sistemas consensuales como son los organismos de cuenca. Es importante mostrar desde el comienzo de estas nuevas medidas, el principio de la universalidad de la recaudación del canon sobre todos los usos y todo tipo de contaminación, cualquiera que sea su importancia, incluso mínima, para no favorecer la idea de que existe un derecho a contaminar y para no instituir una desigualdad de tratamiento.

Con respecto a las fases preliminares de potenciación de estos sistemas, la RIOC (1998) expresa que “pueden ser largas por razones de eficacia administrativa o de aceptabilidad general, se puede prever una “no percepción” de los cánones por debajo de ciertos límites, si no hay riesgo de consecuencias graves para la preservación de los recursos”. Se recomienda siempre no teorizar sobre las modalidades que se deben establecer, sino buscar adaptaciones concretas a las condiciones locales en función de las posibilidades de organización de sistemas administrativos cada vez más complejos y eficaces y considerando el indispensable factor tiempo (RIOC, 1998).

Por lo tanto, la financiación de las acciones del OC, como se ha mencionado más arriba, es fundamental para que el mismo alcance su independencia económica del estado provincial y pueda llevar adelante el Plan Director de la Cuenca. Esto será el resultado de numerosas reuniones que deberán desarrollarse una vez puesto en marcha el OC. Sólo a modo de propuesta, basada en los antecedentes internacionales y locales presentados más arriba, se sugiere:

- Una vez redefinidos los Organismos de Usuarios de drenaje (semejantes a los actuales Comités de Cuenca) cobrar un porcentaje de su recaudación.
- Cobrar un canon por cualquier tipo de volcado que se haga a la red de drenaje.
- Las Comunas y Municipalidades deberán hacer un aporte por el beneficio que reciben y a su vez tendrán la mayor atención en el mantenimiento.
- Cobro de un canon por extracción de agua subterránea.
- Otros.

A mediano plazo, las obras de regulación se deberían ejecutar con recursos provinciales, nacionales o internacionales, no obstante, para la operación, el mantenimiento y la

vigilancia, se deberá cobrar un canon a los propietarios y/o usuarios de la red de drenaje de la cuenca completa por el beneficio de la regulación. Los recursos presupuestarios del OC estarían compuestos por el monto recaudado en concepto de tasa retributiva; recursos que eventualmente provengan del Poder Ejecutivo Provincial, Nacional o entidades crediticias y donaciones, legados o cesiones que reciba de instituciones públicas o privadas y de particulares. El carácter de contribuyente, surge de la procura del objetivo de regulación de caudales en la cuenca, lo que trae aparejado beneficios directos e indirectos, además de la conservación y mejora del medio ambiente.

Con los conceptos enunciados se pretende que exista un sistema de financiamiento autónomo para la conservación y potencial ampliación de la infraestructura. Estos pagos no son impuestos ya que se gastan en la propia cuenca. Un sistema de financiamiento para el mantenimiento de las obras como el que se plantea debe cumplir con diversos requisitos mínimos para que sea eficaz y perdurable. Los elementos básicos y fundamentales del sistema hacen exigible que el pago por la conservación tenga las siguientes características:

- que sea establecido de acuerdo a lo que fija la Ley de Aguas, de modo que se pueda exigir su cobro obligatoriamente a todos aquellos que se benefician con las acciones del OC.
- que los pagos de los usuarios sean catalogados como retribución por una prestación recibida, a fin de garantizar que los recursos sólo financiarán el sistema.
- que los recursos generados sean suficientes, de tal suerte que, a cambio del pago, el usuario disponga, en términos globales, de infraestructura en buen estado. En los primeros años habrá que insistir en que el proceso lleva tiempo.
- que se admita la participación de los usuarios en el control de los recursos, a fin de cautelar mejor la eficiencia y eficacia del sistema.

La idea es que estos fondos sean utilizados para trabajos de mantenimientos ordinarios, de ejecución sistemática y de relativamente baja exigencia de recursos tales como mantenimiento de canales, reposición de alambrados, relleno de cárcavas, protecciones vegetales, reposición de arbolado, limpieza de alcantarillas, etc., y medidas de concientización y de protección ambiental puesto que el Estado se reserva la obligación de tomar a su cargo las tareas para incluir mejoras o reparaciones mayores de las obras.

6.3.1.2. *Fines del OC*

El OC será creado por Decreto Provincial, tal como lo fija la Ley de Aguas. Una vez elegidos los representantes y con el apoyo del Organismo de Aplicación (MIT-SRH) se deberá aplicar el reglamento de participación. La elaboración del estatuto y los reglamentos de funcionamiento deberán ser analizados por el propio organismo de cuenca y prever mecanismos de actualización.

En cuanto a sus fines específicos, y de acuerdo al art. 190 de la Ley de Aguas, el OC es un espacio de coordinación interinstitucional y colaborará con la Autoridad de Aplicación en la planificación y gestión coordinada y participativa de los recursos hídricos dentro de los límites de su ámbito territorial, para lo cual: (i) Llevarán la coordinación intersectorial e interdistrital del manejo, uso, aprovechamiento, control y conservación del recurso hídrico; (ii) Propondrán programas y proyectos a ejecutar conforme al Plan Hídrico Provincial y, (iii) Coordinarán las instancias de participación ciudadana en la elaboración del Plan Hídrico Provincial.

Además, basados en la experiencia de los actuales Comités de Cuenca, este nuevo OC, podrá también lograr los siguientes objetivos:

- Detectar las necesidades y coordinar con la Autoridad de Aplicación las medidas estructurales y no estructurales vinculadas al control y mantenimiento de las obras en su área de competencia, en el marco del Plan Director de la Cuenca.
- Coadyuvar al mantenimiento y control integral en su territorio de competencia, por medio de la construcción, conservación y mejoramiento de las obras existentes y colaborar en la ejecución de obras nuevas.
- Desde un principio el OC debe encarar acciones tendientes a la regulación de caudales y a la preservación ambiental a través de una fuerte política de capacitación y concientización empezando por las dirigencias de los organismos públicos y privados involucrados.
- En períodos de emergencia por inundaciones, colaborar con las acciones que emanen del Plan de Emergencia dispuesto por el Poder Ejecutivo, en la cuenca del A° Cululú. Entre los periodos de emergencia hídrica, mantener acciones tendientes a la vigilancia de fenómenos hidrometeorológicos, colaborando con los organismos provinciales en todo lo relacionado con la materia de su competencia.

6.3.1.3. *Desafíos y ventajas*

Desafíos

Una característica especial del área objetivo de la tesis es que se inserta en un área de llanura. La divisoria de aguas puede tener en algunos sectores problemas de indefinición y además ser alterada por obras de infraestructura. Por otro lado, en periodos muy húmedos cercanos al estado de saturación aparecen redes de drenaje temporarias (en el caso de la cuenca del A° Cululú, se activan las denominadas “cañadas subparalelas”). Estas divisorias de aguas superficiales difusas e indeterminadas pueden presentarse en largos trechos y sufren permanentes modificaciones por acción del hombre, fundamentalmente a través de las obras de canalización y viales. La gestión del agua se dificulta debido a la complejidad y dinamismo del funcionamiento hídrico. Asimismo, las subcuencas que se integraban en condiciones de períodos muy excepcionales, debido a sus canales de salida, ahora se comunican en forma más frecuente. El OC por crearse deberá analizar estas situaciones y se deberá impedir cualquier acción de modificación de los límites de cuenca por acción antrópica.

Por otra parte, se deberá tener presente el carácter interprovincial de la cuenca (parte de su franja Oeste donde se produce importante recarga, está situada en la provincia de Córdoba). Actualmente ya existen esfuerzos por organizar un Comité de Cuenca interprovincial con participación de órganos provinciales y nacionales en materia de aguas, donde se analicen — diversos aspectos que atañen a la gestión del agua.

La gran cantidad de actores, que potencialmente superan el centenar, aparece como un inconveniente de la gestión participativa, además de las cuantiosas jurisdicciones que estarán involucradas (Distrital, Interdistrital, Departamental, Interdepartamental, Regional, Interregional, Provincial, Nacional). Tal vez el mayor desafío sea lograr una importante y creciente movilización social en apoyo al tratamiento de los problemas y conflictos relacionados con los recursos hídricos y el ambiente en general, teniendo el bien común como premisa básica y no intereses sectoriales. Esa movilización se logrará a través de la información y capacitación de los actores para la conformación y consolidación de un OC como el que se propone, basando las acciones en la estimulación de la hidrosolidaridad, y de esta manera, transformar una desventaja en una ventaja.

Ventajas

Las ventajas que se pueden citar son:

- Constituirá un ámbito institucional donde los beneficiarios identificarán los problemas hídricos y promoverán la búsqueda de soluciones, generando la discusión y concientización de vecinos y dirigentes zonales sobre el mantenimiento de las obras de drenaje y regulación, además de las medidas no estructurales, con el fin de mitigar los problemas causados por los extremos hídricos y el uso del suelo de la cuenca. Se espera alta participación en el registro de datos hidrológicos por parte de los actores.
- Garantizará la continuidad en el tiempo de esta acción comunitaria.
- Permitirá el desarrollo y capacitación de los beneficiarios y dirigentes zonales.
- Asegurará la descentralización ejecutiva de la acción de gobierno y la centralización de las decisiones.
- Incrementará el nivel de conciencia pública del área sobre el manejo de los recursos naturales.
- Mejorará la eficiencia en la construcción y el mantenimiento de obras menores. El Estado Provincial tiene serias dificultades en la concreción de estas obras a lo largo de toda la Provincia, aunque presenta ventajas en la gestión y concreción de obras que suponen inversiones mayores.
- Servirá de ejemplo para la creación de organismos similares en otras cuencas de la región.
- El carácter de beneficiario, contribuyente y administrador de sus propios fondos de quienes hacen los aportes, asegurará una participación democrática, sumamente activa en la discusión y toma de decisiones.
- En caso de emergencia hídrica, permitirá a la Provincia actuar de manera más eficaz y organizada.

6.3.2. Medidas de regulación de caudales

6.3.2.1. Implementación de los reservorios (aspectos ambientales)

Tal como se mostró en el Capítulo 5, desde el punto de vista técnico, la propuesta vinculada con la implementación de reservorios es de una importancia relevante en cuanto a los porcentajes de reducción del caudal pico de crecidas. En el presente apartado se destacan los beneficios ambientales adicionales de tales medidas

estructurales y la relación de esas obras con artículos de la Ley de Aguas, que propician y fomentan la creación de reservorios de regulación de caudales.

De acuerdo con Lallana y Elizalde (2013) este tipo de reservorios “si bien no pueden considerarse estrictamente humedales por no ser ecosistemas naturales, tienen un valor ambiental considerable, ya que por sus características de manejo constituyen hábitats esenciales para la conservación de determinados grupos de especies (aves, anfibios, plantas acuáticas), algunos de ellos en vías de extinción”. Los autores mencionados, señalan que la construcción de este tipo de reservorios crea nuevos hábitats a la flora y fauna regional, a favor de la biodiversidad.

Los reservorios estarán conectados a través de canales (o caminos) a la red de drenaje natural. Esas estructuras en su conjunto trabajan como una red de corredores biológicos, que facilitan el intercambio continuo de organismos, razón por la cual las ventajas ambientales de los reguladores se potencian. Los corredores biológicos son elementos lineales diseñados con múltiples objetivos compatibles con el concepto de uso sustentable del territorio. Proporcionan conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitats (naturales o modificados) para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y de los procesos ecológicos y evolutivos. El rol de las redes de drenaje en estos casos es fundamental (Ahern, 1995). Además, es una medida estratégica de conservación en la gestión de las cuencas hidrográficas (Boraschi, 2009). El establecimiento de una red de “corredores para la vida silvestre” entre zonas naturales existentes y propuestas debe ser promovido, ya sea por los estamentos del estado provincial –tal cual se plantea en el Plan Estratégico Provincial (PEP, 2008)-, como por las ONGs interesadas en la conservación ambiental.

Desde el punto de vista legal, la Ley de Aguas en su art. 103 hace referencia a reservas y áreas protegidas de esta forma:

“La Autoridad de Aplicación podrá proponer a la Autoridad correspondiente áreas de protección de cuencas, acuíferos, cuerpos y cursos de agua”.

Por su parte, a través del art. 136, Servidumbre de Ocupación Hídrica, establece:

“Se considera ocupación hídrica a la específica utilidad que consiste en el ingreso y permanencia de una masa de agua en un inmueble, como consecuencia del desborde de algún curso o cuerpo de agua en forma esperada, ya sea por la frecuencia, como por la duración del evento y como efecto directo de la intervención de la Autoridad de Aplicación. Comprende la afectación de los predios en el espacio que se establezca y sus

mejoras, debiendo conformar su estatuto los derechos y obligaciones de los titulares dominante y sirviente que sean necesarios para construir, conservar, mantener, reparar, vigilar y disponer reservorios u ocupar áreas naturales de almacenamiento de excedentes hídricos a los fines de la prevención o mitigación de los efectos de las crecidas de los cursos de agua. La Junta de Valuaciones de la Provincia de Santa Fe, tendrá en cuenta para fijar la indemnización, además de las pautas generales del Art. 134, la probable frecuencia y duración de la ocupación hídrica”.

La aplicación consensuada de estos dos artículos, sin duda será beneficiosa para todas las partes involucradas. Debe destacarse que los reservorios planificados se ejecutarán en zonas donde los suelos no tienen aptitud agronómica.

Finalmente, como beneficios adicionales para la población, pueden enumerarse varias funciones de estas áreas de detención de crecidas: son fuente de agua para uso doméstico, provisión de agua para el ganado, irrigación a pequeña escala, producción de ladrillos, entre otras (www.smallreservoirs.com) y de acuerdo con Odum y Sarmiento (1998): “los humedales deben ser protegidos debido a que constituyen amortiguadores entre los desarrollos humanos y los recursos hídricos, cada vez más críticos. Además de participar en el mantenimiento de la calidad del agua, los humedales tienen otras funciones valiosas más específicas: criaderos de peces, moluscos y crustáceos, hábitat de aves acuáticas y otros animales interesantes y benéficos, fuentes de preciada madera y otros productos, receptores de aguas de inundación, asimiladores de desechos y, a escala global, sumideros de carbono.”

6.3.2.2. Generación de conciencia acerca de las ventajas de la ejecución distribuida de pequeñas obras de regulación en todo el territorio de la cuenca

Las gestiones para la implementación de los nueve reservorios propuestos deben ser aprovechadas por el OC para concientizar acerca de las ventajas de la ejecución distribuida de pequeñas obras de regulación en todo el territorio de la cuenca, entre éstas, el aprovechamiento del recurso hídrico por parte de los usuarios de estos reguladores de pequeño volumen.

En la fundamentación de esta propuesta está la importancia de “promover”, a través del accionar del organismo a crearse, un movimiento entre los actores de la cuenca que pugne por la creación de numerosos sitios de regulación de caudales de pequeño volumen, que tendrán incidencia en la atenuación de caudales que generan los predios particulares. En la cuenca existen numerosos bajos localizados, de extensión limitada, que podrían utilizarse para tal fin. El beneficio directo es para el productor que lo

construya y maneje, pero al generarse un beneficio indirecto para el resto de la cuenca, este esfuerzo debería verse reflejado en un pago reducido de la tasa de contribución.

Técnicamente existe una amplia variedad del tipo de obras posibles a ser construidas para la retención y conservación del agua (López Cadenas de Llano, 1988), de entre las cuales - por razones de brevedad- se listan sólo algunos ejemplos ya implementados en la provincia de Santa Fe.

- *Sistemas reservorio-bombeo*: Una medida que es aplicada con mayor frecuencia en las denominadas “emergencias hídricas” es el bombeo de agua para depresión de niveles desde un reservorio, ya sean superficiales o subterráneos, derivándola a través de la red de drenaje existente, hacia los cursos receptores situados aguas abajo (ver Figura 6.9). Como ejemplos provinciales pueden mencionarse: (i) las obras de regulación de niveles en las Lagunas Melincué y La Picasa; (ii) los trabajos de emergencia realizados en la ciudad de Sunchales (Ferreira y Kurgansky, 2000); (iii) los trabajos realizados en la ciudad de Rafaela (Ferreira y Rodríguez, 2005) sobre la depresión de niveles freáticos en el área urbana. Esta medida no debería ser aplicada solamente en épocas de emergencia, sino como una medida estructural en forma planificada, en función de estudios que identifiquen su viabilidad técnico-económica. Por ejemplo a nivel de prefactibilidad, Morassi (2014) justifica la realización de estas obras para mejorar la producción agropecuaria en la zona de María Susana, provincia de Santa Fe.

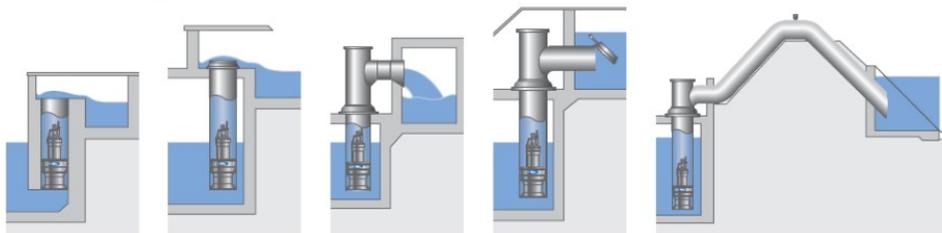


Figura 6.9. Ejemplo de medida de regulación: Sistemas reservorio-estación de bombeo (Foto: Catálogo Flygt)

- *Restauración de umbrales naturales de desborde*: Una medida práctica a implementar y con gran contenido de gestión ambiental es la de recuperar los umbrales naturales de los bajos o cañadas paralelas que hubieran sido alterados por la acción de la canalización de décadas pasadas (ya sea con obras fijas, del

tipo azud, -ver Figura 6.10-, como el de la laguna El Dentado, Dpto. San Cristóbal- o móviles). Otro ejemplo de estas retenciones se encuentra en la cuenca del A° Arizmendi, de aporte directo al río Salado: las obras realizadas permiten drenar los bajos relativos y a su vez establecer un manejo de retención realizado a partir de obras como compuertas, vertederos, etc., construidas por los propietarios de los establecimientos agroganaderos (ver Figura 6.11). En algunos casos inclusive, se puede implementar un protocolo de manejo manual de dispositivos de control de caudales (principalmente compuertas de guillotina). Como ejemplo de esto último puede citarse a Fornari (2018).



Figura 6.10. Ejemplo de medida de regulación: Vertedero de la Laguna del Dentado (Foto: INA-MIyT, 2018)



Figura 6.11. Ejemplo de medida de regulación: obras de retención, cuenca Arizmendi (fuente: INA-MIyT, 2018)

6.4.Comentarios finales

Queda claro que desde los inicios de la creación del OC, el involucramiento y la participación de los actuales Comités de Cuenca y su posterior redefinición como organismos de usuarios del drenaje rural, son clave para alcanzar los objetivos buscados. A la par del desarrollo de las gestiones, se deberán poner en valor las acciones que éstos organismos mixtos han desempeñado en las últimas tres décadas.

Se ha analizado la importancia de la implantación de reservorios como medidas de regulación. La propuesta además, pone de relieve -a través del accionar del organismo a crearse- generar un movimiento entre los actores de la cuenca que pugne por la creación de numerosos sitios de regulación de caudales de pequeño volumen, que tendrán incidencia en la atenuación de los picos que generan los predios particulares con beneficio directo para el productor e indirecto para el resto de la cuenca.

La implementación de las propuestas presentadas, desde la creación de un OC aún inexistente pero regulado por la Ley de Aguas, de reciente promulgación y el lento pero firme desarrollo del Plan Director de la Región Hídrica III, hasta la implementación de acciones estructurales y no estructurales complementarias presentadas más arriba, aseguran los pasos hacia una efectiva Gestión Ambiental participativa de la cuenca del A° Cululú.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los impactos de los eventos climáticos extremos (inundaciones y sequías) son claramente observables en la Provincia de Santa Fe. Para mitigar sus efectos negativos y tender hacia la adaptación de la sociedad a esta realidad, esto es, tornarse una sociedad resiliente a los mismos, es imperiosa la planificación hídrica. Dicha tarea ha comenzado de manera incipiente con el desarrollo del Plan Director de los Recursos Hídricos (PDRH).

Las intervenciones humanas impactantes en la cuenca del A° Cululú ya superan ampliamente los 100 años de historia, dado que el foco de la colonización se instaló en sus cercanías. A poco de iniciado este proceso, la cuenca comenzó a ser intervenida con obras de infraestructura y la explotación de sus recursos naturales.

Varias décadas después, aún falta aplicar un verdadero manejo de la cuenca hidrográfica como unidad lógica de planificación. Es de relevancia reconocer que el desarrollo basado sobre sus recursos naturales, depende de la interacción de las actividades que tienen lugar en ese territorio. Para que la gestión de la cuenca tenga éxito se deben contemplar múltiples dimensiones: económico-productiva, institucional, cultural, infraestructura, acceso a servicios por parte de la población, entre otras, a fin de comprender la realidad de manera integral y encarar las acciones para abordarlas teniendo en cuenta su complejidad. Esto implica esfuerzos conjuntos de los distintos actores presentes o con incidencia en la región, no sólo desde el aporte de recursos, sino también desde la cooperación, la coordinación y el trabajo en un mismo sentido para concretar lo planificado. Los actores de la cuenca han sido mapeados y superan ampliamente el centenar. Queda a futuro definir la incorporación de mecanismos de participación a través de la aplicación de la flamante Ley de Aguas N° 13740, que irrumpe positivamente fomentando el desarrollo de estas estrategias novedosas para la administración de los recursos hídricos.

7.1. Conclusiones

La tesis fue desarrollada en un marco teórico basado en cuatro conceptos operativos: (i) la gestión de cuencas hidrográficas y la conservación del agua; (ii) la información hídrica para la toma de decisiones; (iii) la gestión participativa y (iv) la hidrosolidaridad. En el desarrollo del trabajo se demostró que continúa siendo evidente que a nivel provincial existe la necesidad de diseñar un plan de gestión tendiente a regular el

escurrimiento superficial, con medidas estructurales y no estructurales, con la participación de todos los estamentos responsables de la gestión. Para ello, se presentó la articulación de los conceptos operativos mencionados, mediante la cual, a partir de una situación actual (con obras que en su gran mayoría son canales de drenaje, con un manejo prácticamente inexistente y escasa participación de actores) es posible a futuro alcanzar la situación objetivo, en la cual estén incorporadas obras de regulación de distinta escala, gestionadas y monitoreadas en forma participativa y solidaria.

El análisis de series mensuales de precipitación y escurrimiento permitió encontrar indicios de cambios en el régimen de escurrimiento en las últimas cinco décadas. Si bien en los promedios anuales las diferencias son leves, se perciben notables alteraciones a nivel intra-anual. A nivel semestral, por ejemplo, en el periodo actual (décadas de 2000-2010) se genera en la cuenca un 50% más de escurrimiento para el semestre cálido, y se observa una merma del 37,7% en el semestre frío en comparación con las décadas de 1970-1980. De acuerdo a los cálculos realizados, estos cambios se atribuyen a: (i) mayores montos de precipitación del semestre cálido, particularmente en el trimestre febrero, marzo y abril con incrementos en el promedio mensual de 10, 24,7 y 28,3 %, respectivamente; (ii) la mayor intensidad de las tormentas generadoras de escurrimiento, por ejemplo, para un día de duración, la precipitación aumentó entre 7,5 y 10 % para recurrencias de entre 2 y 100 años; (iii) la modificación del uso de suelo urbano y rural (en este último caso y en términos del parámetro CN, un aumento del 12 %), y (iv) el desarrollo de la red drenaje, con más del doble de longitud entre el periodo actual y el anterior (1970-1980), conduciendo de manera más acelerada el escurrimiento superficial hacia la salida de la cuenca. Los dos primeros ítems estarían asociados a la variabilidad climática.

En la modelación matemática a paso diario se planteó una estrategia simple y de indudable practicidad para demostrar cuantitativamente cuáles fueron los incrementos en el escurrimiento superficial debido a los cambios mencionados explicando, al menos de manera parcial, lo registrado por el monitoreo en la Sección Cululú RP 50-S, cerca de la salida de la cuenca. El modelo calibrado y verificado para los periodos “1980” y “2010” se utilizó para simular crecidas generadas por tormentas de diseño de un día de duración y recurrencias de 10, 50 y 100 años. Los valores de precipitación se incrementan entre 9,22 y 10,05 % entre el período actual y el período anterior. Esas precipitaciones de diseño aplicadas en el modelo calibrado para cada periodo, producen como resultado notables incrementos en el caudal pico para la situación actual versus la

anterior en función de la recurrencia adoptada (del 3 al 21 %, en la Sección Cululú en RP 50-S y del 19 al 53 %, en la Sección Cavour, que es el cierre de la cuenca). En cuanto a los volúmenes de escurrimiento, puede estimarse de manera no taxativa, un incremento de entre 43 y 58 % para la Sección Cululú y de entre 32 y 59 % para la Sección Cavour. Se destaca que para la Sección Cululú, la crecida de 50 años de recurrencia en el periodo actual es similar a la de 100 años del periodo “1980”, posee un caudal pico algo menor, pero un volumen mayor. Sin embargo, en la Sección Cavour, la crecida de 50 años del periodo actual es directamente superior a la crecida de 100 años de recurrencia del periodo anterior.

Con referencia a los Comités de Cuenca actuales, la información recabada permite deducir que los mismos ocupan apenas las 2/3 partes del área de la cuenca del A° Cululú, y que no están representados todos los distritos de la cuenca (65 vs. 40). En su área de actuación, los Comités de Cuenca son eficientes en la construcción de obras menores, siendo imposible para el Estado concretar las mismas a lo largo de todo el territorio. Es evidente que, por razones de historia y experiencia en cuanto a la representación y participación de los propietarios, estos organismos deben mantenerse, modificados y adaptados según la Ley de Aguas, en el marco de un nuevo organismo de cuenca.

La propuesta de un plan de manejo tendiente a aumentar los beneficios y reducir los perjuicios provocados por la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones, se compone de dos acciones compatibles y complementarias: la conformación de un Organismo de gestión hídrica para la cuenca del A° Cululú, tal como lo prevé la Ley de Aguas (como principal medida no estructural) y la ejecución de una serie de 9 (nueve) obras de regulación de caudales (reservorios de detención de crecidas) situados en lugares estratégicos. A través de la modelación matemática de la cuenca en el estado actual, se ha demostrado que dichas obras son capaces de controlar de manera total eventos aislados generados por tormentas de hasta 100 años de recurrencia y 5 (cinco) días de duración, con una reducción cercana a un tercio del caudal pico (31 %). De esta manera, se logran tanto el objetivo general de la tesis, como los objetivos particulares.

7.2. Recomendaciones

Las obras de regulación propuestas fueron evaluadas técnicamente a nivel de prefactibilidad. Se estima groseramente que la inversión necesaria para ejecutar las

mismas es del mismo orden que la inversión efectuada hasta el momento para la construcción de la totalidad de la red de canales de drenaje incluyendo sus obras complementarias. Por lo tanto, una primera recomendación para futuros trabajos, es realizar las evaluaciones económicas correspondientes, lo que permitirá avanzar en la implementación de la propuesta. La ejecución de estas estructuras de regulación deberá necesariamente ser acompañada de importantes medidas de gestión y manejo apoyadas en la reciente Ley de Aguas. Además, se recomienda replicar la curva de evolución temporal de la longitud de la red de drenaje en otras cuencas provinciales, como herramienta de planificación y gestión para explicar la búsqueda de cambio de paradigma. La red de drenaje ejecutada hasta el presente en la cuenca del A° Cululú constituye una infraestructura hidráulica de relevante importancia. La misma es una consecuencia de la sumatoria de decisiones y recursos económicos invertidos desde hace varias décadas por diferentes gobiernos provinciales y diversos actores. Se ha demostrado -mediante el análisis de antecedentes de indiscutible origen- que su crecimiento ha sido prácticamente exponencial, en cuanto a su longitud total. Vista en su conjunto, constituye una “megaobra” que debe ser puesta en valor, ponderando la influencia de la misma en el desarrollo de la región. Esto debe conducir a acciones desde el Estado provincial tendientes a que tanto los productores como el resto de usuarios de la cuenca y la población en general, reconozcan sus derechos y deberes en relación con la preservación de la red de drenaje de manera sustentable para lograr mayores beneficios para el conjunto.

La obtención de los datos hidrológicos para el desarrollo del trabajo fue una tarea ardua, en general, debido a la dispersión de las fuentes. No existe un banco de datos actualizado, organizado e integrado donde encontrar todo lo que se ha registrado a lo largo de décadas. Evidentemente esta es una tarea pendiente e ineludible para los organismos de gestión hídrica provincial. De acuerdo a los datos de precipitación utilizados en la calibración y verificación, se ha observado que a mayor densidad mejoran los resultados de los ajustes. Se recomienda fuertemente que se continúe con la toma de datos hidrológicos e hidráulicos de todo tipo por parte de los organismos del Estado y a la vez fomentar la incorporación de la participación ciudadana en estas tareas, a manera de colaboración abierta. Si bien la del A° Cululú es una de las cuencas más monitoreadas de la provincia, ha quedado demostrado a lo largo del trabajo la importancia de disponer y mantener estos registros en el tiempo.

Contar con un modelo calibrado para el estado actual de la cuenca, permitiría en el futuro trabajar con los resultados generados en distintos puntos de la cuenca para diversas recurrencias de precipitación. El análisis de estos hidrogramas podría ser útil para construir fórmulas aplicables a cálculos expeditivos de caudal pico y volumen para la planificación de nuevas obras.

En cuanto a las obras proyectadas, las mismas regulan crecidas de 100 años de recurrencia. Pero en todas ellas queda una importante revancha, lo que implica la posibilidad de regular crecidas mayores. Se recomienda ensayar cómo sería el comportamiento de las obras efectuando simulaciones bajo condiciones de cambio climático. De igual, manera, el modelo calibrado podría ser utilizado para ensayar los escenarios de cambio climático que se juzguen apropiados para la región y evaluar el desempeño de las obras proyectadas para esas condiciones, y eventualmente recomendar modificaciones de diseño, ubicación, etc.

Con referencia a la Ley N° 9830/86, por la cual se rigen los Comités de Cuenca, si bien han transcurrido varias décadas desde su promulgación, hasta la fecha las acciones para remozarla y actualizarla no han sido fructíferas. No obstante, el Poder Ejecutivo cuenta con una herramienta más efectiva y de rápida y directa aplicación, cual es la modificación del Decreto Reglamentario de la ley. De los numerosos motivos que hacen oportuna su modificación merecen destacarse cuatro: (i) la continuidad que han alcanzado las actividades dedicadas a establecer el Plan Director de los Recursos Hídricos en varias de las Regiones Hídricas que integran la Provincia; (ii) los avances logrados con el uso y popularización experimentados en las TIC's (p.ej.: página web obligatoria para los CC) hacen urgente e impostergable la aplicación de las mismas y propenderán a un mejoramiento del uso de todos los recursos disponibles; (iii) adaptar la organización y el accionar de los CC, dentro del marco que establece la actual Ley de Aguas y (iv) la posibilidad concreta de que los CC contribuyan con la toma de datos hidrometeorológicos, hidrológicos e hidráulicos en sus territorios.

8. ANEXOS

Listado de Anexos

- Anexo 4-1

Evolución histórica de la red de drenaje artificial cuenca del arroyo Cululú.

- Anexo 5-1

Mapa de actores

- Anexo 5-2

Régimen de caudales mensuales del arroyo Cululú en estación Cululú RP 50-s

- Anexo 5-3

Características de los reservorios.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águila G.** (2006) De los cordones industriales a la integración del eje Mercosur (1940-2005). 1ª. Ed. Rosario: Prohistoria Ediciones; Rosario: Diario La Capital, 2006. Tomo XI en NUEVA HISTORIA DE SANTA FE, Darío G. Barrera (director).
- Ahern J.** (1995) Greenways as a planning strategy. Journal of Landscape and Urban Planning. Vol. 33. pp. 131-155. Elsevier.
- Aldana Valverde A. L.** (2016). “Agua, clima y servicios hidrológicos nacionales”. En: COMUNICACIONES. Jornadas PROHIMET-AR-2016 "EL CLIMA Y LOS SISTEMAS DE MEDIDA Y OBSERVACIÓN HIDROMETEOROLÓGICOS". Mendoza. 8 al 12 de agosto de 2016. pp. 2-11. <http://www.prohimet.org/jornadas-argentina-2016>. Último acceso: 03/09/2016.
- Ambrosino S., Barbeito O., Bertoni J., Daniele A., Maza J., Paoli C. & Serra J.** (2004) Inundaciones urbanas en Argentina. 254 pp. (Bertoni J. org.). Ed. Universitas. Córdoba. Argentina.
- Ameghino, F. (1884)** Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Asuntos Agrarios, Provincia de Buenos Aires.
- ANA (Agencia Nacional de Aguas – Brasil)** (2011 a) “O comitê de bacia hidrográfica o que é e o que faz?”. Cadernos de capacitação em recursos hídricos. (vol.1). Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. Brasília – DF. 64 p. ISBN 978-85-89629-76-8.
- ANA (Agencia Nacional de Aguas – Brasil)** (2011 b) “O comitê de bacia hidrográfica: prática e procedimento”. Cadernos de capacitação em recursos hídricos. (vol.2). Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. Brasília – DF. 81 p. ISBN 978-85-89629-77-5.

- Banco Mundial** (2000) “Argentina. Gestión de los recursos hídricos: elementos de política para su desarrollo sustentable en el siglo XXI”; Informe N° 20729-AR, Oficina Regional de América Latina y el Caribe.
- Beekman G. B. (s/f)** Gerenciamiento Integrado dos Recursos Hídricos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA. Agencia de Cooperación Técnica en Brasil. Brasilia, D.F. . pp. 64.
- Bender H. & H. Vierhuff** (1980) “Net Ground water Recharge in the Argentine Pampa Plain”. Natural Resources and Development. Vol. 11. págs. 7-23. Institute for Scientific Co-operation. Hannover. Germany.
- Bertoni J., Brarda J., Ganancias F., Rudolf C. y Verga L.** (2008) “Actualización de Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de la ciudad de Rafaela. Provincia de Santa Fe. Argentina”. Secretaría de Obras Públicas. Municipalidad de Rafaela. Inédito.
- Boidi M.** (2009) “El puente de hierro sobre el Arroyo Las Calaveras en Lehmann, Santa Fe”. En: Boletín Informativo del Colegio de Profesionales de la Ingeniería Civil (CPIC) Distrito 1, N° 69, pp. 26-34. Julio 2009. Santa Fe.
- Bonaudo M.** (2006) La organización productiva y política del territorio provincial (1853-1912). Marta Bonaudo comp. 1ª. Ed. Prohistoria Ediciones; Rosario. (Tomo IV de la NUEVA HISTORIA DE SANTA FE, Director Darío G. Barrera).
- Boraschi S. F.** (2009) Corredores biológicos: una estrategia de conservación en el manejo de cuencas hidrográficas. En: KURÚ. Revista Forestal (Costa Rica). 6 (17).
- Borrell, F. L.** (1980) “Iniciativa y colaboración particular”. Revista del Funcionario Municipal N° 213, Madrid.
- Borrini G.** (1993) Cómo reforzar la participación popular en el Programa de Acción Forestal en los Trópicos. PAFT – FAO, Bangkok. 103 p.

CAAAS (1973) Recursos de aguas subterráneas y su aprovechamiento en la llanura pampeana y en el valle del Conlara, Provincias de Córdoba, Santa Fe y San Luis, República Argentina. Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas. Servicio Geológico de la República Federal de Alemania. Tomos 1-6.

Canziani O. F. (2003) “Extreme precipitation events and floods in the Pampas flatlands, in the Province of Buenos Aires.” IPCC-WMO Working Group II 3 UNEP Climate Change Impacts, Adaptation And Vulnerability - IPCC Workshop On The Detection And Attribution Of The Effects Of Climate Change - New York. June, 2003. Disponible en Internet: <http://ensembles-eu.metoffice.com/IPCC/DA.pdf>

Castelán E. (2001) “Participación social y Consejo de Cuenca: la experiencia en México”. En: Resúmenes. Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 8-12 de octubre de 2001. Rosario. Argentina.

CBH-PCJ (2012) Comité de Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Estatuto del Consorcio. Piracicaba. Brasil. Disponible en Internet: (<https://www.comitespcj.org.br/images/Download/DelibComitesPCJ155-12.pdf>)

Celis A. y Herze H. (2003) Conocer es poder anticipar. Inundaciones en Santa Fe 2003. PNUD. Argentina.

CEPAL (2003) Las inundaciones de 2003 en Santa Fe, Argentina. Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental. Disponible en Internet: <http://www.eclac.cl/argentina/noticias/noticias/0/12620/presentacion.pdf>

Cisneros J., de Prada J., Degioanni A., Cantero Gutiérrez A., Gil H., Reynero M., Shah F. y Bravo Ureta B. (2005) Potencial de escurrimiento de cuencas agrícolas en relación a los cambios de uso entre 1986 y 1999. XX Cong. Nacional del Agua. Mendoza. Argentina.

Consórcio PCJ (Consórcio Intermunicipal de las Cuencas de los Ríos Piracicaba, Capivarí y Jundiá) (s/f) “Consórcio PCJ – Programas y Resultados”. Folleto. Americana (SP). Brasil.

Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta (s/f) “Attività di Gestione del Consiglio de Amministrazione 1984-1988”. Cittadella (PV) - Italia. Informe interno. 58 pp.

Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta (1981) “Piano di classifica provvisorio. Per il Riparto degli oneri consortili con le modifiche disposte dal Consiglio del 21.05.1981”. Mayo 1981. Cittadella (PV) - Italia. Informe interno. 99 p.

Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta (2009) “Le antiche porte dell’Aqua. Il Sito Di San Lazzaro”. Grafica Guary Ed.. Bassano dal Grappa. Italia.

Cotler, H. y Caire G. (2009) “Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México”. Instituto Nacional de Ecología. México. 380 p.

Crespi M. (1996) Meteorologia Innovativa in Multi-uso ed Aspetti della Tariffazione dei Servizi. En: Documentos del Curso Desarrollo y Gestión de Cuencas Hidrográficas. Cuadernos IILA. Serie Cooperación N°6. Roma.

Dardis, N. V. (2013) Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina: 10 años de participación y consenso. 1ra. Ed. Buenos Aires: COHIFE, 2013.

de Sant’Anna, M. y Lahóz, F. (2015) “Implantación 25 años del Consorcio PCJ – Brasil. Los nuevos desafíos para la gestión de cuencas”. Exposición. En: Encuentro Internacional de Cooperación para una Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos. Gobierno de la Provincia de Santa Fe (MASPYMA y MGYRE). Junio 25 de 2015. Rosario. Argentina.

De Vries, M. (2001) Discurso Inicial – Secretaría de Estado del Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Manejo de Aguas del Reino de los Países Bajos. En: “Gestión Sostenible del Agua y Control de Inundaciones en Área Pampeana Central y Bajos Submeridionales. Seminario Bilateral Argentino-Holandés. Abril

24-25, 2001". Eds: Beaufort G., Laboranti C., Gomez M. y Rebel M. Publicado por: Directorate General of the Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Utrecht. The Netherlands.

DGSTE (2017) Planilla de Estaciones de Medición en la Provincia de Santa Fe. Informe Interno. Dirección General de Servicios Técnicos Específicos. Secretaría de Recursos Hídricos. Provincia de Santa Fe. (Sin Publicar). Santa Fe.

Ding Y., Hayes, M. & Widhalm, M. (2010) "Measuring Economic Impacts of Drought: A Review and Discussion". Papers in Natural Resources. Paper 196. disponible en <http://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/196>

Dourojeanni A. (1996) Definición y clasificación de las actividades de Gestión de Cuencas. En: Documentos del Curso Desarrollo y Gestión de Cuencas Hidrográficas. Cuadernos IILA. Serie Cooperación N°6. Roma.

Dourojeanni A. y Jouravlev A. (1999) Gestión de Cuencas y Ríos vinculados con Centros Urbanos. LC/R 1948. CEPAL, Santiago de Chile. (disponible en Internet: <http://www.eclac.org/publicaciones/RecursosNaturales/8/CR1948/LCR1948-E.pdf> – último acceso 01 setiembre 2005).

DPOH (Dirección Provincial de Obras Hidráulicas) (2003, a) Informe de las Áreas Técnicas de la DPOH de Santa Fe sobre la crecida del río Salado del año 2003. Informe para Fiscalía de Estado. Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda. Santa Fe. Argentina.

DPOH (Dirección Provincial de Obras Hidráulicas) (2003, b) Localidades con problemas de anegamiento discriminadas por cuenca o sistema. Sistema de Alerta en Áreas Urbanas-Informe N° 2. Informe Interno. Departamento de Medidas No Estructurales. Julio 2003. Santa Fe. Argentina.

DPOH-FICH (Dirección Provincial de Obras Hidráulicas – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas) (1995) Préstamo de Protección contra las Inundaciones.

Canalización y Obras de Arte Cuenca del A° Cululú. Anexo Específico. Santa Fe. Argentina.

Falkenmark M. & Folke C. (2002) The ethics of socio-ecohydrological catchment management: towards hydrosolidarity, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 6, 1–10, <https://doi.org/10.5194/hess-6-1-2002>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (1991) Informe Final y Memorias. Ier. Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas (Concepción. 22-26 Octubre 1990). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago. Chile. 200 pp.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (1996) Memorias II Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Mérida. Venezuela. 6-11 de Noviembre de 1994. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago. Chile.

Ferreira, C. G. (1990) “Hidrología de proyecto para obras de saneamiento rural en la provincia de Santa Fe (República Argentina)”. Ier. Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Concepción, Chile. 22-26 de Octubre de 1990.

Ferreira C. G. (1994). “Financiamiento de Comités de Cuenca en la Provincia de Santa Fe. Argentina”. Tesina. VI Curso Internacional de Desarrollo y Gestión de Cuencas Hidrográficas. Italia. S/p.

Ferreira C. G. (1995). “Financiamiento de Comités de Cuenca en la Provincia de Santa Fe. Propuesta de evaluación de Tasas Diferenciales en base al beneficio recibido”. Ier. Cong. Nac. de Gestión de Agua y Saneamiento. La Falda. Prov. de Córdoba.

Ferreira C. G. (1997). Conflicto entre las Provincias de Santiago del Estero y Santa Fe (Argentina) por las aguas del río Salado (Año 1996). Ier. Encuentro de las Aguas. Fortaleza. Brasil.

- Ferreira C. G.** (1998) "Evolución de los Comités de Cuenca de la Provincia de Santa Fe. Rep. Argentina" en: Anais do Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos (SinGReH). Gramado. Río Grande do Sul. BRASIL. (Se encuentra disponible en Internet en: <http://www.ufrgs.br/iph/simposio/2.htm> - último acceso: 01 de setiembre de 2005).
- Ferreira C. G.** (2001) "Análisis de defensas urbanas en zonas de llanura" en: Soluções para a Drenagem Urbana em Países da América Latina (pp. 35-48). Villanueva A.; Goldenfum J. y da Silveira A. (orgs.). Artículos seleccionados del I Seminário de Drenagem Urbana do Mercosul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre. Brasil. Julio de 2001.
- Ferreira C. G.** (2004) "Cálculo de la Precipitación Media Mensual en la Cuenca del Arroyo Cululú para el periodo 1978/1986 utilizando Arc-View 3.1". Trabajo Final. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Santa Fe. Inédito.
- Ferreira, C. G.** (2006) "Sistema de alerta hidrológico de la Cuenca del Río Salado, Provincia de Santa Fe, Argentina: avances en su implementación" - Climate Variability and Change—Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference. Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. 308, 2006.
- Ferreira C. G.** (2008) "Índice de priorización de localidades con riesgo hídrico en la provincia de Santa Fe. Aplicación a las cuencas de los arroyos Cululú, San Antonio y Las Conchas". Trabajo para obtener el grado de Especialista en Gestión Ambiental. Santa Fe. UNL. Junio 2008. s/p.
- Ferreira C. G.** (2009) "Índice de priorización de localidades con riesgo hídrico. Aplicación a tres cuencas de la provincia de Santa Fe, Argentina". Anales del XXII Congreso Nacional del Agua. Trelew. Argentina.
- Ferreira C. G.** (2012) "Experiencias del monitoreo en los dos últimos eventos de sequía ocurridos en la provincia de Santa Fe - Argentina." Jornadas PROHIMET "Retos de la hidrometeorología ante las posibles variaciones de clima y los

eventos extremos”. Rep. Dominicana - 1 al 4 de mayo de 2012 - <http://www.prohimet.org>

Ferreira C. G. (2013) “Resultados del monitoreo de eventos de sequía ocurridos en la provincia de Santa Fe (Argentina) mediante una red telemétrica.” XXIV° Congreso Nacional del Agua 2013. San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013.

Ferreira C. G. (2015) Sistemas de alerta hidrológico en cuencas de llanura: caso de la cuenca del río Salado (Prov. de Santa Fe, Argentina). Anales del XXV Congreso Nacional del Agua. Paraná, 14 al 18 de Junio de 2015.

Ferreira C.G. y Kurgansky P.D. (2000) Emergencia hídrica en Sunchales (prov. de Santa Fe) en el mes de abril de 1999. Anales del XVIII Congreso Nacional del Agua, Termas de Rio Hondo, Junio 2000.

Ferreira C. G. y Rodríguez L. B. (2005a) “Red de Observación de Recursos Subterráneos con Participación Local”. Jornadas de Divulgación de los Programas y Proyectos de Extensión de la U.N.L. Santa Fe. Septiembre 2005.

Ferreira C. G. y Rodríguez L. (2005b) Uso de Niveles Freáticos para la Caracterización de la Recarga/Descarga. Anales del XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza, Mayo 2005.

Ferreira C. G. y Rodríguez L. (2013) Modelación de la red de drenaje del arroyo Cululú (prov. de Santa Fe - Argentina) como base para la gestión hídrica. Anales del XXIV Congreso Nacional del Agua, San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013.

Ferreira C. G., Farías G. y Rodríguez L. (2002). La importancia del monitoreo continuo de niveles freáticos. XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. Agosto 13-16, 2002.

Ferreira C. G., Farías G. y Rodríguez L. (2003). Comportamiento de niveles freáticos en zonas rurales: cuenca inferior del río Salado, Santa Fe. Anales del 3er.

Congreso Argentino de Hidrogeología. Rosario. Argentina. UNR ed. Septiembre 2003. Tomo I, págs. 255-262.

Ferreira C.G., Giampieri R., Farías G., Rodríguez L. y Vionnet C. (2004) “Breve análisis del desarrollo urbano y de las obras de defensa de la ciudad de Santa Fe asociadas a las crecidas de sus ríos, con énfasis en la crecida del Salado de 2003”. II FORO PÚBLICO LOCAL: TRANSFORMAR SANTA FE. 14 de mayo de 2004. FADU-UNL. Santa Fe.

Ferreira C. G. y Marizza M. S. (2016) “Análisis de la evolución temporal de niveles freáticos a partir de información derivada de teledetección y de un balance hídrico simplificado”. En: COMUNICACIONES. Jornadas PROHIMET-AR-2016 "EL CLIMA Y LOS SISTEMAS DE MEDIDA Y OBSERVACIÓN HIDROMETEOROLÓGICOS". Mendoza. 8 al 12 de agosto de 2016. pp. 110-126. <http://www.prohimet.org/jornadas-argentina-2016>. Último acceso: 03/09/2016.

Ferreira G., Marizza M., Rodríguez L. (2012) “Utilización de información procedente de teledetección para el análisis de sistemas subterráneos”. AQUALAC, 4 (1) 9:18. Disponible en: <http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/Art2-Ferreira-9-18.pdf>. (Última visita 22/06/2016).

Ferreira C.G.; Rodríguez L.; Vionnet C.; Choque J.; Marano P. (2009) “Avances en el conocimiento del acuífero libre de la Cuenca del Arroyo Cululú (provincia de Santa Fe, Argentina)”. VI Congreso Argentino de Hidrogeología. Santa Rosa. Octubre 2009.

FICH (Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas) (2006) Implementación de un Sistema de Alerta Hidrológico para la Cuenca del río Salado. Conv. FICH-MAH. Inf. parc. Enero 2006.

Fornari, E. (2018) “Criterios de definición de las condiciones para la operación del sistema de compuertas”, en: EXPEDIENTE M.I.T. N° 01803-001567-4.

Dirección Prov. de Gestión Territorial. Concepto: Eleva Protocolo de Operación de Compuertas en el Canal Bajo de Ricci. Santa Fe. s/p.

Fried J.J. (1994) Discurso de Apertura. Seminario “Gestión de los Recursos Hídricos”. Organizado por la Dirección Nacional de Recursos Hídricos y el Instituto Europeo del Agua. Buenos Aires. Febrero 1994.

Galvani A. (2007) La legislación de la Bonificación en Italia y los Consorcios de Bonificación de Aguas . M+A. Revista Electrónica de Medioambiente. Núm. 4, año 2008. Disponible en: <http://revistas.ucm.es/> . Universidad Complutense de Madrid.

Gandolfo N. A. (1998). Medidas implementadas a los fines de normalizar el funcionamiento de los comités de cuencas de la provincia de Santa Fe. Anales del Congreso Nacional del Agua, Santa Fe, agosto 1998.

Gandolfo N. (2010) Estudio de la Dinámica Hídrica Superficial en Cuencas de Llanura. 1er. Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Setiembre 2010, Azul, Argentina.

García P., Menéndez A., López Laxagüe J., Berty F., Podestá G. y Jobaggy E. (2014) Caracterización de efectos espaciales en la napa debido a distintos usos del suelo en cuencas de llanura. II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Santa Fe. Argentina.

García-Marín, A., Roldán-Cañas, J., Estévez, J., Moreno-Pérez, F., Serrat-Capdevila, A., González, J., Francés, F., Olivera, F., Castro-Orgaz, O. y Giráldez, J.V. (2014) La Hidrología y su papel en Ingeniería del Agua. Revista Ingeniería del Agua. Vol. 18. No. 1. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España.

Ghida Daza C. (2002) Evolución de la producción de soja en Argentina. Area Economía, Estadística e Informática. EEA INTA Marcos Juárez. Agosto de 2002.

- Giacosa, R.** (2000) Análisis de la Relación Precipitación-Niveles Freáticos en Puntos de la Provincia de Santa Fe. Convenio CFI-Prov. de Santa Fe. Santa Fe. Argentina.
- Giampieri R., Rodríguez L. y Vionnet C.** (2003) Análisis de las condiciones de borde de un modelo de agua subterránea a escala regional en el centro-oeste de Santa Fe. Anales del 3er. Congreso Argentino de Hidrogeología. Rosario. Argentina. UNR ed. Septiembre 2003.
- Gimbatti A., Bosch E. y Méndez, F.** (2002) Síntesis micro y macroeconómica de la región central. en Análisis, N° 13. Fac. de Ciencias Empresariales. Universidad Austral. Rosario. Julio.
- Giorgi R., Tosolini R., Sapino V., León C. y Chiavassa A.** (2007) Uso de la tierra rural en la cuenca del Río Salado. Situación actual (2005-2007) e histórica (1970-1980). INTA, EEA Rafaela. Informe Final para el PICTO 2004. FICH-UNL.
- Gollán, J. (h) y Lachaga D. A.** (1939). Aguas de la Provincia de Santa Fe. Primera contribución a su conocimiento. Publicación Técnica N° 12. Dpto. de Química Agrícola y Edafología, Instituto de Investigación y Fomento Agrícola Ganadero, Ministerio de Instrucción Pública y Fomento, Santa Fe, Argentina.
- Gontijo Jr., W. C.** (2013) “Uma avaliação da política brasileira de recursos hídricos baseada em dez casos de estudo.” Tesis doctoral – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasil.
- Grassino, S.B.** (1986) “Análisis integral de la Provincia de Santa Fe”. Cámara de Senadores de la Prov. de Santa Fe. Santa Fe. 383 pp.
- Hartmann T., Di Bella C. and Oricchio, P.** (2003) Assessment of the possible drought impact on farm production in the SE of the province of Buenos Aires, Argentina. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 57 (4), 281–288.

- Havrylenko S. B., Bodoque J. M., Zucarelli G. V. and Mercuri P. A.** (2013) Agricultural drought analysis in the Arrecifes basin [Pampa region, Argentina] using the SWAT model. In International SWAT Conference & Workshops. Toulouse, France.
- Hey R.D.** (ed.) (1986) River response to Hydraulic Structures. Editorial Group on IHP-II Project A.3.8. UNESCO. Paris.
- INA** (2002) Influencia de los Acueductos proyectados en la Provincia de Santa Fe sobre los niveles freáticos. Informe Final. Convenio INA-Centro Regional Litoral / Dirección Provincial de Obras Hidráulicas-Prov. de Santa Fe. Argentina.
- INA-FICH-INTA** (Instituto Nacional del Agua - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) (2007) Influencia de los cambios físicos y climáticos en el régimen de escurrimiento del Río Salado – Tramo Inferior. Convenio INA-FICH-INTA-MAH. Informe de avance. Santa Fe.
- INA-MIyT** (2018) “Plan Director de los Recursos Hídricos de la Provincia De Santa Fe - Etapa II - Módulo 1 - Informe Final. Región III, Cuenca Inferior del Río Salado y Menores”. Convenio Ministerio de Infraestructura y Transporte-Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Litoral. Agosto 2018.
- INA-MASPyMA** (2012) “Plan Director de los Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe: Diagnóstico de la Región III - Cuenca del Río Salado”. Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Litoral (INA-CRL) y Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente. (MASPyMA).
- INCYTH** (1986). Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Salado. Vol. 1 y 2. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Litoral. Santa Fe. Argentina.
- INCOCIV** (2012) Implementación de la Ley Provincial N° 11.730. Zonificación y Regulación del Uso del Suelo en Áreas Inundables en Sistemas Hídricos de la Provincia de Santa Fe – Mapa Hidrográfico e Informe de Avance – Informe Etapa 2”. Contratado por la Sub-Unidad Ejecutora Provincial – Proyecto de Prevención

de Inundaciones y Drenaje Urbano – Subsecretaría de Proyectos de Inversión y Financiamiento Externo (SPIFE). Santa Fe. Argentina. Inédito.

INTA-AGENCIA RAFAELA (2008) <http://www.inta.gov.ar/> Últ. acceso 28/06/2008.

Instituto Interamericano para el Desarrollo Social - INDES (1998) “Participación ciudadana en las actividades del Banco Interamericano de Desarrollo: Documento para discusión”. Disponible en <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15978/B.I.D.>

Iriondo, M., 1987. Geomorfología y Cuaternario de la provincia de Santa Fe (Argentina). D’Orbignyana 4:1-54. Corrientes.

Kovacs, G. (1978) “Hydrology and water control on large plains” Hydrological Sciences Bulletin. 23, 3, 9/1978. Blacwell Scientific Publications.

Jouravlev, A. (2003) Los municipios y la gestión de los recursos hídricos, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LC/L.2003-P, Serie Recursos Naturales e Infraestructura No. 66, Santiago de Chile (disponible en Internet: https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/TEXT/LETTERS/list_cd/lcl2003s.pdf).

Lallana, V. y Elizalde, J. (2013) “Calidad del agua y vegetación acuática en represas y tributarios de la cuenca del A° Feliciano (Entre Ríos), Argentina”. En: “Bases conceptuales y metodológicas para el ordenamiento territorial en el medio rural”. Giayetto O.; Plevich J.; Lallana V. y Pilatti M. compiladores. 1° ed. Ed. Libroclíc Ediciones. Rio Cuarto, Córdoba, Argentina.

Larson, K. (s/f) “Hydrosolidarity”. En: <http://www.waterencyclopedia.com/Hy-La/Hydrosolidarity.html#ixzz5gaRLYE34> (último acceso 28/02/2019).

Lenzi L.M., Eletti F. y Milesi N. (1998). Selección e implementación de dos estaciones hidrométricas en cursos con planicies de inundación. Anales del Congreso Nacional del Agua, Santa Fe, agosto 1998. tomo I, pp. 277-279.

Léo E. C. (2010). “O Sistema de Gestão dos Recursos Hídricos – Exemplo nas Bacias PCJ”. Exposición. Piracicaba, Brasil. 16 de agosto de 2010.

López Cadenas de Llano, F. (1988) Corrección de torrentes y estabilización de cauces. Colección FAO Fomento de tierras y aguas. F.A.O. Roma.

MAH (2006) “Términos de Referencia. Plan Director de los Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe. Anexo I.” Registro MFN: 4602. Ministerio de Asuntos Hídricos. Santa Fe.

Maksimovic C. & Todorovic Z. (1998). “Non-structural vs. Structural Alternatives in Sustainable Urban Runoff Management”. Proc. Intl. Workshop on Non Structural Flood Control in Urban Areas. IRTCUD. April 22-24 1998. San Pablo. Brasil.

Menzel L. & Kundzewicz Z. (2003) “Non-structural flood protection – A challenge”. Intern. Conf. Towards natural flood reduction strategies. Varsovia. Polonia. 6-13 Septiembre 2003.

Ministry of Transport, Public Works and Water Management (2000) “A Different Approach to Water, Water Management Policy in the 21st Century”. Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Directorate General for Public Works and Water Management. www.minvenw.nl. The Hague. The Netherlands. December 2000.

Morassi, G. (2014) Reducción del trasvase de la cuenca alta del A° Las Bandurrias al A° Las Turbias para eventos de baja recurrencia. Proyecto Final (Ingeniería en Recursos Hídricos). Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe.

Mosconi, F., L. Priano, N. Hein, G. Moscatelli, J. Salazar, T. Gutierrez y L. Cáceres (1981) Mapa de Suelos de la Provincia de Santa Fe. T.I. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Santa Fe e INTA. Santa Fe. Argentina.

Odum E. y Sarmiento F. (1998) Ecología. El puente entre ciencia y sociedad. Ed. McGraw-Hill Interamericana Editores. México.

Oré L. (2016) “Hidrosolidarity: La hidrosolidaridad enfoque estratégico con beneficios mutuos para la gestión de recursos hídricos” en <https://es.slideshare.net/oreluis/hidrosolidarity-la-hidrosolidaridad-enfoque-estrategico-con-beneficios-mutuos-para-la-gestin-de-recursos-hdricos> (último acceso 28/02/2019).

OMM (Organización Meteorológica Mundial) (2012) Glosario Hidrológico Internacional. Publicación No. 385. Ginebra, Suiza.

Panigatti J.L., Cruzate G. y Vivas H. (2007) “Suelos y Ambientes de Santa Fe”. Disponible en www.suelos.org.ar .

Pedraza R., Collins J. y Ferreira G. (2007) Modelos de regresión múltiple para el pronóstico de crecidas en tiempo real del río Salado en la Ruta Prov. N° 70 (prov. de Santa Fe). Anales del XXI Congreso Nacional del Agua. Tucumán. Argentina.

PEP (2008) “Plan Estratégico Provincial. Santa Fe”. Gobierno de la Provincia de Santa Fe. 297 pp.
http://www.santafe.gov.ar/index.php/web/guia/gobernador?cat=plan_estrategico.

Pittau M. y Hammerly R. (2001) Actividades relacionadas con la toma de datos hidrométricos en la Cuenca del Arroyo Cululú. En: Resúmenes. Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 8-12 de Octubre de 2001. Rosario. Argentina.

Pochat, V. (2005) Entidades de gestión del agua a nivel de cuencas: experiencia de Argentina, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LC/L.2375-P, Serie Recursos Naturales e Infraestructura No. 96, Santiago de Chile (disponible en Internet: <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LC12375S.PDF>).

- ProCIFE** (Programa de Cooperación Interinstitucional Frente a la Emergencia) (2003)
“La cuenca del río salado santafesina. Hacia una propuesta de ordenamiento y gestión de cuenca.” Diciembre 2003. Santa Fe. Argentina.
- Ravelo, A. C.** (2000) Caracterización agroclimática de las sequías extremas en la Región Pampeana Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, 20, (2), 187-192.
- Reyna J., Ferreira G., Robul A. y Marega J.** (2015) “Modelo Hidrológico de Previsión de Crecidas en base a Precipitaciones Diarias. Tramo Inferior del Río Salado. Pvcia. Santa Fe”. Anales del XXV CONAGUA. Paraná. Entre Ríos.
- Reyna J. L., Morresi, M. V., D’Elia, M. P. & Paris, M. C.** (2003) Análisis de la información hidrométrica del centro de la provincia de Santa Fe. Cuadernos del CURIHAM 9 (1), 43–53. Rosario. Argentina.
- Ribeiro, C. A. G.** (2007) Hidrossolidariedade como Principio de Gestao Participativa de Risco de Inundacoes por Associacao de Bacia. Dissertacao, USP, Sao Carlos. Brasil.
- RIOC** - Red internacional de ORGANISMOS de CUENCA (RIOC) (1998) “LA FINANCIACIÓN DE LOS ORGANISMOS DE CUENCA” en CARTA DE LA RED, N° 6 - 1er TRIMESTRE de 1998. N° ISSN: 1265-4027. Disponible en: www.oieau.fr/riob/. Última visita 10/09/2018.
- Ricart S., A. Ribas y D. Pavón** (2013) “La participación en la gestión del regadío como mecanismo para afrontar el conflicto territorial: Algunos ejemplos de ámbito sur-europeo [Participation in irrigation management as a mechanism to address the territorial conflict: Some examples of South–European level]”. Journal Méditerranée v. 120, pp.73–86.
- Sanchez J. L.** (2005) “La gestión integral a partir de la Cuenca Hidrográfica”. Revista Electrónica de la REDLACH, N°1, año 2. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas. FAO.

Sarochar R.H., Ciappesoni H.H., y Ruiz N.E. (2005) “Precipitaciones convectivas y estratiformes en la pampa húmeda: una aproximación a su separación y aspectos climatológicos de ambas.” *Meteorológica*, Vol. 30, N° 1 y 2, 7-89. Ene –Dic. 2005. ISSN 0325-187X.

Sato, M. (2003) *Educação ambiental*. Sao Carlos. Brasil.

Scian, B. and Donnari, M. (1997) Retrospective analysis of the Palmer Drought Severity index in the semi-arid pampas region, Argentina. *International Journal of Climatology*, 17(3),13–322.

Secretaría de Aguas (2011) *Política Hídrica Santafesina. Marco de referencia-Versión 2* (Diciembre 2011). T. 4. Secretaría de Aguas, Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente. Santa Fe, s/p.

Setti A. A.; Lima, J.E.; Chaves, A.G.M. y Pereira, I. C. (orgs.) (2001) *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 3ra. ed. Brasília: Agencia Nacional de Energía Eléctrica; Agencia Nacional de Aguas. 326 p.

Schmidt, M. (2018) “Evaluación y cuadro de situación de los Comités de Cuenca de la Provincia” Exposición en las RTI (Reuniones Técnicas Internas). Dirección General de Comités de Cuenca y Talleres. Secretaría de Recursos Hídricos. Ministerio de Infraestructura y Transporte. Octubre de 2018. Inédito.

Schultz, B. (2001) “Desarrollo de áreas de llanura en el mundo”. En: “Gestión Sostenible del Agua y Control de Inundaciones en Área Pampeana Central y Bajos Submeridionales. Seminario Bilateral Argentino-Holandés. Abril 24-25, 2001”. Eds: Beaufort G., Laboranti C., Gomez M. y Rebel M. Publicado por: Directorate General of the Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Utrecht. The Netherlands.

- Serra S., Gagliardi M. y Ojeda D.** (2017) “Análisis Preliminar de la Distribución Temporal de Tormentas con Datos de la Red Telemétrica de la Cuenca del Río Salado”. Anales del XXVI Congreso Nacional del Agua. Córdoba. Argentina.
- Tucci C. E. M.** (org.) (1993) Hidrologia: Ciência e Aplicação. AAVV. Edusp. Sao Paulo. Brasil. 943 pp.
- Vallejo M. y Rivera J. O.** (2001) “Participación ciudadana en la Restauración de Microcuencas: un caso de Costa Rica”. En: Resúmenes. Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 8-12 de Octubre de 2001. Rosario. Argentina.
- Venencio M. y García, N.** (2003) “Impacto de la disminución de la Recarga Natural en el acuífero libre en la provincia de Santa Fe”. Memorias del III Congreso Argentino de Hidrogeología, Rosario, Septiembre 2003.
- Venencio, M.V. y M. Varni** (2003) “Estimación de la Recarga y del Almacenamiento Específico a través del Análisis de Registros de Nivel Freático”. III Congreso Argentino de Hidrogeología y 1er. Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Tomo I, pp 153-161, Rosario. Argentina.
- Vicario, L.** (2017) “Identificación y evaluación de sequías en cuencas seleccionadas de la Región Centro de Argentina”. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina.
- Vielmo A. y Niceforo U.** (1996) “Organizzazione dell’irrigazione e del drenaggio in un territorio della alta pianura della Regione Veneto, in Italia”, en “Atti del corso Sviluppo e Gestione dei Bacini Idrografici”, pp. 315-322. Instituto Italo-Latino Americano (IILA), Roma, 1996.
- Villordo J. y Villordo C.** (2008) Reconstrucción Histórica del Funcionamiento Hídrico de la Cuenca del Arroyo Cululú. Informe Final para el PICTO 2004 – Código 22790. FICH-UNL. Inédito.

Vionnet C. A., Tassi, P. A., Rodríguez, L. B. & Ferreira, C. G. (2006) “Numerical modelling of the catastrophic flooding of Santa Fe city, Argentina.” *Journal of River Basin Management* Vol. 4, Issue 4, 2006. IAHR.

Visentín, F. (2014) “Canali artificiali, territorialità idraulica e paesaggio. Un studio comparativo tra Veneto, Catalogna e sud-ovest dell’Inghilterra” (tesis doctoral). Dipartimento di Scienze Storiche, Geografiche e dell’antichità. Università degli Studi di Padova. Italia.

Zimmermann E., Basile P. y Riccardi G. (2001) Análisis de la modificación en la respuesta hidrológica del sistema del arroyo Ludueña provocados por cambios del uso del suelo. En: Resúmenes. Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 8-12 de Octubre de 2001. Rosario. Argentina.

“REGULACIÓN DE CAUDALES EN UNA CUENCA DE LLANURA INTERVENIDA CON OBRAS DE CANALIZACIÓN, MEDIANTE LA GESTIÓN PARTICIPATIVA”

Carlos Gustavo Ferreira

ANEXOS

ANEXO 4-1

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA RED DE DRENAJE ARTIFICIAL. CUENCA DEL ARROYO CULULÚ. ANÁLISIS PRELIMINAR.

Introducción

En total concordancia con Visentín (2014), puede afirmarse que “la reorganización y el control de los flujos hídricos figuran entre los aspectos más significativos de la transformación humana del medio natural”.

A los fines de realizar un análisis de la evolución histórica de la red de drenaje en la Cuenca del Arroyo Cululú, se advierte que no se ha encontrado suficiente bibliografía específica, frente a la destacada importancia de su existencia en el desarrollo económico de la región, a su notable contribución a la reducción del riesgo hídrico y a las inversiones en materia de infraestructura hidráulica que durante casi un siglo vienen realizando los responsables de la gestión del agua: el estado provincial, los productores rurales y sus asociaciones.

Entre esos escasos antecedentes se destaca un trabajo de reconstrucción histórica de las intervenciones humanas en la cuenca (Villordo y Villordo, 2008) donde se resalta en particular, que la ejecución de la red de canales fue alterando el tamaño de la cuenca por la anexión de áreas no drenadas para facilitar la explotación agropecuaria.

La información utilizada en el presente trabajo está basada principalmente en documentos cartográficos de distinto origen y con distintas escalas, los que son considerados como fuentes confiables y precisas para obtener los datos requeridos. El área de la cuenca es de 9500 km² aproximadamente. Su red hidrográfica puede dividirse en dos partes de acuerdo con las características de los cursos de agua: los cursos naturales y los artificiales.

Entre los cursos naturales se encuentran el A° Cululú propiamente dicho, que se extiende desde la localidad de Elisa hasta la desembocadura en el río Salado, a 10 km al

Norte de la localidad de Esperanza. Además de otros arroyos que son afluentes de aquél, de sur a norte: Las Prusianas, Las Palomas, Los Corrales, Las Tablitas y Retiro. La longitud de los mismos, de acuerdo a distintos trabajos alcanza a los 210 km (DPOH-FICH, 1995).

Gollán y Lachaga, en su trabajo pionero sobre las aguas de la provincia, mencionan la hidrografía de la cuenca del A° Cululú con algunas diferencias con respecto a la toponimia actual de sus afluentes (Gollán y Lachaga, 1939). Según los autores mencionados, el uso primigenio que se dio a las tierras que hoy son parte del territorio de la provincia de Santa Fe, era el de la explotación ganadera, aunque con fuertes pérdidas ocasionadas por la “frecuente falta de agua”. Al desarrollo de la ganadería siguió el de la agricultura: “*Los ensayos de colonización oficial y privada prosperaron y marcaron un jalón en la vida nacional. El colono agrícola exige agua buena para beber y quiere lluvias bien repartidas para sus cultivos. Los primeros colonos tuvieron presentes estos reclamos y de allí el éxito. A esto siguió la colonización especulativa con habilidad para lotear campos aunque no reunieran las condiciones necesarias, lo que acarrió justificados desalientos*”(Gollán y Lachaga, 1939).

Los mismos autores apuntan dos causas que dan origen a la red de drenaje artificial: i) los impactos no esperados de la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones – todo lo contrario a “lluvias bien repartidas” y ii) paliar estos efectos con este tipo de obras, procurando transformar todos los campos en campos productivos, “aunque no reunieran las condiciones necesarias”.

Los orígenes de la red de drenaje artificial pueden establecerse, entonces, de manera concomitante con los de la colonización de la zona de estudio (ca. 1850), aunque las herramientas disponibles para la ejecución de estos drenajes eran mucho más simples que las actuales y eran impulsadas por tracción a sangre (ver figura .1).



Figura 1. Herramientas de los colonizadores. Providencia, Santa Fe. Fuente: propia.

Se debe tener presente que la fecha oficial de la fundación de la actual ciudad de Esperanza –primera colonia agrícola del país- se fijó en el 08 de setiembre de 1856. Su

zona de influencia constituyó un polo de atracción para las corrientes inmigratorias y a partir de éstas, fueron surgiendo numerosas colonias y pueblos, que se fundaron en las décadas posteriores, en todo el territorio del centro de la provincia de Santa Fe, incluyendo la cuenca del A° Cululú (Grassino, 1986).

El establecimiento de estas colonias en territorio provincial impulsó la aparición de una base de datos generada por equipos de especialistas pertenecientes a la Oficina de Topografía y Estadística creada en 1863 a partir de la cual se plasmó el primer plano catastral provincial confeccionado en 1872 por el Ing. Chapeurouge (Bonaudo, 2006).

Una simple inspección visual de dicho plano muestra que, en la zona central de la provincia de Santa Fe, ya estaban perfectamente establecidas las colonias de Esperanza, Grutly, Cavour, Humboldt y Sunchales, entre otras y se señala claramente la traza de caminos a “Los Sunchales”, “a Córdoba” y “a Santiago”. En cuanto a la red de drenaje: sólo se muestran las principales cañadas y áreas inundables, la mayoría sin sus nombres. Se puede suponer la inexistencia de obras de drenaje. Como dato adicional, en dicho plano la provincia aún no contaba con la totalidad de su territorio actual, ya que su frontera norte se ubicaba en la línea Tostado-Vera. En la figura 2 se presenta una fotografía del mapa mencionado, mostrando el área central de la provincia de Santa Fe.

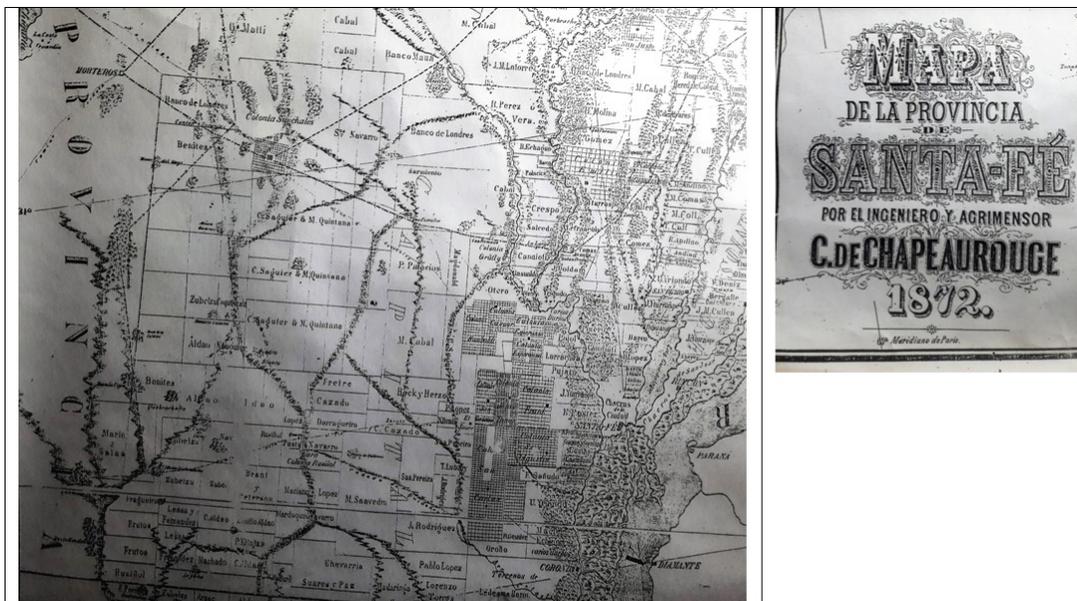


Figura 2. Sector central de la provincia, en el plano del Ing. Chapeurouge de 1872 y su rótulo.

En la década de 1880 se construye el Ferrocarril de Santa Fe a las Colonias: aparecen las primeras “alcantarillas” y “puentes” para sortear los arroyos y pasos de agua que se oponen al tendido de la línea férrea. La primera construida unía a Santa Fe con Esperanza, Rafaela y Lehmann y fue habilitada al servicio público el 15 de Julio de 1885. Algunas de estas obras de paso eran adelantos notables de la ingeniería para esa época y hoy forman parte de un patrimonio histórico relevante (Boidi, 2009).

La construcción del ramal mencionado es la primera intervención humana de magnitud considerable en el escurrimiento natural de la cuenca, por la importancia de los

terraplenes en relación a la llanura circundante. Puede considerarse como el final de la red de drenaje en “estado natural” y el inicio de la red en “estado intervenido”.

En el año 1914 una inundación asuela la región, que comenzaba a despertar sus fuerzas productivas a través de la actividad agrícola ganadera y las mejoras en la comunicación ferroviaria. Debido a esta inundación, son impactadas fundamentalmente las estructuras de paso y los terraplenes ferroviarios, existiendo importantes registros fotográficos de la época (Gardiol y Morresi, 2016).

En los siguientes 20 años se gestionaron obras de drenaje para paliar los efectos de las inundaciones. De esta manera, entre los primeros antecedentes técnicos oficiales de organismos vinculados a la actividad vale la pena mencionar la construcción del Canal Principal N° 1 y sus Canales Secundarios, a mediados de la década de 1930, hito que podría adoptarse como el inicio de la etapa de la intervención estatal en la construcción de la red de drenaje artificial. La siguiente Figura 3 muestra un plano de la época con el estado de obras en el Departamento San Cristóbal, provincia de Santa Fe.

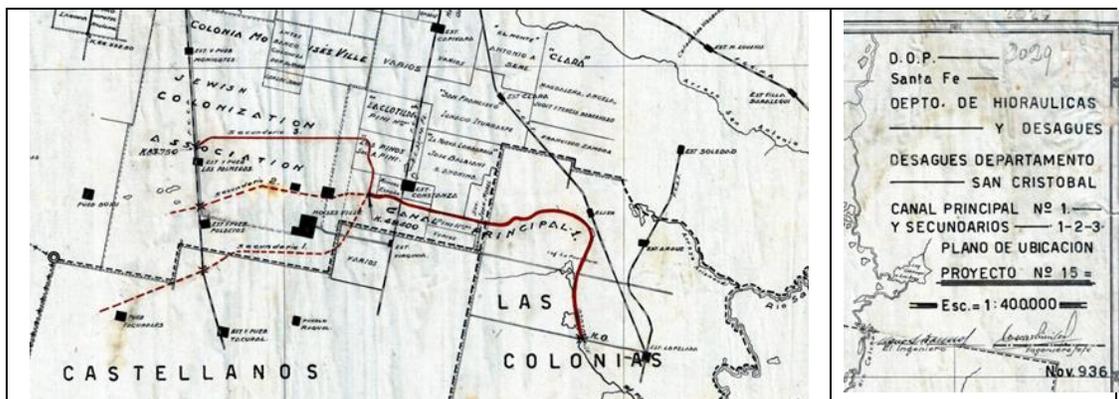


Figura 3. Sector inferior del plano “Desagües del Departamento San Cristóbal – Canal Principal N°1 y Secundarios 1-2-3. Plano de Ubicación” y su rótulo. Departamento de Hidráulica y Desagües, Dirección de Obras Públicas, Santa Fe. Noviembre de 1936.

En esta etapa (desde las décadas de 1930 a 1980 inclusive) la intensidad en la construcción de obras fue concomitante a una sucesión de sequías e inundaciones experimentadas en la cuenca del A° Cululú, destacándose la crecida de abril de 1981 por su magnitud y el impacto socioeconómico que causó en la producción agrícola-ganadera del oeste de la cuenca.

En ese año se promulga la Ley N° 8221, cuyo mérito principal fue la de dar inicio a la formación de los Comités de Cuenca. La ley es revisada y ampliada, y en 1986 se aprueba la aún vigente Ley de Comités de Cuenca N° 9830 (Gobierno de la Provincia de Santa Fe, 1987 y Ferreira y Morín, 1990), donde el accionar, las decisiones y los recursos económicos acerca de las obras de drenaje rural tienen a partir de la aplicación de la mencionada norma, un fuerte componente mixto (estatal y privado).

Los Comités de Cuenca actúan como personas jurídicas de derecho público y se les fija competencia territorial. Estos organismos fueron creados con la finalidad de contribuir con las reparticiones competentes de la Provincia, promoviendo el desarrollo del área a través del manejo y aprovechamiento del recurso hídrico. Sus funciones son -entre otras- la ejecución de los trabajos de mantenimiento y conservación de las obras

existentes para preservar las condiciones de drenaje y de obras hidráulicas complementarias menores.

Luego de la creación de estos entes se inician estudios integrales de las cuencas hidrográficas y proyectos específicos para el drenaje rural a través de obras de mantenimiento o construcción de canales de drenaje (Ferreira, 1998 y Gandolfo, 1998). A todo lo mencionado previamente, se le superpone el incremento de las precipitaciones de las últimas cinco décadas y las modificaciones en cuanto al uso del suelo –rural y urbano-. Esto provoca hasta el presente, la extensión prácticamente exponencial de la longitud total de la red de drenaje artificial en la cuenca del A° Cululú.

Materiales y métodos

Por tratarse de un trabajo preliminar y con el objetivo de establecer la evolución temporal de la longitud total de la red de drenaje, se recopiló información disponible en el Centro de Documentación de la Secretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Infraestructura y Transporte de la provincia de Santa Fe, obteniéndose dicha magnitud de diversos documentos elaborados por fuentes confiables. En la Tabla 1 que se presenta a continuación, se resumen datos referentes a los trabajos utilizados como fuente de información. La escala de los mapas fue aumentando con el tiempo, con lo que se mejora la estimación del dato obtenido como longitud total de la red, hasta llegar a las actuales tecnologías digitales, combinadas con imágenes disponibles en la web (Google Earth, p.ej.).

Resultados y análisis

A partir de esa recopilación de antecedentes se construyó el gráfico de la Figura 4, que se presenta a continuación.

En función de los datos presentados pueden establecerse tasas promedio de crecimiento anual de la longitud de la red de drenaje. Se advierte una gran diferencia de la tasa de construcción de canales del periodo “estatal”, que abarca desde 1930 a 1980, con un promedio de ejecución de 18 km de canales por año, mientras que desde la creación de los Comités de Cuenca (1980) hasta el presente –el denominado periodo “mixto”- esa tasa se eleva a 44 km/año. Esta diferencia de tasas (un crecimiento de casi 250%) puede explicarse en parte porque son canales con secciones transversales menores –por lo tanto, menor volumen de excavación- y de ejecución más simple, ya que las trazas en gran porcentaje se desarrollan al costado de caminos rurales.

Otro dato interesante surge al analizar la tasa de ejecución entre 1958 y 1988: la tasa es de 12 km/año, lo que podría estar relacionado con dos causas: la preponderancia de años hidrológicos secos en un principio del periodo y la escasez de recursos económicos provinciales en la segunda parte.

AÑO	DOCUMENTO/AUTOR/ ORGANISMO RESPONSABLE/ ESCALA	LONGITUD DE CANALES (km)	OBSERVACIONES
1872	“Mapa de la Provincia de Santa Fe”.Primer Plano Catastral de la Provincia elaborado por el Ing. Chapeurouge. Con escala gráfica. Ver Figura 2.	0	Se considera que previo a la colonización no existían obras de drenaje artificiales, por lo que el año de inicio del análisis temporal se fija en 1850.
1938	“Provincia de Santa Fe. Registro Gráfico”. Compilado por el Departamento Topográfico. Ministerio de Hacienda y Obras Públicas de la Provincia de Santa Fe. Esc.: 1:200.000. Dibujado e impreso por el Instituto Geográfico Militar.	227	Se observa claramente que las obras de canalización abarcan al Canal Principal N° 1 y sus secundarios y al Canal Vila al Cululú y a sus secundarios. La mayoría de las cañadas que conectarían esta red al A° Cululú todavía figuran sin canalización.
1958-1959	Varias hojas de la “Carta Topográfica de la república Argentina”. Publicada en 1966 por el Instituto Geográfico Militar. Esc.: 1: 50.000.	706	Se obtiene el valor con medición directa sobre las cartas en soporte papel.
1988	“Provincia de Santa Fe. Dirección Provincial de Obras Hidráulicas. M.O.S.P.yV.”. Autor:P.T.C. Raquel Tardivo. Esc.: 1: 250.000	1058	Se obtiene el valor con medición directa sobre el plano. Incluye información de los Comités de Cuenca.
2018	“Región III – Áreas anegables y Red de Canales”. Plan Director de los Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe.Región III: Cuenca Inferior del Río Salado y Menores.Autor: I.N.A.– Centro Regional Litoral. Esc.: 1: 50.000.	2384	En este trabajo, además de la información provista por el Catastro provincial se analizan imágenes de satélite y visualizaciones de la aplicación Google Earth.

Tabla 1. Datos referentes a los trabajos utilizados como fuente de información

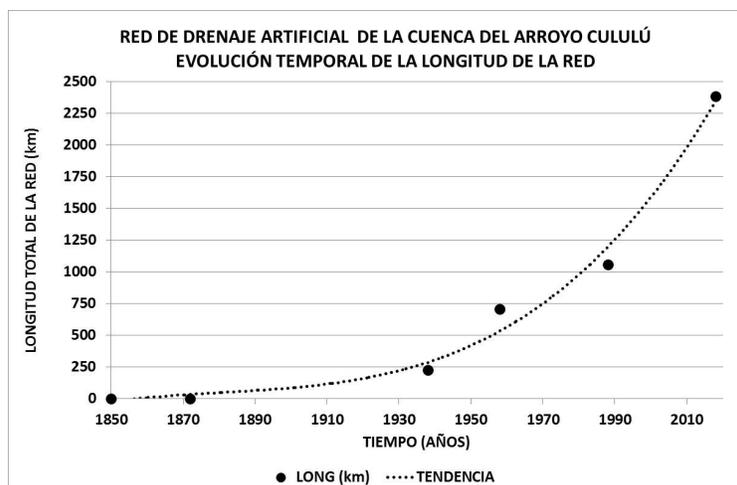


Figura 4. Evolución temporal de la longitud de la red de drenaje. Cuenca del A° Cululú (1850-2018).

Conclusiones y recomendaciones

El estudio de la evolución temporal de la longitud total de la red de drenaje artificial – cuyos resultados se presentan en este trabajo a nivel preliminar- tiene entre sus objetivos poner en valor esta gran obra, construida y mantenida a lo largo de décadas, como patrimonio de la sociedad santafesina. Para completar este trabajo se deberán desarrollar estudios desde distintas disciplinas (como la historia, la geografía, la economía y las ciencias ambientales) para dar respuestas a preguntas tales como: *¿cuál ha sido la inversión realizada en cada periodo en esta obra?; ¿cuánto ha sido el daño evitado?; ¿cómo es la evolución del paisaje?*

No obstante lo anterior y en paralelo con la necesidad actual de realizar un registro provincial de obras hidráulicas, como lo establece la flamante Ley de Aguas de la provincia de Santa Fe –en vigencia desde el 01 de marzo de 2018-, es evidente que el primer paso vendrá de la mano de la cartografía con sus innovaciones tecnológicas concomitantes, para la construcción de un sistema de información geográfica en el que se registren y procesen todos los antecedentes disponibles.

ANEXO 5-1

MAPA DE ACTORES

Para el desarrollo de esta tarea, en primer lugar se identifican y describen de manera sucinta los diversos actores (descripción y jurisdicción), en cuanto a sus misiones en relación con la problemática o la actividad que desarrollan, en función de varias características, a saber: (i) si son responsables o contribuyentes -de acuerdo con la clasificación de Schulz (2001)-;(ii) de acuerdo a su relación con la toma de decisiones; (iii) grado de vinculación con la problemática y (iv) de participación potencial en la procura de soluciones.

Para mostrar estos resultados, lo más indicado es presentarlos en forma de tabla o matriz, como puede observarse en la figura siguiente:

IDENTIFICACIÓN		Jurisdicción o alcance	CLASIFICACIÓN SEGÚN											
Actor	Descripción		SCHULZ (2001)		INVOLUCRAMIENTO EN LA TOMA DE DECISIONES		GRADO DE PARTICIPACIÓN POTENCIAL		GRADO DE VINCULACIÓN CON LA PROBLEMÁTICA					
			RESPONSABLES	CONTRIBUYENTES	DIRECTA	INDIRECTA	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO		
GOBIERNO PROVINCIAL		La actual estructura ministerial se rige por la Ley Nº10.569 (Ley de Ministerios). La mencionada norma es modificada cada cuatro años a la renovación de las autoridades.	Provincial											
1	Ministerio de Infraestructura y Transporte. Secretaría de Recursos Hídricos.	Organismo del Gobierno Provincial. Órgano de aplicación de la Ley 9638/98 de Comités de Cuenca y de la Ley de Aguas N° 13740.	Provincial											
2	Ministerio de Infraestructura y Transporte. Administración Provincial de Vialidad	Organismo del Gobierno Provincial	Provincial											
3	Ministerio de Infraestructura y Transporte. Secretaría de Aguas y Saneamiento.	Organismo del Gobierno Provincial	Provincial											
4	Ministerio de la Producción. Secretaría de Agricultura Ganadería y Recursos Naturales	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial											
5	Ministerio de Medio Ambiente - Subsecretaría de Recursos Naturales	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial											
6	Ministerio de Obras Públicas	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial											
7	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial											
8	Ministerio de Gobierno y Reforma del Estado	Organismo del Gobierno Provincial.	Provincial											
9	Poder Legislativo (Diputados y Senadores)		Provincial											
10	Poder Judicial		Provincial											
COMITES DE CUENCA		Funcionan a través de la aplicación de la Ley Nº 9638/98 y son formados por un decreto específico.	Regional											
11	Canales Secundarios N°s. 1, 2 y 3 del Principal N° 1	Estos organismos se rigen por la Ley Provincial Nº 9630/98 (Gobierno de la Prov. de Santa Fe, 1987) y tienen como finalidad contribuir, con las reparticiones competentes de	Regional											
12	Canal Principal N° 1 y Secundario N° 1		Regional											

NOTA: La misma se ha desarrollado en una planilla de cálculo. Se presenta adjunta en formato A3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
49		OTROS ACTORES	Dependiendo de la situación pueden intervenir de manera temporal y breve en algún tema particular o muy específico.											
50	97	CICAE- Centro de Industria, comercio y afincados de Esperanza	Es una asociación de carácter gremial, que reúne a los componentes de la industria, comercio y afincados, productores, y, en general todo empleador o toda persona física o jurídica que tenga intereses económicos a su cargo, para que, en base a una solidaridad efectiva y permanente, lo represente ante los poderes constituidos, ante particulares y en todos los casos en que sea necesario para la defensa de los mismos.	Distrital										
51	98	Empresas Concesionarias de Peaje RUTA PROY. N° 70 RUTA NACIONAL N° 19 - AUTOYÍA RUTA NACIONAL N° 34												
52	99	Colegio de profesionales de la agrimensura de la provincia de Santa Fe	Organización cuyos objetivos fundamentales son: registrar y gobernar la matrícula de los profesionales habilitados para el ejercicio de la agrimensura; asegurar el ejercicio regular de la profesión con sujeción a las normas técnicas, jurídicas y éticas, ejerciendo el correspondiente poder de policía; entre otros.	Regional										
53	100	Colegio de ingenieros agrónomos de la provincia de Santa Fe	Organización que funciona con el carácter de persona jurídica, cuya misión consiste en establecer los principios, valores y líneas de acción que regulan el quehacer profesional resguardando el desarrollo y la participación -activa y representativa- de los Ingenieros Agrónomos en todo el territorio de la provincia de Santa Fe.	Regional										
54	101	Colegio de ingenieros especialistas de la provincia de Santa Fe (Comisión Medio ambiente)	Organización que confiere la habilitación para el ejercicio de la profesión a los egresados universitarios de las carreras de ingeniería y licenciaturas de las áreas química, mecánica, eléctrica, sistemas, entre otras, en el ámbito de la provincia de Santa Fe. Su misión es representar y proteger los intereses y derechos de los ingenieros especialistas y propender al mejoramiento profesional en todos sus aspectos.	Regional										
55	102	Colegio de ingenieros civiles (Comisión Recursos Hídricos)		Regional										
56	103	Instituciones Educativas		Municipal/ Provincial										
57	104	Escuelas rurales y urbanas		Municipal/ Provincial										
58	105	Desarrolladores Inmobiliarios		Municipal/ Provincial										
59	106	EPE	La Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe es una de las distribuidoras eléctricas más importantes de la República Argentina. Abastece a más de 1.200.000 de clientes distribuidos en 101.000 km ²	Provincial										
60	107	Organizaciones dedicadas al Agroturismo	Es el desarrollo de una pluralidad de servicios, productos y recursos, que armónicamente conjugados con la actividad agropecuaria, busca hacer visible un conjunto de factores positivos, atractivos y sensibles de ser buscados por un potencial visitante de espacios rurales y productivos.	Regional										
61	108	Medios de Comunicación Locales/Regionales		Municipal/ Regional										
62														
63														
64														
65														
66														

* Por razones de extensión se agrupan por departamentos. Cada una se cuenta como un actor (UN SUBCONJUNTO DE LAS MISMAS SON AQUELLAS LOCALIDADES IDENTIFICADAS CON PROBLEMAS DE RIESGO HÍDRICO (Ferreira, 2008)).

** NOTA: PARA INICIAR UN TRABAJO DE gestión participativa podrán darse los primeros pasos con las localidades con riesgo hídrico. Este subconjunto de localidades tienen una afectación directa, para el resto de localidades se podría suponer un grado medio y hasta bajo.

*** Se incluye este municipio que pertenece a la provincia limítrofe de Córdoba, por tener directa influencia en las cabeceras de la Cuenca del A° Cululú, aunque no es la única localidad cordobesa que está incluida en la cuenca.

ANEXO 5-2

RÉGIMEN DE CAUDALES MENSUALES DEL ARROYO CULULÚ (ESTACIÓN CULULÚ – R P 50-s)

Los datos de caudales a la salida de la cuenca del Arroyo Cululú se registran históricamente en la Estación Hidrométrica Cululú, situada a pocos metros del puente de la Ruta Provincial 50-s, en las cercanías de la localidad homónima, en el Departamento Las Colonias. La serie es extensa (1974-2018), aunque con numerosas interrupciones, en particular entre los años 1989 a 1999 inclusive. Los datos fueron registrados en diversos periodos por varios organismos, de acuerdo a la siguiente Tabla N°1. En base a los datos diarios, se calcularon los caudales mensuales, cuando la información existente lo permitía y se presentan en la Tabla N°2:

SERIE	ORGANISMO ENCARGADO	FUENTES / OBSERVACIONES
1974-1978	DGH-Santa Fe	Datos obtenidos de fajas de limnógrafo recopiladas en el Centro de Documentación de la SRH-MIT y presentados por primera vez en esta tesis. Con muchas interrupciones.
1978-1986	INCYTH	Anuarios Hidrológicos (Incyth, 1986).
1986-1988	DPOH-MOSPYV	Datos diarios de planillas de observación. Sin publicar. Con interrupciones.
2000-2001	DPOH-FICH (mediante un Convenio específico).	Anuario Hidrológico (Pittau y Hammerly, 2001). Con interrupciones.
2004-2017	Secretaría de Recursos Hídricos (Min. Infraestruc. y Transporte - MIyT).	Datos provenientes de planillas de observador y de la Red Telemétrica de la cuenca del río Salado (Ferreira, 2015). Con interrupciones.

Tabla N°1. Organismos encargados del funcionamiento de la Estación Hidrométrica Cululú en RP50 y serie relacionada.

Para la serie histórica completa (ver Figura 1), los mayores caudales medios mensuales promedio se presentan en los meses de Febrero-Marzo y Abril y en orden creciente. En tanto que el estiaje se produce claramente en los meses de menor cantidad de precipitación (Junio-Julio-Agosto). A continuación son tabulados los caudales medios mensuales promedio de la serie disponible 1977-2017. La cantidad de datos para el cálculo es de 22 a 25 datos por mes calendario, sobre un total de 40 años (ver Tabla N° 3). El caudal medio anual del arroyo Cululú es de 15,28 m³/seg.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1974												*
1975			*						*	*		
1976	*	*		*						*		
1977			*	28,68	4,6	2,58						
1978			*			4,75	8,85	0,9	6,39	3,02	29,34	18,90
1979	0,40	2,80	2,78	6,64	0,68	0,65	8,8	1,1	8,60	0,93	16,33	7,39
1980	0,36	0,35	4,48	70,68	27,32	8,17	1,66	4,74	1,96	0,81	2,39	0,96
1981	9,67	129,76	37,03	259,07	123,75	37,62	9,84	3,18	1,07	0,52	28,48	27,31
1982	3,74	9,71	3,00	72,15	16,44	5,09	1,58	1,13	35,50	18,26	0,72	5,96
1983	8,17	31,62	63,48	102,08	22,81	1,89	4,13	5,65	13,30	19,12	8,93	0,60
1984	3,05	21,49	67,40	4,59	0,82	0,80	0,70	0,46	9,04	42,96	13,32	1,16
1985	0,66	11,94	0,95	5,54	7,15	0,60	3,18	1,17	4,14	15,43	4,54	1,12
1986	7,45	4,75	7,83	28,83	34,67	3,63	34,73	7,44	6,45	1,98	22,51	5,36
1987	10,31	1,53	8,37	57,64	35,13	1,89	1,83	1,35	1,49	0,89	5,42	3,89
1988	16,54	3,53	0,83	0,79	0,52	0,50						
1989												
1990												
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000			*	57,64	35,13	1,89	1,83	1,35	1,49	0,89	5,42	3,89
2001	*	*	2,63	3,46	1,41	4,61	1,94	1,42	3,63	69,87	8,45	7,75
2002												
2003				*	*							
2004				12,60	4,13	1,71	1,77	0,98				
2005			130,92	35,31	3,87	3,65	2,26	1,46	1,09	2,57	2,26	0,78
2006	2,42	2,07	21,42	1,51	0,85	8,29	1,10	0,88	0,76	1,43	0,74	30,75
2007	18,47	20,51	75,40	91,43	14,98	2,98	3,0	3,3	5,18	3,22	1,12	2,03
2008	3,49	6,05	4,05	4,79	1,06	0,80	0,7	0,7	0,79	3,47	0,91	0,71
2009	0,53	2,54	4,85	1,97	0,51	0,52	1,2	0,5	1,01	2,60	11,85	42,75
2010	17,80	46,31	5,38	0,99	0,80	0,71	0,7	0,7	1,98	0,89	0,63	0,91
2011	2,72	5,21	1,80	11,50	8,83	5,10	1,7	1,8	1,12	19,78	21,63	1,15
2012	0,80	0,63	14,56	0,91	0,83	0,65	0,57	1,24	0,67	25,21	5,03	56,77
2013	5,72	2,25	1,78	2,38	28,73	0,94	0,79	0,65	0,59	0,61	92,57	12,29
2014	1,43	15,84	14,82	117,66	5,35	2,70	3,17	1,68	2,70	1,49	3,10	15,78
2015	25,09	11,54	98,86	9,85	2,69	2,02	1,63	5,30	1,39	2,11	15,13	38,08
2016	2,03	91,82	12,74	310,64	61,38	9,53	9,17	3,40	2,10	31,09	2,88	19,62
2017	197,94	60,99	28,97	23,21	9,31	2,86	2,43	2,42				

Tabla N°2. Caudales mensuales registrados en la Estación Hidrométrica Cululú.

REFERENCIAS DE LA TABLA N°2:

Columna “AÑO”**2002**(En rojo): Año sin Dato de ningún tipo; **2010**(En Negro): Año con Dato.

Los valores en **verde** resaltado son aquellos encontrados luego de procesar fajas del archivo de la SRH-Centro de Documentación, con los cuales se obtiene una buena representación del valor mensual. Son un aporte de la tesis, al igual que la identificación con asteriscos rojos(*), significa que en ese mes existe algún tipo de dato pero no es de utilidad para calcular caudal medio mensual.

En **celeste** datos del Centro de Documentación de la SRH-MIT, procesados por la Ing. Morresi (sin publicar).

MES	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Q (m3/s)	4,86	11,64	13,17	11,96	15,40	21,97	25,60	50,81	18,01	4,11	4,44	2,03
Datos Disp (Un.)	23	23	23	23	22	22	24	25	24	25	24	24

Tabla N°3. Caudales medios mensuales promedio registrados en la Estación Hidrométrica Cululú y cantidad de datos disponibles para su cálculo en la serie 1977-2017. Caudal módulo de la serie completa 15,28 m3/seg.

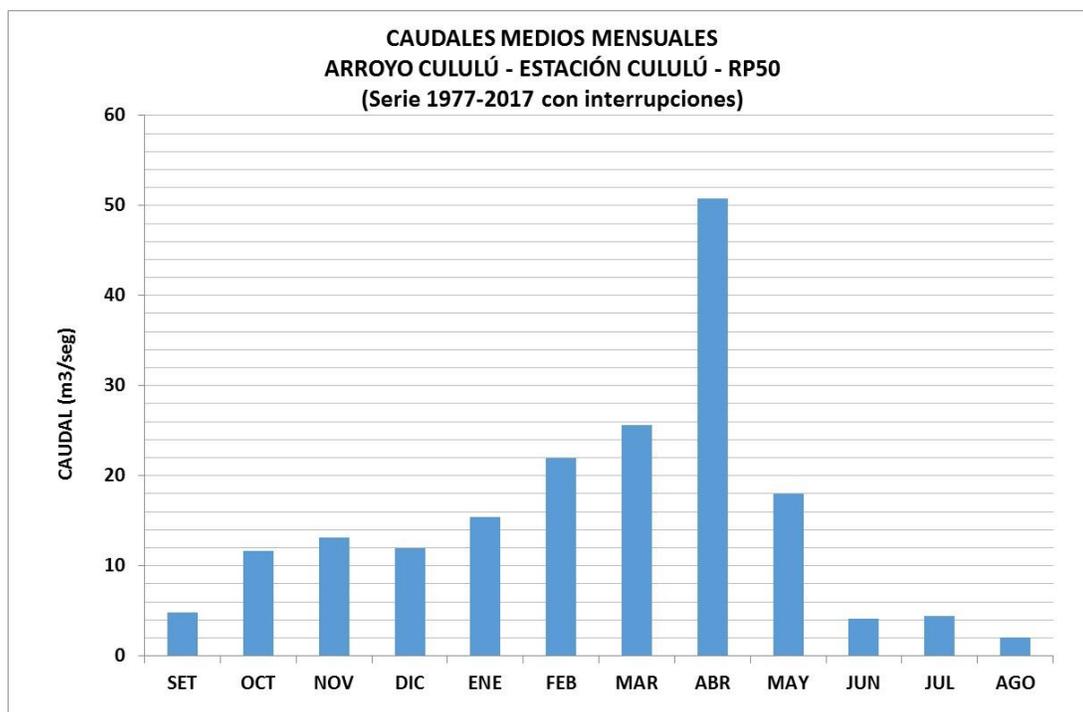


Figura 1. Caudales medios mensuales del Arroyo Cululú (SERIE 1977-2017).

Si se observa la precedente Tabla N° 2, pueden definirse dos periodos de registro separados por una década de faltante de datos. De esta manera, los periodos bajo análisis, caracterizados como “1980” y “2010”, pueden ser analizados mediante las series parciales 1977-1988 y 2004-2017 respectivamente. Los mismos son tabulados a continuación. De cada una de estas series parciales se presenta la siguiente información: número de años calendarios de registro a ser evaluados; cantidad de datos faltantes debido a interrupciones; cantidad de datos por mes y caudal medio anual (ver Tabla 4). Además en otra tabla, se presentan para cada mes los caudales mensuales máximo, medio y mínimo (ver Tabla 5 y Figuras 2 y 3).

PERIODO	Subserie Característica	N° de Años	Meses Faltantes Relativo a Meses tot.	Caudal Medio anual (m3/s)	DIFERENCIA 2010/1980 Q med (%)
“1980”	1977-1988	12	20/144	15,48	-0,55
“2010”	2004-2017	14	22/168	15,39	

Tabla N°4. Información de las subseries para caracterizar a nivel mensual los periodos bajo análisis.

MES	1980			2010			DIF.RELAT. Q MED. (%)
	MÁX.	MEDIO	MÍN.	MÁX.	MEDIO	MÍN.	“2010”-“1980”
ENERO	16,54	6,04	0,36	197,94	23,20	0,53	284
FEBRERO	129,76	21,75	0,35	91,82	22,15	0,63	2
MARZO	67,40	19,61	0,83	130,92	31,97	1,78	63
ABRIL	259,07	57,88	0,79	310,64	47,94	0,91	-17
MAYO	123,75	24,90	0,52	61,38	10,96	0,51	-56
JUNIO	37,62	5,68	0,50	9,53	2,63	0,52	-54
JULIO	34,73	7,53	0,70	9,17	2,24	0,57	-70
AGOSTO	7,44	2,71	0,46	5,30	1,86	0,48	-31
SETIEMBRE	35,50	8,79	1,07	5,18	1,69	0,59	-81
OCTUBRE	42,96	10,39	0,52	31,09	8,46	0,61	-19
NOVIEMBRE	29,34	13,20	0,72	92,57	14,28	0,63	8
DICIEMBRE	27,31	7,26	0,60	56,77	17,35	0,71	139
Q MEDIO ANUAL		15,48			15,39		

Tabla N° 5. Caudales mensuales característicos de los periodos bajo análisis – Estación Hidrométrica RP 50, A° Cululú en Cululú.

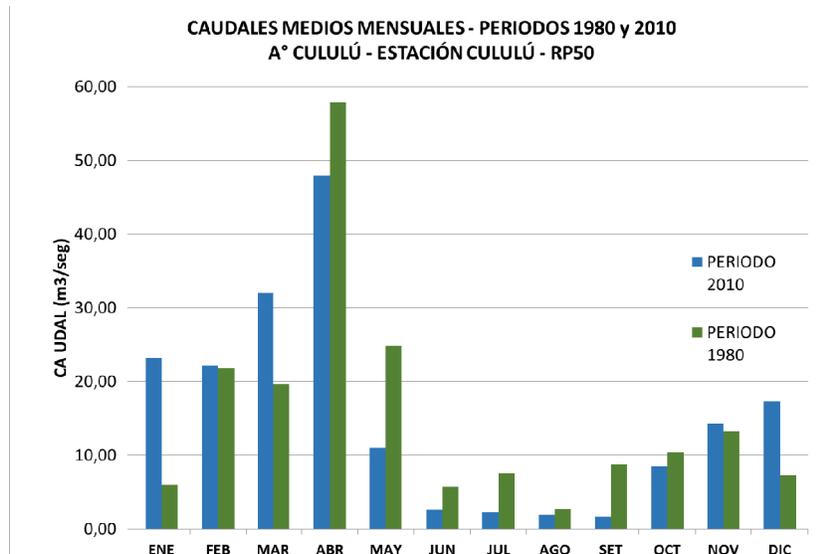


Fig. 2. Caudales medios mensuales del Arroyo Cululú (Periodo 1980, serie 1977-1989; Periodo 2010, serie 2004-2017).

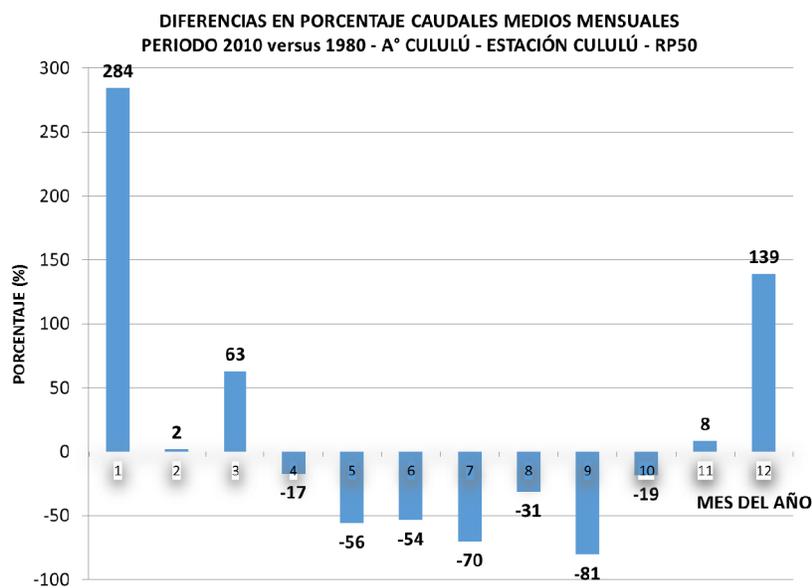


Fig. 3. Porcentajes de diferencias entre los caudales medios mensuales de los periodos “2010” y “1980”.

El año hidrológico para esta cuenca se define desde el mes de setiembre al mes de agosto del año siguiente. De la comparación del caudal medio anual de cada periodo, se observa que las diferencias son insignificantes. Si en cambio se analiza una agrupación de meses subanual, pueden tenerse en cuenta, en principio dos semestres. Para diversos estudios, el año hidrológico en esta región suele dividirse de la siguiente manera: el semestre cálido, que se caracteriza por tener temperaturas medias del aire por encima de los 20 °C y va desde octubre hasta marzo y el semestre frío, entre los meses de abril a

setiembre inclusive, con registros de temperatura promedio por debajo del valor mencionado (Ferreira et al., 2012).

En la siguiente Figura 4 se aprecian las diferencias entre los caudales medios para los semestres Frío y Cálido, de los periodos “1980” y “2010”. De acuerdo a la tabla incorporada al gráfico, se observa que la diferencia de caudales es prácticamente la misma, pero de signo contrario (-6,70 m³/seg para los semestres Fríos y 6,6 m³/seg para los semestres Cálidos). Esas diferencias, llevadas a porcentajes sobre los valores de caudal medio semestral del periodo 1980, muestra claramente el crecimiento de los caudales para el semestre Cálido del periodo 2010, en un 50 %. En tanto que para el semestre Frío, los caudales medios del periodo actual decrecen en un -37,7 %.

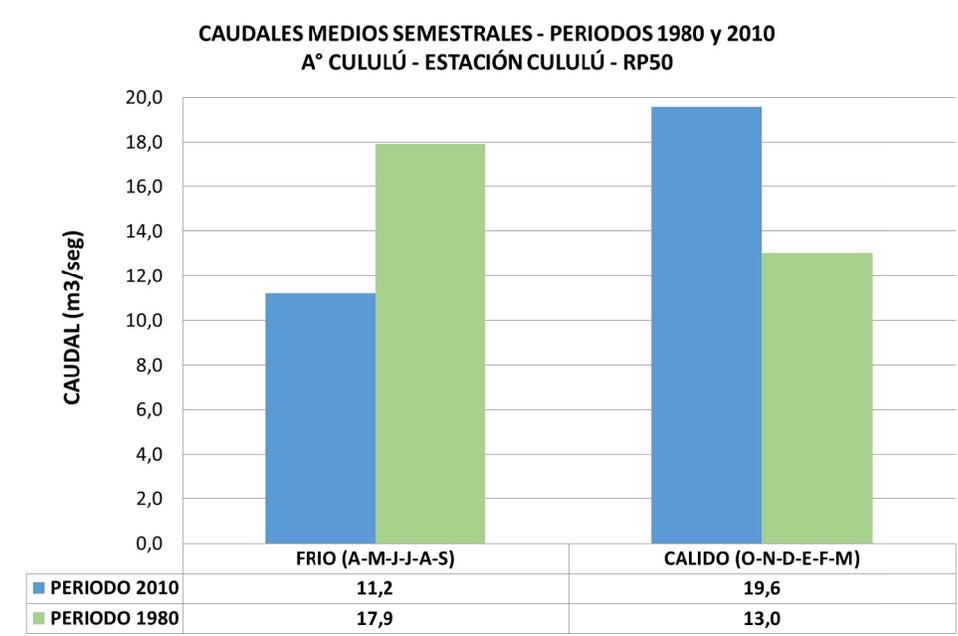


Fig. 4. Comparación entre los caudales medios semestrales (semestre Frío y Cálido) para los periodos “2010” y “1980”.

Teniendo presentes los resultados obtenidos más arriba, puede concluirse en cuanto a la variación de caudales medios mensuales que existe un cambio positivo entre los meses de noviembre a marzo, en tanto que en el resto de los meses (semestre frío más octubre) los caudales mensuales del periodo “2010” son menores que los del periodo “1980”. Particularmente se acumulan importantes diferencias positivas en el bimestre diciembre-enero. En estos dos meses más marzo se producen también en concomitancia con importantes cambios positivos a nivel medio mensual, grandes diferencias en los caudales máximos medios mensuales.

ANEXO 5-3

DATOS DE LOS RESERVIOS PROPUESTOS EN LA CUENCA DEL A° CULULÚ (PROVINCIA DE SANTA FE)

Introducción

Como se ha demostrado, los escurrimientos en la cuenca del A° Cululú, se han incrementado por diferentes factores. Para la regulación de éstos, la técnica propone una importante diversidad de medidas tanto estructurales como no estructurales y de manejo del suelo. La creación de reservorios en puntos estratégicos de la cuenca del A° Cululú, para alcanzar el objetivo de la reducción de los caudales pico y la regulación de los caudales de crecida es una medida de intervención estructural en la cuenca. A través de la explotación del modelo calibrado para la situación actual y a partir de las crecidas de diseño generadas, se verificará la eficacia de las obras de detención propuestas en distintos sectores de la cuenca para crecidas provocadas por eventos de precipitación aislados. El resultado principal del trabajo que se presenta en este Anexo son los datos relativos a los reservorios (Tabla N° 1): características de diseño como ubicación; cotas mínima y máxima; cota y longitud del vertedero y longitud de la presa, entre otras. Los reservorios quedan definidos además mediante curvas características: altura-volumen y altura-caudal, las cuales se presentan al final de este Anexo.

REF.	UBICACIÓN del RESERVORIO		Longitud de VERTEDERO (m)	Longitud dePRESA (km)	
	Carta IGN	Coordenadas			
		LAT			LONG
R1	Elisa	30°42'20.83"S	61° 4'48.14"O	80	9,5
R2	Providencia (NE)	30°51'50.32"S	61° 3'38.64"O	160	6,5
R3	Providencia (N)	30°53'26.21"S	61° 6'51.32"O	160	6,8
R4	La Pelada (SO)	30°56'39.15"S	60°57'59.39"O	420	3,2
R5	Sarmiento (SO)	31° 9'21.05"S	61° 2'18.80"O	200	5,7
R6	Nelson (NO)	31°10'24.94"S	60°56'34.56"O	460	1,5
R7	Pilar (E)	31°22'59.75"S	61°16'30.74"O	40	4,5
R8	Felicia	31°16'28.12"S	61° 3'19.79"O	220	1,6
R9	Nelson (SO)	31°17'29.81"S	60°58'45.31"O	860	1,5

Tabla N° 1. Características de los reservorios propuestos. Cuenca del A° Cululú.

Tabla 1 (cont.)

REF.	Cota Mínima IGN (m)	Cota Máxima IGN (m)	Altura Máxima de la Presa (m)	Cota del Vertedero IGN (m)	Volumen Máximo Estimado (hm3)	Área Máxima Estimada (km2)
R1	50	60	10,0	57,5	144	53
R2	44	50	6,0	47,5	210	60
R3	50	57,5	7,5	55	175	40
R4	40	45	5,0	42,5	91	48
R5	37,5	47,5	10,0	45	92	21
R6	31	37,5	6,5	35	36	27
R7	50	60	10,0	57,5	87	17
R8	32,5	40	7,5	37,5	36	18
R9	23	30	7,0	27,5	50	20
TOTAL					921	304

NOTA:REF.: número de identificación del reservorio de acuerdo a la Figura 1; **Carta IGN:** nombre de la carta topográfica en escala 1:50.000 publicada por el I.G.N. en la que se ubica el reservorio; **Coordenadas:** son las coordenadas de la Latitud y Longitud del centro del Vertedero.

Criterios para la ubicación de reservorios:

En primer lugar a partir de los datos de la red de drenaje, de la topografía y de las características de las crecidas de diseño, se propone la ubicación de un cierto número de futuros reservorios, los que definirán una capacidad de almacenamiento máximo para crecidas en la cuenca. Se analizaron distintas posibilidades. En un principio se proponía un número de diez, pero luego de algunos ajustes se redujo esta cantidad a 9 (nueve). A los fines de asegurar el cumplimiento del requerimiento de regulación de caudales, se estableció que los mismos estén ubicados en la zona de descarga de la cuenca del A° Cululú, por ser la colectora final de los escurrimientos y porque en función de su topografía se obtienen volúmenes de embalse acordes con los de los hidrogramas de crecida de mayores recurrencias. Se priorizaron los sitios potenciales de menor longitud de presa en función del volumen embalsado. La cota mínima corresponde al punto más bajo de la sección del arroyo o del tributario, en general obtenida de la carta topográfica del I.G.N. en escala 1:50.000 o de algún relevamiento topográfico previo y coincide con el valor cero en las curvas altura-caudal. Como cota máxima se identificó la curva de nivel que no afectara sitios con posible ocupación humana actual, por otro lado el de no afectar rutas o caminos, y finalmente que no interfiera con la descarga de reservorios situados aguas arriba por efectos de remanso. La altura máxima se obtiene de la resta entre la Cota Máxima y la Cota Mínima. La ubicación definitiva de los reservorios en relación a su posición en la cuenca se presenta en la Figura 1.

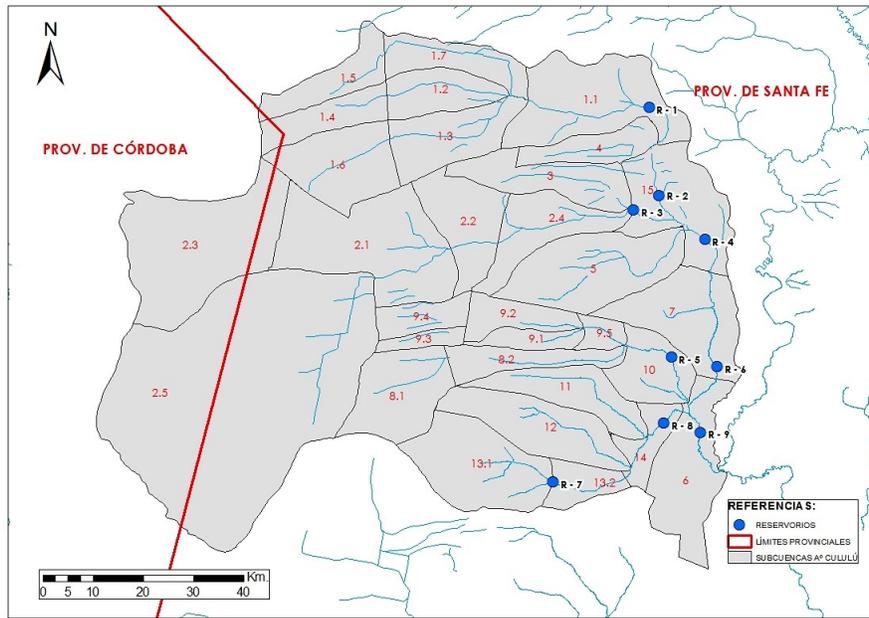


Figura 1

Ubicación de los reservorios propuestos:

Para la definición de la ubicación, en primer lugar se situaron de manera general sobre un plano con información referente a subcuencas, cursos de agua e infraestructura (Figura 2). A posteriori se precisó la ubicación de los nueve reservorios de manera más ajustada, sobre una imagen de Google Earth® (Figura 3).

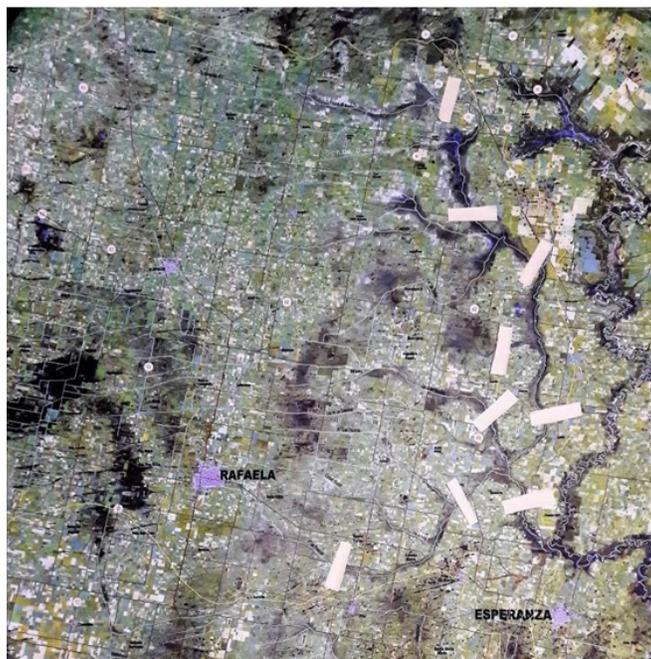


Figura 2

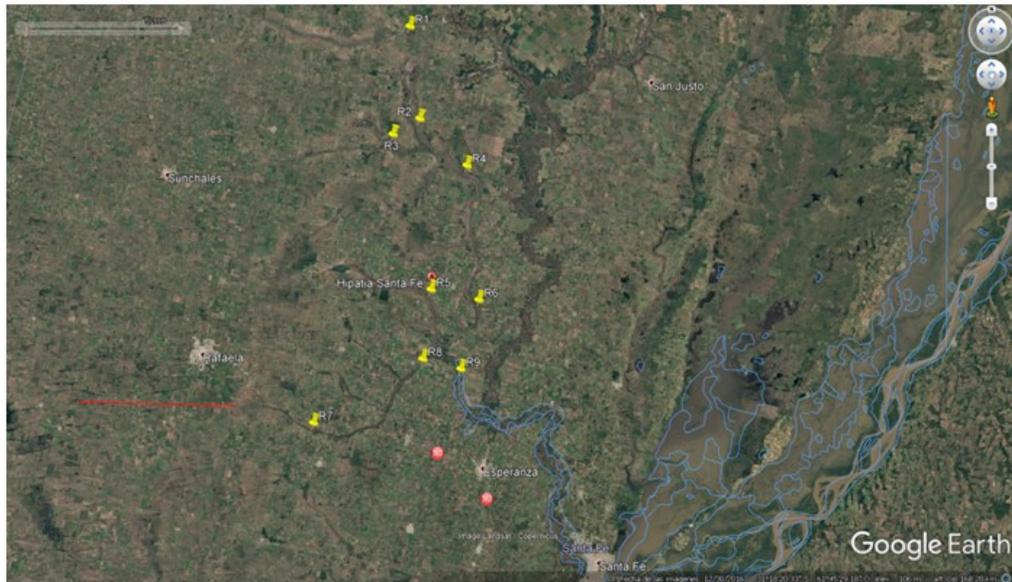


Figura 3

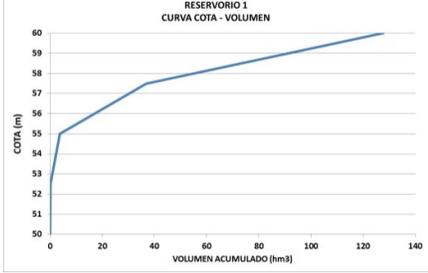
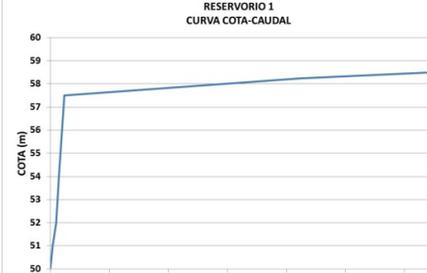
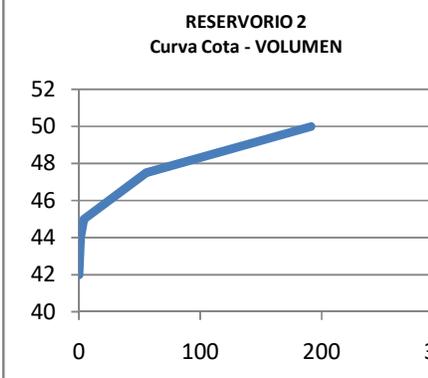
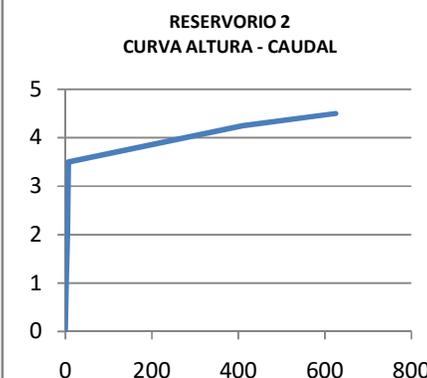
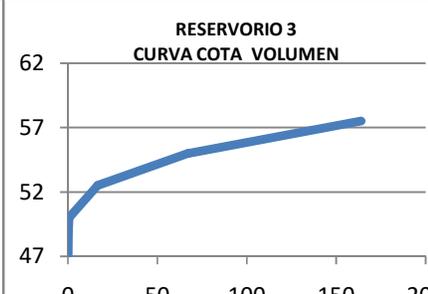
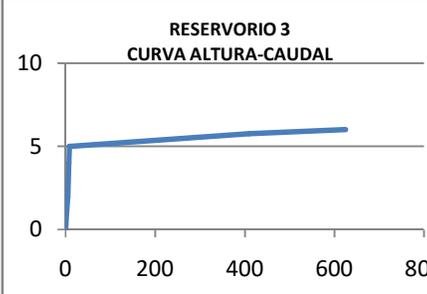
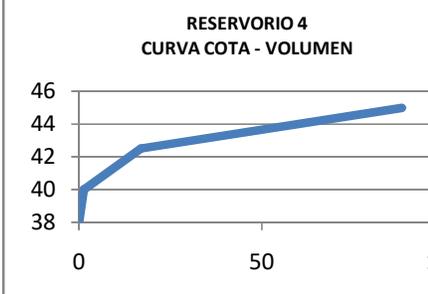
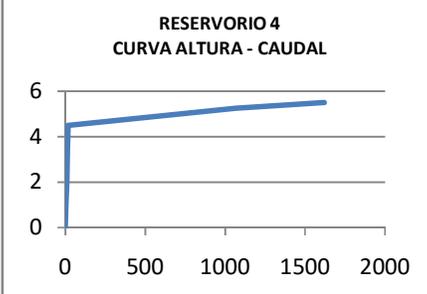
CURVAS DE COTA-VOLUMEN Y COTA-CAUDAL

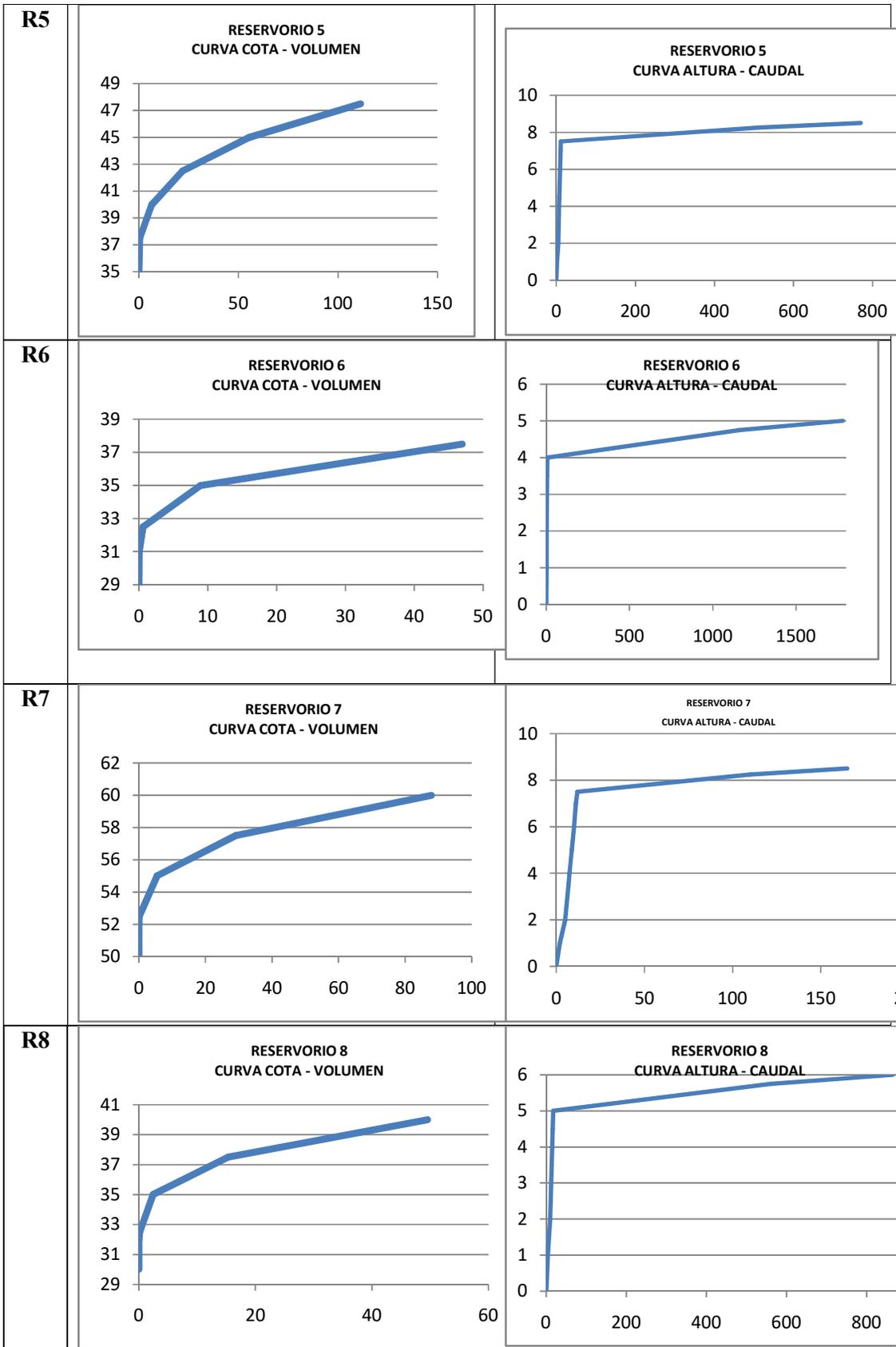
Con todas las condiciones mencionadas -habiéndose previamente obtenido las curvas altura-área con la información proveniente de las cartas topográficas-, se construyeron las curvas altura-volumen. Para obtener la curva altura-caudal se prediseñaron los órganos de descarga. El órgano principal de descarga de caudales de crecida en cada uno de los reservorios planteados es un vertedero de amplia longitud que permite la evacuación de grandes caudales, sin generar elevaciones exageradas. Se han previsto descargadores de fondo como baterías de orificios circulares de 1 m de diámetro. El prediseño efectuado para los descargadores tiene en cuenta relaciones entre el caudal base (Q_b), el caudal promedio anual (Q_{med}) y el caudal pico de recurrencia 2 años ($Q_{prec=2}$ años), obtenidos para la sección de la Ruta Provincial 50-s (Cululú), que es la única que posee registros de mayor longitud. El Q_b puede estimarse como el 30 % del caudal promedio anual, el cual a su vez es el 10 % del $Q_{pRec=2}$ años. Este último valor es conocido por las corridas de explotación del modelo calibrado en condiciones actuales. Los módulos elegidos consisten en dos, cuatro u ocho orificios de salida según el valor estimado de caudal base para las secciones correspondientes a cada reservorio. Para diseñar la cota del vertedero se tuvo presente dejar pasar el caudal de $Q_{prec=100}$ años, manteniendo una revancha general de 1m por debajo de la cota máxima, en función de diversas afectaciones, en todos los reservorios. En general, se estableció el valor de 2,5 m por debajo de la cota máxima del reservorio para fijar el umbral del vertedero. La longitud se obtuvo adoptando un vertedero modular de 20 m, el cual, para un $h=0,75$ m de carga aguas arriba, descarga 50 m³/seg. Se calculó para el caudal pico de recurrencia 50 años, dividiendo por 50 m³/seg y multiplicando por 20 m. Se estimó cual sería esa longitud, para un $h=1$ m, tal que el vertedero de 20 m deje pasar 75 m³/seg. Con este valor se dividió el caudal pico de recurrencia 100 años. Finalmente se adoptó en cada caso un valor de L (m) situado entre estos dos calculados, y que fuera múltiplo de 20 metros (así se obtuvieron los datos para la columna “Longitud de Vertedero” en la Tabla 1).

La siguiente Tabla 2 muestra las curvas obtenidas para cada reservorio. En las Curvas Cota-Volumen, las dimensiones de las cotas están en metros, además la cota informada

es la Cota del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y los volúmenes en Hm³. Por su parte en las curvas Altura-Caudal, las alturas están en m y los caudales en m³/seg.

TABLA 2. Curvas características de los RESERVIORIOS 1 a 9.

REF	CURVA COTA-VOLUMEN	CURVA ALTURA-CAUDAL
R1		
R2		
R3		
R4		



R9

