

Registro N° 2280

S.I.G.A.

Tipo de documento:

EXPEDIENTES.

Número:

00601-0020773-4.

Fecha:

21/5/04.

Iniciador/Firmante:

BERNET GUSTAVO

Extracto / Referencia:

Ampliacion al informe ANALISIS DE LOS ASPECTOS
HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS de la Crecida del Rio Salado
(Abril/Mayo 2003).

PASES:

26/5/04 Villa Uria

S.I.E. - M.O.S.P. - MESA DE ENTRADAS CENTRAL

EXPEDIENTE NUMERO: 00601-0020773-4

INICIADOR: ING VERNET GUSTAVO F

R2280

FECHA DE INICIACION: 2004/05/18

CONCEPTO

REF.AMPLIACION AL INFORME "ANALISIS DE LOS ASPECTOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL-MAYO 2003.

1

Santa Fe, 19 de mayo de 2004

Sres.
Unidad Ejecutora de Recuperación
de la Emergencia Hídrica y Pluvial

De mi consideración

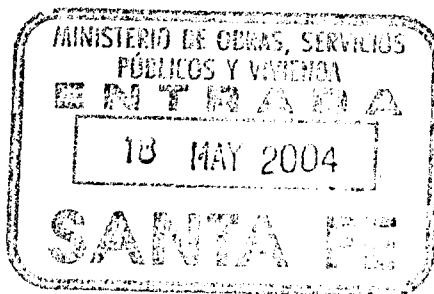
Con referencia al Contrato de Locación de Servicios suscripto con los consultores P. Bronstein, R.E. Henning, H.J. Hopwood y G. F. Vernet con fecha 10 de septiembre 2003, se presenta nota con las aclaraciones a las preguntas formuladas sobre el Informe Final para su consideración.

Esperamos con este hecho dar por concluido con las tareas solicitadas para la liberación del pago de las facturas presentadas el pasado 9 de diciembre del 2003, sin perjuicio de ello, quedamos a su entera disposición para aclarar cualquier otro concepto que surja del Informe presentado.

Sin otro particular saluda a usted atentamente.



Ing Gustavo F. Vernet



2

Ampliaciones al Informe "Análisis de los aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida del Río Salado de abril/mayo 2003" de fecha 09/dic/2003, conforme a cuestionario del Ministro de Asuntos Hídricos Agr. Alfredo A. Raparo recibido en fecha 19/mar/2003.

Pregunta 1). Puede observarse en el trabajo entregado que, más allá de las citas genéricas de los órganos o documentos de consulta efectuadas al inicio del mismo, no se especifican fuente y lugar donde se obtuvo la información en cada aspecto del trabajo en donde se arriban a conclusiones o se afirman ciertos hechos de relevancia, lo cual dificulta el trabajo de análisis y confrontación. Se entiende necesario, por tanto adicionar dichos datos faltantes.

Los antecedentes utilizados para la tarea desarrollada han sido informados detalladamente en el Capítulo 2 del Informe. Las principales fuentes de dicha documentación fueron:

- La biblioteca de la ex Dirección Provincial de Obras Hidráulicas de donde se obtuvo acceso a informes del INA (ex INCYTH) y de la Universidad del Litoral.
- Otra fuente de información principal fue la Dirección Provincial de Vialidad de donde se obtuvieron los estudios e informes referentes a las obras viales.
- Los informes del Consejo Federal de Inversiones se obtuvieron de la biblioteca del CFI.
- Los datos de lluvias diarias del período 1998 a 2003 provienen de la Dirección Provincial de Comunicaciones dependiente de la Policía de la Provincia de Santa Fe. Se obtuvieron datos climáticos de la estación experimental Rafaela del INTA.
- Otros entes que aportaron datos fueron SUPCE, Evarsa, INTA San Cristóbal, Convenio CFI – Provincia de Santa Fe.

Con respecto a las citas de cada tema en el desarrollo del trabajo se aclara a continuación, para los principales temas abordados:

La caracterización de la cuenca del río Salado se basó en las descripciones presentes en el trabajo denominado Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado, del Incyth-CRL, 1986, tal como se explicita en la página 13, 14 del correspondiente capítulo 3

Los antecedentes de los últimos canales ejecutados se obtuvieron de documentación facilitada por la Supce, y la DPOH según se cita en la página 17 y 18 del punto 3.2.1

Para la descripción del sistema de terraplenes de defensa de la ciudad de Santa Fe se contó con el Estudio hidráulico de la defensa de Santa Fe del río Salado, de Incociv, 2003 para la DPV, además de las lógicas recorridas por la zona, consulta de planos en la DPOH y conversaciones mantenidas con personal técnico de la DPOH y de DPV.

[Handwritten signatures and initials at the bottom left]

Las obras de arte y demás obras fueron descriptas según lo hallado en los planos según obra consultados, planos de proyecto, visita y vuelos realizados en la zona

Para el análisis del uso y ocupación del suelo se utilizaron las imágenes satelitales **detalladas en la pag 23** y la ya citada Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado, del Incyth-CRL, 1986.

Los datos de temperaturas fueron extraídos de datos de la FAO, y del INTA, como se **indica en la pag 25**.

Los datos de evaporación y evapotranspiración, según **se indica en el informe en la pag 26**, surgen de la Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado, del Incyth-CRL, del año 1986.

Los datos de humedad relativa se obtuvieron del INTA Reconquista según **se indica en el informe en la pag 28**.

Para los datos de vientos, **se indicó en el informe en la pag 29** que las fuentes originales de datos son señaladas en el Estudio hidráulico de la defensa de Santa Fe del río Salado, de Incociv, 2003 para la DPV.

Para las precipitaciones, **se menciona en el informe en las páginas 30 y 41** la utilización de valiosos antecedentes como el de Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado, del Incyth-CRL, 1986.

Los datos de San Justo y Fortín Olmos son de Evarsa, proporcionados por la DPOH. Los datos de precipitaciones mensuales, anteriores a 1998 fueron proporcionados por la DPOH, disponibles por un convenio CFI-Prov. Santa Fe, los posteriores a 1998, como **se indica en el estudio en la pag. 40**, se generaron a partir de datos diarios que proveyó la DPOH y se originan en la Dirección de Comunicaciones.

Además, las precipitaciones diarias de otros períodos, reconocen otros orígenes, tales como convenio CFI-Pcia. Santa Fe, INTA.

Los planos de isohietas del período marzo-abril 2003 fueron elaborados a partir de las precipitaciones diarias provistas por la DPOH, **como se cita en la pag 42**.

Los niveles hidrométricos del río Salado se obtuvieron de la información de Evarsa y del Inali proporcionada por la DPOH, y los del río Paraná a través de registros originarios de la DNVN, **como se indica en la pag. 45**. Para la interacción entre estas dos ultimas escalas se analizo el informe del INA – UNL que **se cita en la pag. 46**

Para la serie histórica de caudales, **se indica en el informe en la pag.47** que los caudales medios diarios se obtuvieron de la caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado, del Incyth-CRL, 1986 y de la información de Evarsa (**como se expresa en la pag 48 del informe**), facilitada por la DPOH. También **se menciona en el informe el empleo de datos del anuario del Incyth CRL en la página 48**

1/24/18 H GP

Las referencias de los datos utilizados se repiten en las páginas 49, 50, 51, 52, 53, 54 y 55.

Con respecto a las estadísticas de lluvias y caudales, **se indica en el informe en la pág 54** que la información analizada corresponde a la Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado, del Incyth-CRL, 1986, y **en la pág. 56** se indica que se efectuaron análisis similares a los existentes incorporando los períodos hasta 2003.

También **se indica en la pág 58** que para la duración o permanencia de caudales medios mensuales se utilizaron los valores de las tablas de Evarsa.

Por otra parte **se indican todas las fuentes de manera específica en el punto 4.2.3.2.7 (pag. 59 a 62)** referido a recurrencia de valores extremos diarios.

En el análisis de las recurrencias combinadas del río Paraná y el río Salado **se hace referencia en las páginas 63, 64 y 65** a las consideraciones ya efectuadas en el Estudio hidráulico de la Defensa de Santa Fe del río Salado, de Incociv, 2003 para la DPV y en el estudio del INA-UNL para la nueva conexión vial Santa Fe-Santo Tomé

En el capítulo 4.3 de cambio climático, por su importancia en relación al evento de 2003, se presentó un extenso listado bibliográfico **en las páginas 88 a 90, de las referencias citadas en el texto.**

Para la caracterización geomorfológica e hidrogeológica se han utilizado los siguientes antecedentes, **según se indica en el informe en las páginas 105 y 106:** Caracterización Hidrológica de la Cuenca del río Salado. CRL INCYTH. – Actas del Coloquio de Olavarría “Hidrología de las Grandes Llanuras “1983. - Benavides R. Características Sedimentológicas y edafológicas generales de la cuenca inferior del Río Salado CRL INCYTH 1980 y Comportamiento de niveles freáticos en zonas rurales, cuenca inferior del río Salado (Santa Fe). Ferreira, Farías, Rodríguez. Centro de estudios Hidro-Ambientales (CENEHA-FICH) y Caracterización Hidrológica de la cuenca del río Salado CRL – INCYTH.

Para el análisis comparativo de antecedentes de crecidas, **se indica en el informe que se utilizaron los estudios ya indicados y se hace alusión específica en la pág 107** a la Caracterización Hidrológica de la cuenca del río Salado CRL – INCYTH.

Para la situación climática previa al evento del 2003 **se indica en el informe en la pág 112** que lo expresado se basa en la imagen satelital utilizada es de la CONAE.

Para el análisis del evento del 2003, los niveles hidrométricos y caudales del río Salado se obtuvieron de la información de Evarsa y del Inali proporcionada por la DPOH, y los del río Paraná a través de registros originarios de la DNVN, **tal como fueron indicados cuando se presentaron dichos temas previamente.**

Para la modelación hidrodinámica, en el informe, **al final del cap 7.1 (pag.132)** se incluye un listado bibliográfico que sirve de apoyo a la modelación utilizada.

[Handwritten signatures and initials]

5

Además, para el funcionamiento de las obras según los antecedentes **se citan en el informe en la pág 137**, fuentes periodísticas y datos de EVARSA, INA, DPOH y la FICH **citados en la pág 138**

Para el análisis de riesgos y previsibilidad del fenómeno del año 2003, a lo largo de este capítulo se hace referencia a la bibliografía utilizada, **la que ya se presentó en el análisis del cambio climático en las páginas 88 a 90.**

Para los estudios y mapas de riesgo de inundaciones antecedentes, **en el informe se hace referencia en la pág 150** a un trabajo del CFI-INA, de marzo de 1992.

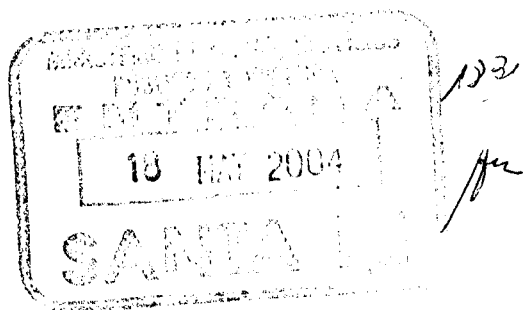
Para el análisis de los pronósticos emitidos **en las páginas 152 y 154 del informe** se aclara que se analizan los textos emitidos por el sistema de alerta hidrológico del INA, así como el pronóstico del SMN y del INTA.

Para el análisis de eventos similares en otras grandes ciudades, **en el informe se citan las fuentes** que comentan eventos catastróficos en otras grandes ciudades del mundo.

Pregunta 2). En la página 150 del Informe se alude a una serie de “Obras de defensa que estaban proyectadas y aprobadas hace aproximadamente tres años”. Se entiende necesaria la indicación de cuales son dichas obras y quienes fueron sus autores.

Lo expuesto en la página 150 del Informe es un ejemplo de las decisiones a tomar en la gestión en cuanto a las obras de defensa, particularizando en el caso de Santa Fe, en primera instancia y de como se había realizado el proyecto de las obras de defensa dividido en tres tramos, habiéndose ejecutado los Tramos 1 y 2.

El tema motivo de la pregunta está abordado en el Informe en el Punto 3.2.2 (página 18), de donde se extrae el siguiente cuadro resumen:



6

Tramo	Año de ejecución	Desarrollo	Traza	Cota Coronamiento
1	1994-1998	Puente Carretero Santa Fe-Santo Tomé (RN11) a Au. Rosario Santa Fe	Remodelación del terraplén Irigoyen	16.60 m IGM a 16.80 m IGM (Tiene un muro deflector de olas que llega a 17.50 m IGM)
2	1994-1998	Autopista Rosario Santa Fe a Calle Gorostiaga Hipódromo Las Flores	Traza nueva	17.25 m IGM a 17.45 m IGM
3	Sin ejecutar	Hipódromo Las Flores a Recreo (19 km)	Avenida de Circunvalación Oeste y Acceso Norte	17.75 m IGM en terraplén de 2250 m

El tendido inicial del Tramo 3 de Avenida de Circunvalación Oeste y Acceso Norte, de una longitud algo menor a 1000 m es el lugar por donde se verificó el ingreso de agua en el evento del año 2003 se encontraba con la defensa provisoria que había soportado la crecida del año 1998. Las Fotos 1 y 2 del Anexo Fotográfico muestran esta zona de la defensa oeste.

El Tramo 3 de Avenida de Circunvalación Oeste y Acceso Norte, cuenta con un anteproyecto avanzado desde el año 2001. Se han encarado y están en curso los estudios requeridos para generar un nuevo proyecto de defensa contra inundaciones a partir de nuevos parámetros de diseño definidos a la luz de las nuevas condiciones que han ocurrido.

Estos estudios a los que se hace referencia en este último párrafo son:

Tramo 3 de Avenida de Circunvalación Oeste y Acceso Norte de Incociv, 2001 y 2002 para la DPV

Pregunta 3). En la misma página 150 se hace referencia a “tramos restantes que completan el anillo de cierre”. Se entiende necesaria la indicación de a qué proyecto de anillo de cierre se refiere y en tal caso, explicitar sus autores y a quién pertenece, como así también el grado de cobertura que adjudica a ese “anillo de cierre”.

Las obras a que se hace referencia se mencionan en :

Tramo 3 de Avenida de Circunvalación Oeste y Acceso Norte de Incociv, 2001 y 2002 para la DPV

Handwritten signatures and initials: *AM*, *VF*, *H*, *GI*

7

Estudio Hidráulico de la Defensa de Santa Fe del río Salado, de Incociv, 2003
para la DPV

Asimismo, en el citado estudio de 2003 se describe de la siguiente manera el historial del límite oeste de la ciudad de Santa Fe, aludiendo a un tramo de defensa hasta alcanzar las cotas altas y continuando como una obra solamente vial:

“Las defensas de Santa Fe contra el río Salado comenzaron con la construcción del viejo terraplén Irigoyen desde el Puente Carretero hasta el FFCC Gral. Belgrano aguas abajo de la autopista, y luego continuó con la defensa paralela a la Avenida de Circunvalación que se terminó hacia fines de 1997, llegando hasta el muro del Hipódromo. Esta intervención determinó una importante reducción del valle de inundación del río Salado, de unos 500 a 1000 m, y tenía prevista su continuación con el tramo III de la circunvalación, por unos 2250m hacia el noroeste, donde se encontraba con cotas altas del terreno. Desde allí en adelante el tramo III de la Circunvalación y Acceso Norte a Santa Fe seguía hacia el norte cruzando la Ruta 70 y terminaba en la Ruta 11 al norte de Recreo, pero estaba concebido únicamente como proyecto vial.”

En el estudio de 2003 también se habla de un sistema de defensa previsto, tal cual se aprecia en el párrafo siguiente:

*Como la creciente de abril-mayo 2003 (primer valor máximo de la serie histórica de registros) superó las necesidades de protección previstas inundando la zona de Recreo, además de inundar la ciudad de Santa Fe al **ingresar por el tramo sin defensa**, esta debe rediseñarse no sólo para caudales superiores a los de esta crecida, sino que debe extenderse hasta cubrir la ciudad de Recreo, transformando el Acceso Norte a Santa Fe en un camino-defensa en toda su extensión.*

Esto implica redefinir las condiciones de diseño de la obra vial Tramo 3 de Avenida de Circunvalación Oeste y Acceso Norte previamente definida a la inundación de abril-mayo 2003, aunque no construida., convirtiéndola en una defensa contra inundaciones.

Pregunta 4). Sobre la base de la información anterior y en particular con relación a lo mencionado en el párrafo 5 en la página 167 del Informe en el que se alude a un “tercer tramo de defensa oeste”, se entiende necesaria la precisión respecto de que si – conforme al proyecto en cuanto a características de diseño, cotas, trazas, desagües y otros aspectos relevantes- puede considerarse técnica y principalmente una obra de defensa contra inundaciones.

[Handwritten signatures]

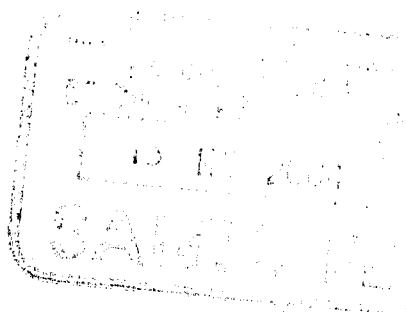
Se hace referencia al -Estudio Hidráulico de la Defensa de Santa Fe del río Salado, de Incociv, 2003 para la DPV donde se menciona la obra desde un punto de vista de defensa y vial. Dice que :

En cuanto a la continuación de la defensa se introdujeron las restricciones al flujo que producirá la construcción del tramo III de la misma, y se consideró su continuación en la zona norte de Recreo, hasta una zona alta del terreno al sur de Candiotti para evitar la derivación de caudales hacia la Laguna Setúbal con los desbordes del Salado de la Ruta 11. Por lo tanto, en la nueva configuración de diseño todos los caudales del Salado llegan hasta su desembocadura, sin producirse pérdidas.

Se considera que los terraplenes de obras viales frecuentemente tienen una doble función o efecto, como vía de comunicación y como terraplén o endicamiento. En el caso de las obras referidas se indica claramente que dentro de la planicie de inundación del río Salado se contemplaron las funciones de defensa de las mismas.

Pregunta 5). Sobre la base de la documentación e información obrante y teniendo en cuenta la topografía, límites de la ciudad de Santa Fe y accesos de aguas por la zona norte de la misma durante la ocurrencia del fenómeno, se entiende necesario se precisen los alcances de la afirmación realizada en orden a que "...si hubiera estado ejecutado el tercer tramo de la defensa Oeste que se encontraba proyectado, se hubiera evitado el ingreso de agua a la ciudad de Santa Fé" pag 167.

Conforme a la pregunta una mejor redacción sería la siguiente "...de haber estado construido el tercer tramo de la *Avenida de Circunvalación Oeste y Acceso Norte (19Km)*, de acuerdo a sus originales características, el impacto del extraordinario y súbito fenómeno se hubiera visto atenuado, en lo que refiere a la inundación del sector oeste de la ciudad, aunque no hubiese evitado totalmente el ingreso localizado de aguas del Río Salado."





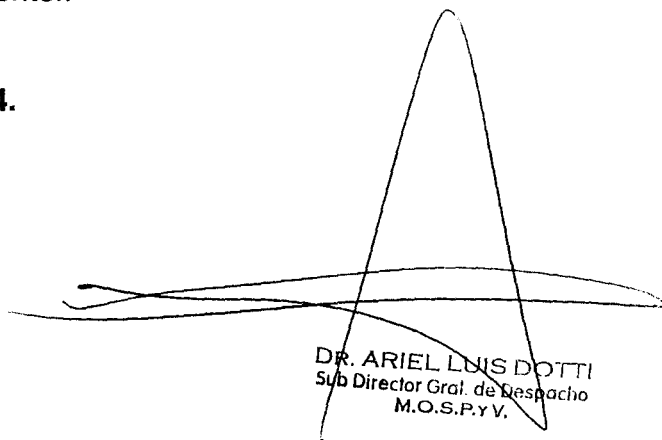
Provincia de Santa Fe
Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda



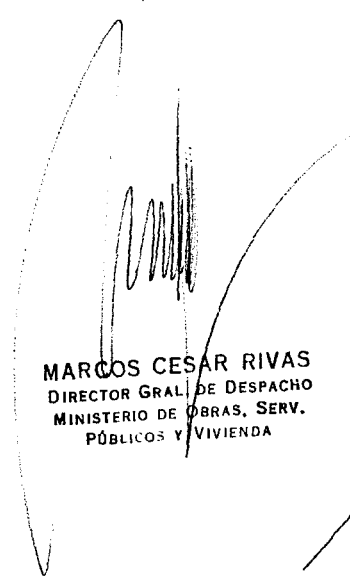
Atento a la ampliación de información suministrada por el Consultor Ing. Gustavo F. Vernet, en referencia al contrato de locación de servicios para el "Análisis de los Aspectos Hidrológicos e Hidráulicos de la crecida del Río Salado de abril /mayo/03", elévense los autos al **Ministerio de Asuntos Hídricos** para agregarse a sus antecedentes y posterior trámite conjunto.

Atentamente..

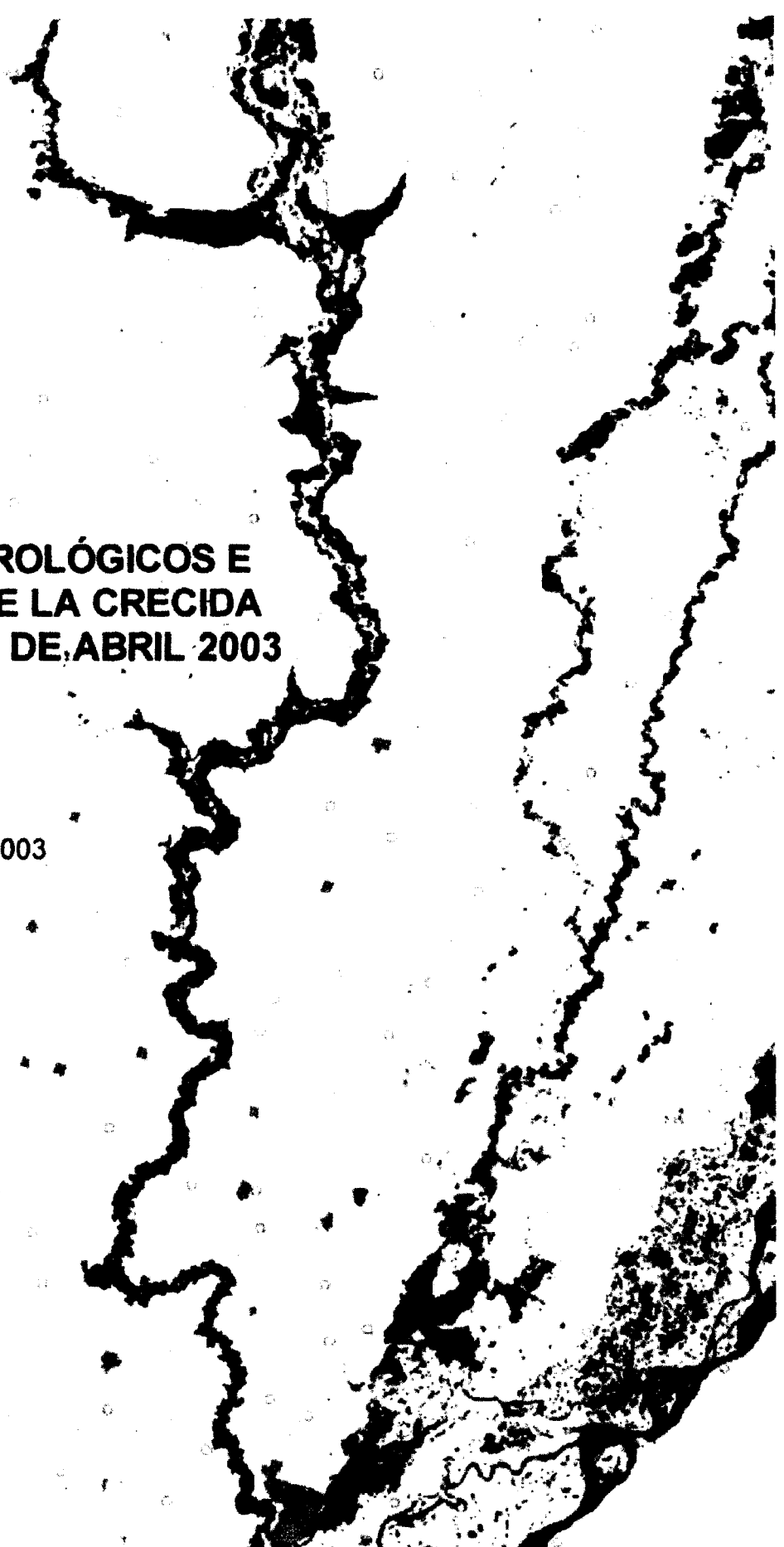
SANTA FE, 19 de Mayo de 2.004.



DR. ARIEL LUIS DOTTI
Sub Director Gral. de Despacho
M.O.S.P.Y.V.



MARCOS CESAR RIVAS
DIRECTOR GRAL. DE DESPACHO
MINISTERIO DE OBRAS, SERV.
PÚBLICOS Y VIVIENDA



UEREHP

**ASPECTOS HIDROLÓGICOS E
HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA
DEL RÍO SALADO DE ABRIL 2003**

Diciembre 2003

Consultores P.Bronstein, R.E.Henning, H.J.Hopwood, G.F. Vernet

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 1

**ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS
DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO
DE ABRIL / MAYO DE 2003
INFORME FINAL**

INDICE

1.- OBJETIVO	4
2.- RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES.....	5
3.- CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	12
3.1.- DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RIO SALADO	12
3.2.- INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	17
3.2.1.- Canales	17
3.2.2.- Terraplenes y obras de control de crecidas	18
3.2.3.- Obras de arte.....	19
3.2.4.- Redes viales.....	22
3.2.5.- Redes férreas.....	22
3.3.- USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO	23
4.- CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA e HIDROLÓGICA DE LA ZONA.....	25
4.1.- CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	25
4.1.1 Temperaturas	25
4.1.2 Evapotranspiración y Evaporación.....	26
4.1.2.1 Evapotranspiración potencial	26
4.1.2.2 Evaporación	27
4.1.3 Humedad relativa.....	28
4.1.4 Vientos.....	29
4.1.4.1 Clima general de vientos.....	29
4.1.4.2. Vientos Máximos.....	29
4.1.5 Precipitaciones	30
4.1.5.1. Estudios anteriores.....	30
4.1.5.2. Precipitaciones mensuales.....	33
4.1.6 Distribución espacial de lluvias	41
4.1.6.1 Isohietas anuales medias.....	41
4.1.6.2 Isohietas anuales de años húmedos	41
4.1.6.3 Isohietas del evento de 2003.....	42
4.2.- CARACTERIZACIÓN HIDROLOGICA DE LA ZONA.....	44
4.2.1 Series históricas de niveles.....	44
4.2.1.1 Alturas diarias del río Salado en la Ruta Provincial 70	44
4.2.1.2. Alturas diarias del río Salado en Ea. Menchaca	44
4.2.1.3. Alturas diarias del Ao. Golondrina en Fortín Olmos.....	45
4.2.1.4 Niveles del río Paraná.....	45
4.2.1.5. Alturas del río Salado en la estación INALI	46
4.2.2 Series históricas de caudales	47
4.2.2.1. Caudales medios diarios del río Salado en R.P.70 - Estación Esperanza	47
4.2.2.2 Caudales medios mensuales del río Salado en la Ruta Provincial 70	48
4.2.2.3 Caudales diarios del río Salado en San Justo.....	49
4.2.2.4. Caudales del río Salado en Tostado (ruta provincial 4)	49

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 2

4.2.2.5. Arroyo Las Conchas en Estación La Cabral	50
4.2.2.6. Arroyo San Antonio en Estación Petronila.....	51
4.2.2.7. Arroyo Cululú en Estación Cululú	52
4.2.2.8. Aforos y leyes altura-caudal	52
4.2.3. Estadísticas de lluvias y caudales.....	54
4.2.3.1. Estadísticas de precipitaciones según estudios antecedentes.....	54
4.2.3.1.2. Ampliación del análisis con nuevos datos.....	56
4.2.3.1.2.1. Precipitaciones anuales.....	56
4.2.3.1.2.2. Precipitaciones del bimestre marzo-abril	56
4.2.3.2. Estadísticas de caudales.....	57
4.2.3.2.2. Duración de caudales medios diarios en RP 70 Esperanza.....	59
4.2.3.2.3. Duración de caudales medios diarios en el río Salado en Tostado.....	59
4.2.3.2.4. Duración de caudales medios diarios en el Arroyo Las Conchas (La Cabral)	59
4.2.3.2.5. Duración de caudales medios diarios en el Arroyo San Antonio (Petronila).....	59
4.2.3.2.6. Duración de caudales medios diarios en el Arroyo Cululú (Cululú).....	59
4.2.4. Condiciones medias y eventos históricos.....	62
4.2.4.1. Precipitaciones.....	62
4.2.4.2. Caudales.....	63
4.2.5. Recurrencias combinadas del río Paraná y del río Salado.....	63
4.2.5.1. Recurrencia de niveles del río Paraná.....	63
4.2.5.2. Recurrencia de niveles mínimos del río Paraná en Puerto Santa Fe.....	65
4.2.5.3. Influencia entre el río Paraná y el río Salado.....	65
4.3. EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMATICO.....	66
4.3.1. El cambio climático como fenómeno global.....	66
4.3.1.1. ¿De que se trata?.....	66
4.3.1.2. ¿Qué está sucediendo?	68
4.3.1.3. El futuro.....	69
4.3.1.4. Impactos esperados.....	70
4.3.1.5. ¿Qué se puede o debería hacer?.....	71
4.3.1.6. Intereses y respuestas	72
4.3.2. Las tendencias climáticas en Argentina	73
4.3.2.1. La temperatura.....	73
4.3.2.2. Las precipitaciones medias	73
4.3.2.3. Las precipitaciones extremas	75
4.3.2.4. Características de las precipitaciones extremas.....	75
4.3.3. Consecuencias hidrológicas de los cambios de la precipitación.....	77
4.3.3.1. Humedad en suelo	77
4.3.3.2. Caudales medios	77
4.3.3.3. Crecidas.....	79
4.3.3.4. Inundaciones de llanura	81
4.3.4. Cambios de la precipitación en la Argentina	82
4.3.4.1. Dificultad para la atribución de los cambios climáticos regionales.....	82
4.3.4.2. Cambios climáticos simultáneos.....	83
4.3.4.3. Aumento de la temperatura antártica.....	83
4.3.4.4. El Niño	84
4.3.4.5. Variaciones decadales del Niño	84
4.3.4.6. La temperatura del mar.....	85
4.3.4.8. Conclusiones de los cambios de precipitaciones.....	85

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 3

4.3.4.9 Prospectiva de los cambios de precipitaciones	86
5.- CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICA e HIDROGEOLOGICA ZONAL.....	91
5.1.- CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICA DE LA ZONA	91
5.1.1.- Elementos geomorfológicos de origen hídrico	92
5.1.2.- Elementos geomorfológicos de origen estructural.....	98
5.1.3.- Elementos geomorfológicos de origen eólico.....	100
5.1.4.- Elementos geomorfológicos de origen edáfico.....	101
5.1.5.- Unidades geomorfológicas	101
5.2.- CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA DE LA ZONA.....	105
6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ANTECEDENTES DE LAS CRECIDAS.....	107
6.1.- ANTECEDENTES DE CRECIDAS	107
6.2.- NIVELES LÍQUIDOS EN CRECIDAS ANTECEDENTES DEL RIO SALADO	109
6.2.1. Alturas en las crecidas previas del río Salado.....	109
6.2.2. Alturas del río Paraná durante las crecidas previas del río Salado.....	109
6.2.3. Aforos durante la crecida de 1998	110
6.3.- SITUACIÓN CLIMÁTICA PREVIA AL EVENTO DEL 2003.....	111
6.4 EL EVENTO DEL 2003.....	113
6.4.1. Comparación con las crecidas históricas	113
6.4.1.1 Alturas en las crecidas del río Salado.....	113
6.4.1.2 Alturas del río Paraná durante las crecidas del río Salado	114
6.4.1.3. Caudales en las crecidas del río Salado.....	115
6.4.2 Aforos en la crecida del año 2003.....	116
7 MODELACION DE LA CRECIDA DEL AÑO 2003	117
7.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDRODINAMICO.....	117
7.2 MODELO DEL RIO SALADO.....	133
8. FUNCIONAMIENTO DE LAS OBRAS DURANTE LA CRECIDA DEL 2003	136
8.1 FUNCIONAMIENTO DE LAS OBRAS SEGÚN LOS ANTECEDENTES	137
9. ANÁLISIS DE RIESGOS Y PREVISIBILIDAD DEL FENÓMENO DE AÑO 2003.....	141
9.1. ESTADO DEL CONOCIMIENTO A PRINCIPIOS DE 2003.....	141
9.1.1 Campos medios de la precipitación.....	141
9.1.2 Eventos extraordinarios.....	141
9.1.3 Hidrología.....	142
9.1.4 Falta de herramientas técnicas	143
9.1.5 La demora en la adecuación al cambio climático observado.....	143
9.1.6 El insuficiente conocimiento científico	144
9.1.7 El proceso del establecimiento del conocimiento científico.....	144
9.1.8 El proceso de difusión.....	145
9.1.9. La falta de material de referencia	146
9.1.10 El punto de vista de la comunidad profesional.....	147
9.1.11 El punto de vista del tomador de decisión.....	149
9.2. ESTUDIOS Y MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIONES ANTECEDENTES.....	150
9.3 ANALISIS DE PRONOSTICOS EMITIDOS	152
10. ANALISIS DE EVENTOS SIMILARES EN OTRAS GRANDES CIUDADES	155
11. ANALISIS DE LA TOMA DE DECISIONES.....	163
12. CONCLUSIONES.....	166
Consideraciones finales: El caso Santa Fe como punto de inflexión	168

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 4
---	--	--

ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL / MAYO DE 2003

INFORME FINAL

1.- OBJETIVO

El objetivo general del trabajo es la elaboración de un informe técnico referido a los aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida del río Salado de abril de 2003, que produjo la inundación de un sector de la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas, incluyendo la consideración de las obras existentes durante la crecida y las obras previstas con anterioridad a ella.

El informe está construido sobre la base fáctica de datos oficiales no controvertidos de lluvias, caudales, alturas hidrométricas y configuración, características y antecedentes de las obras de drenaje, de defensa y de vías de comunicación de interés para el análisis de los escurrimientos del río Salado.

Los objetivos particulares, para cumplir adecuadamente el objetivo general antes planteado, cubren los siguientes aspectos:

- La caracterización hidrometeorológica de la cuenca inferior del río Salado.
- La caracterización del clima con un análisis estadístico de parámetros para evaluar un cambio climático en la cuenca del río Salado
- La simulación computacional y el análisis de las condiciones hídricas en la cuenca inferior del río Salado, para el evento de abril – mayo 2003.
- El análisis de las obras existentes que han interactuado durante la crecida, y de las obras previstas con anterioridad al evento en estudio.
- El análisis de los riesgos y / o de la recurrencia de la conjunción de factores en las cuales se desarrolló el evento en estudio, con una evaluación de las previsiones para distintos niveles de riesgo, sobre la base de los análisis estadísticos, las simulaciones hidrológicas e hidrodinámicas.
- El análisis de los pronósticos emitidos por entes oficiales en el período enero a abril 2003.
- El análisis de la toma de decisiones realizada durante el evento teniendo en cuenta su desarrollo.

La metodología empleada para el desarrollo del trabajo ha requerido coordinar y realizar una serie de tareas que se detallan a continuación para poder cumplir los objetivos previamente enunciados.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 5

2.- RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

La información necesaria, para la realización del trabajo encomendado, se encontró distribuida en diferentes organismos oficiales, entre los que merecen destacarse:

- ✓ Instituto Geográfico Militar.
- ✓ Dirección Provincial de Obras Hidráulicas, D.P.O.H.
- ✓ Servicio Meteorológico Nacional
- ✓ I.N.A. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente.
- ✓ I.N.T.A. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- ✓ Subsecretaría de Recursos Hídricos - EVARSA .
- ✓ Dirección Nacional de Vialidad.
- ✓ Dirección Provincial de Vialidad
- ✓ Dirección Provincial de Rentas y Catastro.
- ✓ CFI – Consejo Federal de Inversiones.
- ✓ F.I.C.H. – Fac. de ingeniería y Ciencias Hídricas – U.N.L.

A fin de caracterizar desde un punto de vista físico a la zona de trabajo se recopilaron datos relacionados con los siguientes aspectos: topografía, imágenes satelitales, aforos de caudales y niveles de los cursos, geomorfología e hidrogeología, suelos y clima.

También ha sido recopilada información adicional, tal como: datos de ocupación, uso del suelo, infraestructura existente, terraplenes y sus correspondientes obras de arte, u otras obras que puedan condicionar el escurrimiento de las aguas.

Los datos recopilados se resumen en las tablas siguientes, separados en forma temática:

TABLA 2.1 IMAGENES SATELITALES				
LISTADO DE LA CONEA			LISTADO DEL IGM	
Fecha	Columna	Fila	Localidad	Carta
15-Abr-03	227	82	Santa Fe	3160-3
25-Ene-03	227	82	San Justo	3160-1
09-Ene-03	227	82	Ceres	2963-4
15-Abr-03	227	81	Añatuya	2963-2
25-Ene-03	227	81	Sunchales	3163-2
09-Ene-03	227	81	San Francisco	3163-4
15-Jun-03	227	81	Vera	2960-3
19-Nov-01	227	80	Intiyaco	2960-1
15-Jun-02	227	80		
19-Ene-98	227	81		
20-Feb-98	227	81		
09-Abr-98	227	81		

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 6
---	--	--

TABLA 2.2 CARTOGRAFIA IGM UTILIZADA

Carta IGM 50000	Aguara Grande jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Ambrosetti jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Angelica tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Arrufo jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Capivara jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Cayastacito jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Clucellas tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Col. Portugaleta jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Colonia La Camila jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Colonia San Pedro tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Constanza tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Egusquiza tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Elisa jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Esperanza tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Est. La Prusia jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Estación Clara tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Estación Luxardo tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Eusebia tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Felicia tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Hercilia jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Huanqueros jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Humberto tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Humboldt tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Jacinto Araoz tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	La Pelada tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	La Penca jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Lag. Palos Negros jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Laguna Blanca jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Las Palmeras tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Lehmann tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	María Eugenia jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Moisesville tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Monigotes jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Nanducita jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Nelson tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Palacios tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Petronila jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Pilar tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Progreso tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Providencia tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Rafaela tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Ramona tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Recreo jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Reynaldo Cullen jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Sa Pereira tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	San Antonio tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	San Cristobal jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	San Francisco tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	San Guillermo jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	San Jerónimo tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	San Justo jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Santa Clara tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Santo Tome tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Sarmiento tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Soledad tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Suardi tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Sunchales tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Videla jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Vila tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Villa Trinidad jpg	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Zenon Pereira tif	IGM - DPH
Carta IGM 50000	Ceres	IGM
Carta IGM 50000	Vera	IGM
Carta IGM 50000	San Justo	IGM
Cartas IGM 250000	Santa Fe	IGM

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 7

TABLA 2.3 AFOROS - CAUDALES Y ALTURAS HIDROMÉTRICAS

LISTADO DE AFOROS DISPONIBLES							
RIO	ESTACION	Fuente	Inicio	Final	Cantidad		
Salado	Ruta Prov. 70	EVARSA	11/10/90	30/06/03	75		
Salado y afluentes	Varias-Monitoreo crecida 98	DPH	01/02/98	31/06/1998	23		
LISTADO DE DATOS DE CAUDALES DISPONIBLES							
RIO	ESTACION	Fuente	Inicio	Final	Diaria	Mensual	Anual
Salado	R.Prov. 70	EVARSA	01/01/54	31/08/03		xx	
Salado	R.Prov. 70	EVARSA	01/01/54	31/08/03	xx		
Salado	R.Prov. 70	DPOH	01/01/73	31/12/73	xx		
Salado	R.Prov. 70	DPOH	01/01/98	31/12/98	xx		
Salado	R.Prov. 70	DPOH	01/01/03	12/06/03	xx		
LISTADO DE DATOS DE ALTURAS HIDROMÉTRICAS DISPONIBLES							
RIO	Estación	Fuente	Inicio	Final	Diaria	Observaciones	
Salado	Ea. Menchaca	EVARSA	04/02/92	30/11/97	xx		
Golondrina	Fortín Olmos	EVARSA	01/08/55	30/06/03	xx	Algunos period.falta	
Salado	R.Prov. 70	EVARSA	01/03/52	30/06/03	xx		
Salado		INALI	01/01/73	31/12/73	xx		
Salado		INALI	01/01/98	31/12/98	xx		
Salado		INALI	01/01/03	12/06/03	xx		
Paraná	Puerto Santa Fe	DPOH	01/01/73	31/12/73	xx		
Paraná	Puerto Santa Fe	DPOH	01/01/98	31/12/98	xx		
Paraná	Puerto Santa Fe	DPOH	01/01/03	12/06/03	xx		
Salado	R.Prov. 70	DPOH	01/01/73	31/12/73	xx		
Salado	R.Prov. 70	DPOH	01/01/98	31/12/98	xx		
Salado	R.Prov. 70	DPOH	01/01/03	12/06/03	xx		
Salado	INALI	EVARSA	01/01/73	30/10/03	xx		

TABLA 2.4 DATOS DE PRECIPITACION DISPONIBLES

Estación	Departa.	Fuente	Inicio	Final	Diaria	Mensual	Anual
San Justo Saladillos		EVARSA	01/07/81	30/06/03		xx	
Fortín Olmos Golondri.		EVARSA	01/01/73	30/06/03		xx	
	San Cristóbal	Dir.Comun.	01/01/98	31/05/03	xx		
	9 de Julio	Dir.Comun.	01/01/98	31/05/03	xx		
	Vera	Dir.Comun.	01/01/98	31/05/03	xx		
	San Justo	Dir.Comun.	01/01/98	31/05/03	xx		
	Castellanos	Dir.Comun.	01/01/98	31/05/03	xx		
	Las Colonias	Dir.Comun.	01/01/98	31/05/03	xx		
	La Capital	Dir.Comun.	01/01/98	31/05/03	xx		
Campo Garay		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Tostado		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Morteros		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Suardi		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Ceres		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
V. Trinidad		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Sebia		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
La Cabral		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE					DOC.: SSF-IF-01-0	
	ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003					FECHA: 09 / 12 / 03	
	INFORME FINAL					Página N°: 8	

Pilar		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Humberto I		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Sunchales		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
V. Saralegui		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
San Cristobal		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Rafaela		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Esperanza		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Cayastacito		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
San Justo		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Gdor. Crespo		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Calchaquí		INCYTH	1921	1982		Prom.	Prom.
Venado Tuerto			1951	2000		xx	
Casilda Arg.			1910	1974		xx	
Casilda Pluv.Aeg.			1901	1988		xx	
Rosario Aero Arg.			1910	2003		xx	
El Trebol			1951	2000		xx	
Sauce Viejo Aero			1951	2000		xx	
Esperanza Arg.			1901	1967		xx	
Rafaela Pluv. Arg.			1902	1992		xx	
Ceres Aero Arg.			1900	2003		xx	
Reconquista Aero Arg.			1916	2003		xx	
San Carlos	Las Colonias	Min Agric.	01/01/44	31/12/76	xx		
Fortín Olmos	Vera	MOP-DPOH	01/10/68	31/12/74	xx		
Fortín Olmos	Vera	Min Agric.	01/01/75	30/06/82	xx		
San Enrique	9 de julio	MOP-DPOH	01/10/69	31/12/71	xx		
San Enrique	9 de julio	Min Agric.	01/01/72	30/06/82	xx		
ColAngeloni-LasTere.	San Justo	MOP-DPOH	01/06/69	31/05/86	xx		
Capivara	San Cristobal	MOP-DPOH	01/07/67	30/04/77	xx		
Calchaquí	Vera	convcfi	1947	1992	xx		
Las avispas	San Cristóbal	Convcfi	1947	1990	xx		
Tostado	9 de julio	Convcfi	1937	1992	xx		
Vera	Vera	convcfi	1947	1992	xx		
Calchaquí	Vera	convcfi	1997	2002		xx	
Ceres	San Cristóbal	convcfi	1997	2002		xx	
Las avispas	San Cristóbal	convcfi	1997	2002		xx	
San Cristóbal	San Cristóbal	convcfi	1997	2002		xx	
Vera	Vera	convcfi	1997	2002		xx	
Calchaqu	Vera	convcfi	1947	1990		xx	
Las avispas	San Cristóbal	convcfi	1947	1990		xx	
Ceres	San Cristóbal	Convcfi	1908	1980		xx	
Reconquista	Gral.Obligado	Convcfi	1937	2000		xx	
Vera	Vera	convcfi	1948	1992		xx	
Tostado	9 de julio	convcfi	1937	2000		xx	
Cacique airacaiquin	San Javier	evarsa	1961	2000	xx		
San Cristóbal	San Cristóbal	INTA	1915	2003		xx	

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 9

En la S.U.P.C.E. se tuvo acceso a los planos según obra de los últimos canales ejecutados en la cuenca, muchos de ellos como estructuras troncales de otros previamente existentes.

En general los planos consultados se refieren a datos planialtimétricos y principales obras de cruce que puedan alterar el escurrimiento de las aguas.

Tabla 2.5 Obras de canalización de la SUPCE

Obra: Cuenca Arroyo Las Conchas – Canal Principal N° 4 – Secundario N° 4 y Puente s/Arroyo Las Conchas.-	1. Planimetría General Canal Principal N° 4 Prog. Km 0.00 a Km 52.00
	2. Planimetría General Canal Secundario N° 4 Prog Km 0.00 a Km 42.400
	3. Planimetría de Alcantarillas y Obras de Arte sobre ambos canales.-
	4. Planimetría de Puente La Alicia sobre A° Las Conchas.- Planos N° 1 a 19 y planos 3 – 1 a 3 – 7 Total 27 Planos.-
Obra: Reacondicionamiento Cañada Sunchales, Canal Norte Sunchales y Obras de Arte.-	1. Planimetría General Reacondicionamiento Canal Cañada Sunchales Prog Km 0.00 a Km 49.100
	2. Planimetría de Alcantarillas y Submuraciones
	3. Planimetría Canal Desague Norte Sunchales Prog Km 49100 a Prog 57.750
	4. Planimetría de Alcantarillas y otros detalles Planos desde 1 – TI a 19 – TI Total 19 Planos.- Planos desde 1 – TS a 36 – TS Total 36 Planos.-
Obra: Reacondicionamiento Canal Sur – Rafaela – Tramos Inferior y Superior	1. Planimetría General Canal Sur – Dto. Castellanos Prog Km 10.000 a Km 25.600.-
	2. Planimetría de Alcantarillas y otras obras de Arte.- Planos desde N° 1 a N° 39 inclusive Total 39 Planos
Obra: Reacondicionamiento Canal Principal N° 2, Canal Secundario Curupayty y Puente sobre Arroyo San Antonio	1. Planimetría general Canal Principal N° 2 Prog Km 0.00 a Km 23.400
	2. Planimetría General Canal Secundario Curupayty Prog Km 0.00 a Km 17.200.-
	3. Planimetría Obras de Arte y Submuraciones
	4. Planimetría Puente sobre Arroyo San Antonio.- Planos desde 01/05 a 05/05 Planos N° 1 a N° 13 Total 18 Planos.-

De los planos consultados en la Biblioteca de la DPOH se han obtenido también los principales datos planialtimétricos de las obras que se detallan en la siguiente Tabla 2.6.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 10

Tabla 2.6 Obras de canalización consultadas en la DPOH

Obra: Canal Arroyo Las Penquitas	5. Arroyo Las Penquitas km 0 a 10000 6. Canal arroyo Las Penquitas km 10 a 20000 planialtimetria 7. Canal arroyo Las Penquitas km 20 a 30000 planialtimetria 8. Canal arroyo Las Penquitas km 30 a 40000 planialtimetria 9. Canal secundario Las Penquitas km 0 a 12200 planialtimetria
Obra: Canal desagüe norte Rafaela	5. Canal desagüe norte rafaela km 20 a 27800 6. Canal desagüe norte rafaela perfiles transversaels km 7400 a 10600 7. anal norte rafaela km 0 a 10000 planialtimetria 8. Canal norte rafaela km 10 a 20 planialtimetria
Obra: Canalización Cañada "Las Calaveras"	3. Canal Las Calaveras km 10 a 20000 planialtimetria 4. Cañada Las Calaveras brazo principal km 0 a 10000 planialtimetria 5. Cañada Las Calaveras km 0 a 10000 planilatiometria 6. Cañada Las Calaveras km 10 a 20000 planialtimetria 7. Cañada Las Calaveras km 20 a 26800 planialtimetria
Obra: Canal Principal nº 2	5. Canal principal 1 km 0 a 4 reacondicionameitno planialtimetria 6. Canal principal nro 2 km 20 a 30000 planialtimetria 7. Canal principal nro 2 km 30 a 40000 planialtimetria 8. Canal principal nro 2 km 40 a 50000 planialtimetria 9. Canal principal nro 2 km 50 a 63247 planialtimetria
Obra: Reacondicionamiento canal ppal 1 y sec 3	1. Reacondicionamiento canal ppal 1 y sec 3 km 10 a 20000 planialtime. sec nro 3 2. Canal sec nro 3 km 0 a 10000 planialtime. 3. Canal sec nro 3 km 20 a 27800 planialtime. 4. Canal traza nro 3 km 0 a 10000 planilatiometria. 5. Canal traza nro 3 km 10 a 20000 planialtime 6. Canal traza nro 3 planialtime km 30 a 40000 7. Canal traza nro 3 planialtimetria km 40 a 50
Obra: Reacondicionamiento parcial canal Villa Cululú	1. Canal Villa Cululú km 30 a 40000 planialtime. 2. Canal Villa Cululú prog 10 a 20000 3. Canal Villa Cululú prog 20 a 30000 planialtime. 4. Canal Villa Cululú prog 0 a 10000 planialtimetría.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE	DOC.: SSF-IF-01-0
	ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 11

Otros antecedentes analizados son los estudios y trabajos o documentos previos referidos a la zona en estudio, los principales de los cuales se resumen en la siguiente Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Otros antecedentes analizados

1	Actas del Comité de Emergencia Hídrica
2	Alertas hidrológicos del INA
3	Boletín de tendencias climáticas Fuerza Aérea Arg.
4	Informe del XVIII Foro regional de perspectiva climática para el sudeste de Sudamérica 6y7/03/03
5	Plano de monitoreo de crecidas del 2y4/06/98
6	Publicación sobre comportamiento de niveles freáticos en zonas rurales: cuenca inferior del río Salado - Leticia Rodríguez –Germán Farías y Gustavo Ferreira - III Congreso Argentino de Hidrología - I Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea – 2003
7	Anuario de caudales en el río Salado y afluentes en cuenca inferior
8	Delimitación de áreas de riesgo hídrico en Santa Fe CFI- INCYTH Vol 1 y 2 1992
9	Propuesta de rezonificación de Santa Fe
10	Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado INCYTH CRL Vol. 1 y 2 1986
11	Delimitación del área de afectación del río Salado CFI 1998
12	Nueva conexión vial Santa Fe Santo Tomé Estudios hidrológicos y de modelación hidrodinámica. INA UNL 1998
13	Nueva conexión vial Santa Fe Santo Tomé Estudios de Erosión y estabilidad de taludes INA UNL 1998
14	Plano de la red vial de la Dirección Provincial de Vialidad
15	SIFEM Reunión expertos 19/06/2003
16	Estudio hidráulico de defensa contra inundaciones INCOCIV
17	Estudio hidráulico de puentes en rutas 6 y 70 INCOCIV
18	Estudio hidráulico de puentes en ruta 62 INCOCIV
19	Estudio hidráulico de puentes en ruta 39 INCOCIV
20	Estudio hidráulico de puentes en rutas 4 y 80s INCOCIV
21	Estudio hidráulico de puentes en rutas 61, 2 y 262s INCOCIV
22	Alturas y caudales crecida 2003
23	Plano de cuencas
24	Plano con canales
25	Determinación de áreas de riesgo hídrico real Sta.Fe Tonini

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 12

3.- CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

3.1.- DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RIO SALADO

Si bien no existe un límite definido explícitamente, convencionalmente se considera como cuenca inferior del río Salado a la comprendida por su área de aportes desde el ingreso del río, en la Provincia de Santa Fe, a la altura de la ciudad de Tostado y hasta su desembocadura en el río Paraná.

Al ingresar a la Provincia el río Salado escurre en dirección Noroeste - Sureste por un cauce con escasa capacidad de conducción, luego gira para correr en dirección norte sur, e incrementa sus caudales al recibir los aportes del Río Calchaquí, el cual drena las aguas provenientes de los Bajos Submeridionales.

A partir de allí el cauce sigue escurriendo en dirección Norte - Sur hasta su desembocadura en el Sistema del Paraná entre las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé. En este tramo recibe los aportes de las subcuencas - Saladillo, Las Conchas, Palos Negros - La Cabral, San Antonio, Cululú, Vizcacheras, Pantanoso, Arizmendi y áreas de aportes directos al curso del río Salado.

El escurrimiento en la cuenca inferior se compone de los aportes provenientes de la cuenca media que, en general, son de menor significación, de los aportes del río Calchaquí y de los excesos de lluvia en las subcuencas de margen derecha e izquierda ya mencionados.

Generalmente, el principal aporte de las crecidas está dado por los derrames del río Calchaquí, cuyas crecidas son prolongadas en el tiempo y en términos anuales aporta prácticamente el 50 % de los caudales registrados en la salida de la cuenca, tal como se detalla posteriormente en el Capítulo 6.

Los principales afluentes laterales (Las Conchas, San Antonio, Cululú), si bien no son tan significativos en términos relativos a los caudales medios anuales aportados por el Calchaquí, se caracterizan por ser muy discontinuos e irregulares, concentrando en breves períodos de tiempo, picos de crecida de variada magnitud. La incidencia de éstos dependerá, en definitiva, del estado en que se encuentre el propio río Salado en el tramo en que recibe estos aportes.

La situación más desfavorable se produce ante la superposición de ambos efectos, es decir que ante el paso de una onda de crecida aportada por el Calchaquí se produzcan lluvias intensas en la zona de aportes próxima a la desembocadura generando bruscos empuntamientos.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 13
--	--	---

La geomorfología del cauce principal muestra que el valle tiene 3 a 4 km de ancho, con un cauce tortuoso y albardones. La zona baja detrás de los albardones no es homogénea, sino que contiene lagunas, cauces abandonados y otras formas fluviales.

El ancho del curso o cauce menor es bastante uniforme con un valor medio de 100 metros de ancho y con profundidades del orden de 4 metros. Las formas de las curvas responden a la acción hidráulica y el coeficiente de meandricidad (relación entre la longitud de recorrido del cauce menor y valle de inundación) es 1.80.

La capacidad de conducción del cauce menor es de aproximadamente 300 m³/seg.

La cuenca del río Salado Inferior en la zona en estudio es fuertemente asimétrica. En la margen derecha se extiende entre 100 y 130 km hacia el Oeste, con desarrollo de varias subcuencas importantes de orientación general Oeste-Este (Saladillo, Las Conchas, Las Vizcacheras, San Antonio, Aritzmendi, Cululú). En la margen izquierda, la cuenca está a una faja de 5 a 15 Km de ancho (raramente llega a 20 km) hacia el este sin cauces fluviales, salvo el arroyo Pantanoso cuya subcuenca se extiende hasta el Norte.

Para la delimitación de la cuenca y de las subcuencas se consideró que en esta área de llanura las divisorias no siempre son líneas bien definidas sobre el terreno, sino que pueden estar formadas por amplias áreas completamente planas cuyas aguas escurren en una u otra dirección conforme a la dirección del viento, al estado de la vegetación o al gradiente hidráulico producido por diferencias en las precipitaciones.

Desde el punto de vista de la hidrología superficial estas áreas tienen una estructura probabilística, es decir dentro de ellas, el agua de sus distintas partes escurre con mayor frecuencia hasta la subcuenca que está más cerca del punto en cuestión, variando las frecuencias relativas desde un borde al otro del área divisoria. Según este esquema, en el centro de un área divisoria homogénea existe igual probabilidad que el agua escurra hacia una u otra subcuenca.

Este efecto se muestra en la **Figura 3.1** que reproduce la divisoria en subcuencas según el INCyTH en su trabajo "Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Salado" donde se indican los principales límites indefinidos.

En el **Plano 3.1** que muestra toda la zona en estudio, se volcaron las distintas subcuencas que componen la cuenca del río Salado juntamente con los principales datos generales previamente expresados. En el **Plano 3.2** se presenta la misma divisoria de cuencas sobre las imágenes satelitales del IGM que cubren la zona en estudio.

Para su delimitación en los planos, se consideraron los antecedentes citados, y se analizó en conjunto los datos de canales del plano general 3.1, con las imágenes

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 14
--	--	---

satelitales del Plano 3.2 y las curvas de nivel que se presentan en el plano.

Se describen a continuación las principales características de cada subcuenca, basados en el anteriormente citado trabajo del INCyTH "Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Salado":

Sub-Cuenca Saladillo-Las Conchas

Es una de las dos mayores, con aproximadamente 145 km de largo en sentido Oeste-Este y 100 km de ancho máximo en la zona de Ceres. En la parte Norte presenta una gran área deprimida en la margen izquierda del arroyo Saladillo. Este curso de agua nace en los desbordes del río Salado cerca de la localidad de Logroño y recibe los aportes principalmente de la margen derecha, encauzados por una serie de cañadas de rumbo SO-NE que drenan desde la zona de Ceres y Arrufó.

Aguas abajo de esa área el Saladillo tiene zonas bajas de difícil avenamiento también en su margen derecha, en un ancho de 5 a 15 km terminando en una amplia zona inundable de 15 km de largo por 10 km de ancho, donde da origen al arroyo Las Conchas.

El arroyo Las Conchas recorre un área alta, posee un valle bien definido y afluentes con red fluvial integrada. Sólo se observan dificultades de avenamiento en la desembocadura del arroyo en el río Salado donde el albardón de éste funciona como dique de contención de las aguas.

Sub-Cuenca de las lagunas Palos Negros y Cabral.

Forma una faja rectangular de aproximadamente 80 km de largo por 20 km de ancho, de dirección SO-NE y está caracterizada por una serie de cañadas paralelas que conducen el agua a una zona de drenaje difícil, donde se encuentran ambas lagunas. Este sistema funciona como una cuenca cerrada hasta un cierto nivel, el agua atraviesa un umbral cercano a la laguna Palos Negros y a través de la laguna La Verde, se comunica con el arroyo Las Conchas. Esta comunicación está ahora facilitada por canalización.

Las lagunas (incluyendo la del Dentado) probablemente sean importantes áreas de control del agua subterránea de la zona. Las canalizaciones han alterado considerablemente a esta subcuenca, perdiendo la mayor parte de su superficie.

Sub-Cuenca del arroyo de Las Vizcacheras.

Es pequeña, de 50 km de longitud por 10 a 15 km de ancho, tiene en sus cabeceras una zona divisoria indefinida de más de 100 km² en el área de hoyas de deflación,

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 15
---	--	---

que se describe en el punto 5.1.

El resto de la subcuenca está formada por un bloque basculado con hundimiento hacia el Sur, que determina una completa asimetría de la misma, con el colector principal corriendo por el borde Sur y una amplia zona anegadiza en la margen izquierda. El trecho final del arroyo Las Vizcacheras presenta unos 10 km de valle bien definido y la zona de la desembocadura ensanchada, indicada por el albardón del río Salado.

Sub-Cuenca del Arroyo San Antonio.

Es de considerable longitud en sentido Oeste-Este (unos 120 km) y de ancho bastante irregular, entre 15 y 50 km. Sus divisorias presentan considerable indefinición, principalmente en el sector correspondiente a las áreas de hoyas de deflación.

La parte alta de la subcuenca está caracterizada por cañadas subparalelas de dirección SO-NE que llegan en la zona central del área de hoyas de deflación y a la red fluvial propiamente dicha.

El valle del arroyo San Antonio está bien desarrollado, con bordes recortados y amplios depósitos aluviales, aunque la red de afluentes menores está poco desarrollada y hay grandes áreas de difícil drenaje. En su trecho final de 25 km el arroyo se encajona en un valle angosto y desemboca en el río Salado sin impedimentos en la desembocadura.

Sub-Cuenca del Arroyo Arizmendi

Es pequeña, de 28 km de largo por 25 km de ancho máximo. Está bien definida y no tiene drenaje dificultado fuera de la red fluvial. El valle aluvial es desproporcionadamente ancho y bien desarrollado para la cuenca del arroyo. El albardón del río Salado retarda el flujo en la desembocadura.

Sub-Cuenca del Arroyo Cululú

Es la mayor de todas, con 130 km de longitud Oeste-Este por 100 m de ancho, abarcando una superficie de 6834 km². Su morfología está claramente controlada por lineamientos tectónicos de orientación Norte-Sur y Este-Oeste. Sus cabeceras se encuentran en la Provincia de Córdoba, de San Francisco hacia el Norte, en un área plana, de pendientes poco definidas y declive general muy suave hacia el este, con cañadas de rumbo Oeste-Este. La pendiente general de ese trecho es de 12 a 15 cm por km. A la altura de Rafaela aparece una faja Norte-Sur de 7-15 km de ancho y pendiente de 0.60 a 4.50 m por km. Hacia el Este continúa otra superficie de

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RÍO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 16
---	--	---

unos 25 km de ancho y escasa pendiente (25 cm/km), para alcanzar finalmente la depresión asociada al río con pendiente mayor. Este sistema de escalones es bastante claro en el Sur y Centro de la Subcuenca, hasta la latitud de Sunchales. Al Norte de allí la morfología es similar a la de los arroyos San Antonio y Arizmendi.

Sub-Cuenca del Arroyo Pantanoso

Es la única de importancia en la margen izquierda del río Salado en la zona de estudio. Se extiende en forma elíptica en dirección Norte-Sur paralelamente a la SubCuenca de la laguna Blanca. Tiene 50 km de longitud por 18 km de ancho máximo. En las cabeceras existe una zona de indefinición en la divisoria con el Bajo de los Saladillos, de casi 20 km de largo por 5 km de ancho. El arroyo Pantanoso posee una red de afluentes bien desarrollada y un valle aluvial claramente definido, de 500 a 800 m de ancho.

En el último tramo de los 10 km el arroyo se encajona, no forma depósitos aluviales y desemboca en el río Salado aparentemente sin impedimentos.

Existen algunas áreas que drenan directamente en el río Salado, ya sea por escurrimiento no encauzado o mediante pequeños cauces. En el Norte existe una faja de 5 a 15 km de ancho vinculada directamente al río, o más específicamente a la llanura aluvial, ya que la altura del albardón impide que las aguas locales lleguen al cauce. Entre las subcuencas La Blanca, Pantanoso, Las Conchas, Las Vizcacheras, San Antonio y Arizmendi existen pequeñas áreas altas de forma triangular, que drenan directamente en el río Salado. Limitando con la subcuenca del Cululú y en la margen izquierda aguas abajo, se extienden fajas de pocos kilómetros de ancho con buen relieve, pero prácticamente sin cauces fluviales definidos.

Cuencas Cerradas

Son dos las directamente vinculadas con la cuenca del río Salado: la de Morteros y la de Josefina. Hay otra al Este de Zenón Pereyra, cercana al ángulo SudOeste de la cuenca.

Cuenca cerrada de Morteros

Es de forma cuadrangular, de unos 25 km de lado. De Este a Oeste se extiende desde Colonia San Pedro hasta cerca de la laguna Mar Chiquita. Hacia el Norte llega casi hasta Suardi, donde está limitada por la fractura Suardi-Sunchales. Tiene 3 a 4 metros de profundidad. Su parte central es un plano inclinado hacia el Sur. Salvo en épocas de lluvias excepcionales, toda el agua caída pasa al subsuelo a través de sedimentos de alta permeabilidad (Bonaerense y San Guillermo).

Cuenca cerrada de Josefina

Está ubicada dentro de la subcuenca del arroyo Cululú, entre las localidades de

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 17
---	--	---

Josefina y Santa Clara de Saguier. Mide aproximadamente 18 km de largo de Norte a Sur por 10 km en sentido Este-Oeste. Está surcada por tres cañadas desconectadas ahora del sistema del arroyo Cululú por un umbral ubicado en el borde oriental de la cuenca cerrada. Tiene una profundidad de aproximadamente 2 metros.

3.2.- INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Como en toda llanura, de escasa pendiente, el drenaje de las aguas superficiales es altamente sensible a los cambios introducidos por la actividad humana, ya sea a través de obras de infraestructura (canales, redes viales, férreas y obras de control de crecidas) o mediante técnicas del manejo del uso del suelo.

Se recopiló y analizó la documentación existente sobre las obras existentes que han interactuado durante la crecida, con especial atención a sus objetivos, dimensiones y fechas de ejecución.

El análisis de este punto ha sido subdividido en las siguientes obras:

- canales
- terraplenes y obras de control de crecidas
- obras de arte
- redes viales
- redes férreas

3.2.1.- Canales

La red de canales ejecutados, principalmente sobre la margen derecha del río Salado, permite mejorar las condiciones de drenajes superficiales pero no siempre respeta las líneas de escurrimiento naturales, respondiendo mas a trazos rectos que siguen caminos o divisorias de distritos, como es habitual en este tipo de drenajes rurales. En consecuencia, parte de ellos, pueden no funcionar como colectores de aguas, sino tan solo como conductores de las aguas superficiales previamente captadas.

Las divisorias de aguas superficiales son difusas e indeterminadas en largos trechos, y han sufrido y sufren permanentes modificaciones por acción del hombre, fundamentalmente a través de obras viales y de canalización. Estas últimas evacuan aguas de algunas cuencas cerradas, integrándolas a otras, como por ejemplo, la cuenca Palos Negros – La Cabral pasa a formar parte de la cuenca Saladillo – Las Conchas.

Se tuvo acceso a los antecedentes de los últimos canales ejecutados por intermedio de la Sub Unidad de Coordinación para la Emergencia (SUPCE),

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 18

mereciendo especial atención la planialtimetría de los principales canales y sus correspondientes obras de arte y a la documentación de los proyectos de obras que se encuentran en la biblioteca de la D.P.O.H.

En la **Tabla 3.2.1** se han volcado las principales características de los canales ejecutados, resumiéndose las pendientes y anchos de fondo para los distintos tramos de canal. Todos los planos analizados han sido escaneados y se adjuntan como anexo en el CD que se entrega con este informe.

Esta red de canalizaciones, que existe desde hace tiempo con una configuración similar, estaba materializada en las principales crecidas anteriores (1973 –1998) y contribuye a agilizar la transmisión de caudales desde toda la zona de influencia de las cuencas aportantes que llegan al río Salado sobre su margen derecha. En efecto ya en el trabajo del INCyTH del año 1986 "Caracterización hidrológica de la Cuenca del río Salado", al referirse a las obras se decía: "En los últimos años se han construido varios cientos de kilómetros de canales con el fin de facilitar el escaso escurrimiento de superficie."

3.2.2.- Terraplenes y obras de control de crecidas

Las defensas de Santa Fe contra el río Salado comenzaron con la construcción del viejo terraplén Irigoyen desde el Puente Carretero hasta el FFCC Gral. Belgrano aguas abajo de la autopista, y luego continuó con la defensa paralela a la Avenida de Circunvalación que se terminó hacia fines de 1997, llegando hasta el muro del Hipódromo.

Esta intervención determinó una importante reducción del valle de inundación del río Salado, de unos 500 a 1000 m, y tenía prevista su continuación con el tramo III de la circunvalación, por unos 2250m hacia el noroeste, donde se encontraba con cotas altas del terreno.

Desde allí en adelante el tramo III de la Circunvalación y Acceso Norte a Santa Fe seguía hacia el norte cruzando la Ruta 70 y terminaba en la Ruta 11 al norte de Recreo, pero estaba concebido únicamente como proyecto vial.

El siguiente cuadro resume los datos de esta obra:

Tramo	Año de ejecución	Desarrollo	Traza	Cota Coronamiento
1	1994-1998	Puente Carretero Santa Fe-Santo Tomé (RN11) a Autopista Rosario Santa Fe	Remodelación del terraplén Irigoyen	16.60 m IGM a 16.80 m IGM (Tiene un muro deflector de olas que llega

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 19

				a 17.50 m IGM
2	1994-1998	Autopista Rosario Santa Fe a Calle Gorostiaga Hipódromo Las Flores	Traza nueva	17.25 m IGM a 17.45 m IGM
3	Sin ejecutar	Hipódromo Las Flores a Recreo (19 km)	Avenida de Circunvalación Oeste y Acceso Norte	17.75 m IGM en terraplén de 2700 m

El tendido inicial del Tramo 3, de una longitud algo menor a 1000 m es el lugar por donde se verificó el ingreso de agua en el evento del año 2003 se encontraba con la defensa provisoria que había soportado la crecida del año 1998. **Las Fotos 1 y 2 del Anexo Fotográfico** muestran esta zona de la defensa oeste.

El Tramo 3 cuenta con un anteproyecto avanzado desde el año 2001. Se han encarado y están en curso los estudios requeridos para redefinir las cotas de coronamiento y otras características de este tramo a partir de nuevos parámetros de diseño definidos a la luz de las nuevas condiciones que han ocurrido.

Existe otro conjunto de terraplenes, entre los cuáles se pueden citar los siguientes, que han tenido menor importancia en el desarrollo de los hechos analizados:

- Terraplenes del viejo puente entre Santo Tomé y Santa Fe
- Terraplén del Ex Puente Mihura
- Terraplenes y aliviaderos de la ex Ruta 6
- Terraplén de defensa de Santo Tomé

Esta última obra de defensa, con cotas de coronamiento inferiores a la defensa oeste de Santa Fe, no fue desbordada por la crecida, dado que se desarrolla aguas abajo del puente de la autopista, y por ende no se encuentra afectado por su remanso.

3.2.3.- Obras de arte

Con referencia a los puentes, se han recabado las principales características, de las obras ubicadas en la zona inferior de la cuenca en estudio, las que se resumen a continuación:

3.2.3.1 Sobre el río Salado:

Puente Ruta Provincial 39

Puente Arroyo El Retobado L= 99.5 m – 6 pilas de 0.60 m de diámetro – CF= 39 m, cota viga 44 m

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 20

Aliviador L=90.50 m – 6 pilas de 0.60 m de diámetro – Cota de Viga 44.00 m – CF media = 41.00 m – CF mínima 39.50 m.

Puente Principal L= 70 m 2 pilas – Cota de viga 44.10 – CF media = 40.00 m CF mínima = 35.00 m.

Puente Ruta Provincial 2

L= 103 m – 4 pilas de 1 m de diámetro – Cota de Viga 38.80 m – CF mínima 30 m – CF media 33.00 m

Puente FFCC tramo La Petronila – San Justo.

Alcantarilla L = 11.30 m H=2.50 m C de viga 37.61 m – CF= 35.00 m

Aliviador L=61.50 m 10 pilas – Cota de viga 37.30 m – CF=34.80 m

Puente Principal L=200 m 4 pilas – Cota de viga 36.18 m CF media =34.00 CF mínima = 25.00 m

Aliviador L= 57.60 m 10 pilas – Cota de viga 37.18 m – CF= 35.50.

Alcantarilla L= 11.30 m H=3.41 m Cota de viga 37.65 m CF= 34.24 m

Puente Ruta Provincial 61

Aliviador 1 L=30 m – 2 pilas de 0.40 m de diámetro – Cota de viga 36.85 m – CF= 33.00 m

Aliviador 2 L=60 m – 3 pilas de 0.45 m de diámetro – Cota de viga 36.13 m – CF= 32.00 m

Aliviador 3 L=45 m – 2 pilas de 0.40 m de diámetro – Cota de viga 36.59 m – CF= 32.70 m.

Aliviador 4 L=15 m – Cota de viga 36.50 m – CF= 33.50 m.

Puente Principal : L=62.00 m – Cota de viga 37.00 m (DESTRUIDO).

Puente Ruta Provincial 62

Aliviador 1 L= 98.00 m – 2 pilas de 0.80 m de diámetro – Cota de Viga 30.60 m – CF = 26.30 m

Aliviador 2 L=94.00 m – 2 pilas de 0.80 m de diámetro – Cota de viga 30.60 m – CF=26.20 m

Puente Principal: Luz= 298 m – 7 pilas de 0.80 m de diámetro – Cota de viga 39.60 m – CF media = 27.00 m – CF mínima 18.00 m.

Puente Ruta Provincial 80-S

Luz 70.70 m – 2 pilas de 0.40 m – Cota de Viga 25.16 -CF media 20 m CF mínima 17 m

Puente FFCC tramo Manucho - Cululú.

Puente Principal L=285.00 m – Cota viga 26.45 m – CF medio 22.0 m – CF mínima = 12.00 m

Aliviador L=10 m - Cota de viga 26.32 – H=4m – CF= 22.32 m

Aliviador L=78 m – Cota de viga 25.13 m – CF media 23.0 m – Cf mínima = 16.00 m

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 21

Puente Ruta Provincial 4:

Puente Principal L=285.00 m – Cota de viga = 26.45 m – CF media 21.0 m CF mínima= 7.50 m

Aliviador L= 91.00 m – Cota Viga 26.27 m – 17 pilas de 0.55 m de diámetro – CF= 22.50 m

Puente Ruta Provincial 6

Aliviador 1 100 m – 9 pilas de 0.5 m - cota de viga = 22.80 m CF= 19.50 m

Aliviador 2 10 m F viga 22.00 m – Cota lecho 19.80 m

Aliviador 3 10 m F viga 22.00 m Cota Lecho 19.60 m

Puente Principal 184 m – 12 Pilotes de 0.50 m de diámetro – Cota de viga 24.00 m – CF mínima 14.00 m

Puente Ruta Provincial 70

Aliviador M.I. 50 m Cota fondo Viga 19.70 m - Cota Lecho 14.00 m – 2 pilas centrales.

Pte Principal 160 m – 7 pilas centrales - Cota de Viga 19.90 m - CF mínima 7.00 m – CF media = 13.50 m.

Aliviador M.D. L= 76 m - Cota de viga 19.00 m – CF= 14.40 m – 4 pilas centrales

Puente Autopista Provincial AP01

Se ubican dos puentes paralelos de 150 m de luz, con un ancho de 12,1 m entre guardarruedas. Ambos puentes colapsaron parcialmente en 1973, en la zona central de su luz, procediéndose más tarde a la reconstrucción de la superestructura y de algunas pilas y el recalce de otras, así como de los estribos lado oeste.

Inmediatamente aguas arriba se encuentra el puente FFCC Belgrano a Empalme San Carlos (luz total de 540m) y aguas abajo el puente carretero que une Santo Tomé con Santa Fe, que presenta una luz de 1346 m, ampliamente diferente a la del puente de la autopista.

En el **Anexo Fotográfico** se presentan fotos de los principales puentes que han obstaculizado el paso de las aguas del río Salado durante la crecida, mucho de los cuales han sido destruidos por el avance de las aguas, como se observa en el citado anexo fotográfico y prácticamente todos, salvo el de la autopista y los ubicados aguas abajo de ella, han sido sobrepasados durante el pasaje del pico de la crecida.

Sobre los principales afluentes ocurren efectos similares en los puentes de las rutas que corren en dirección norte – sur. A modo de ejemplo, se detallan algunas de las principales obras de arte capaces de generar retenciones en crecidas importantes.

3.2.3.2 Sobre el Arroyo Las Conchas:

Ruta Provincial 38 Puente La Alicia.

De acuerdo con los planos conforme a obra de la construcción del puente, el mismo

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 22

consta de 3 luces de 17.50 m cada una con cota de viga de 53.09, cota de calzada 54.59 y cota de fondo de 47.70 m. El ancho de fondo en la sección del puente es de 37 m con taludes 1: 1.5 y ancho superficial de 50 metros.

3.2.3.3 Sobre el Arroyo San Antonio:

Puente Ruta Provincial 262-S

L= 21.30 m – 2 pilas de 0.90 m – Cota de Viga 37.67 m – CF=34.00 m

Aliviador: 3 luces de 4x2.91 m – Cota de viga 37.80 m – CF= 37.80 m.

3.2.4.- Redes viales

Las obras viales de la cuenca en análisis han sido diseñadas con trazos paralelos a las obras férreas en dirección N-S, es decir en sentido perpendicular a la dirección general del escurrimiento que es de Oeste a Este.

La orientación de la red vial (N-S y E-O), genera efectos dispares en la dinámica del escurrimiento.

Las Rutas Nacional Nro. 34 y Provinciales Nro. 13 , Nro. 4, Nro. 2 y Nro. 10 entre otras (de traza con dirección aproximada N-S), presentan trazados normales a la pendiente general del terreno cuyos terraplenes elevados representan un obstáculo al escurrimiento.

Los caminos comunales, de trazas perpendiculares al escurrimiento y con cotas menores al terreno circundante, actúan como conductores transversales del flujo, favoreciéndose la erosión hídrica.

Cuando la dirección de la traza de los caminos coincide con la del escurrimiento (dirección O-E), su funcionamiento hídrico en épocas de exceso es similar a un canal, contribuyendo a disminuir el tiempo de propagación del flujo, haciendo más críticas las inundaciones, ya que transfieren con mayor rapidez los volúmenes de aguas arriba hacia aguas abajo.

3.2.5.- Redes férreas

La ruta Nacional N° 34 y la ruta Provincial N° 13 siguen la traza de los Ferrocarriles Mitre y Belgrano respectivamente. En general, las luces de las obras ferroviarias superan a las camineras, y en algunos casos la ubicación de las alcantarillas o puentes no es coincidente con las líneas de escurrimiento. A raíz de esta deficiencia de las secciones efectivas de paso, el agua para poder escurrir debe aumentar su nivel, lo que provoca grandes áreas inundadas aguas arriba de las vías de

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL - PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 23

comunicación.

3.3.- USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO

De acuerdo a un análisis de ocupación del suelo obtenido a partir de la identificación de distintos usos en las imágenes satelitales utilizadas, se puede obtener un comportamiento diferente para las siguientes zonas:

- zonas correspondientes a ejidos urbanos rutas, ferrocarriles etc.
- zonas correspondientes al uso agroganadero.
- zonas correspondientes a cauces de ríos y valles de inundación.

A los efectos de determinar áreas inundadas en la cuenca del río Salado en los estados previos a la crecida de abril 2003, se procesaron las siguientes imágenes satelitales disponibles en la biblioteca de la DPOH.

Columna	Fila	Fecha
227	082	15-abr-2003
227	082	25-ene-2003
227	081	15-abr-2003
227	081	25-ene-2003

El procedimiento aplicado fue la clasificación no supervisada en 16 categorías (incluyendo todas las bandas) para determinar el grado de anegamiento de la cuenca registrado por el satélite Landsat el 25 de enero y 15 de abril del 2003.

Las imágenes fueron georeferenciadas en el sistema de coordenadas planas Mercator Transversal aplicado normalmente en la Argentina denominado Gauss Kruger Faja 5 WGS84. La imagen 227-081 del 25/01/2003 ha sido recortada (área con nubes) para permitir su posterior clasificación. Las imágenes han sido transformadas a archivos *.jpg con la combinación de bandas 4-5-3. Los píxel clasificados fueron reagrupados en tres grupos: Agua, Transición, y Seco.

Las áreas anegadas y secas se presentan en los **Planos 3.3.1 y 3.3.2**. En particular, las imágenes del 15 de abril permiten apreciar el alto grado de saturación del suelo al Norte de la ciudad de Santa Fe y se observa la inundación generalizada de extensos sectores de los "Bajos Submeridionales". Asimismo, se observa el desarrollo del río Salado cuya fuente principal de caudal de base en este caso es la zona de Bajos Submeridionales.

Con respecto al tipo de suelos, los que con más frecuencia se encuentran representados en el área de estudio, pertenecen a los ordenes denominados Molisoles y Alfisoles. Dentro del primero de estos encasillamientos se presentan

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 24
---	--	---

dominantemente suelos que se incluyen en los sub-órdenes de Udoles, Alboles y Acuoles.

En las partes altas aparecen los Argiudoles que son efectivamente los suelos de mejores propiedades y los más valiosos en cuanto a su capacidad productiva potencial.

Avanzando siempre hacia los sectores más bajos aparecen en sucesión los Argiudoles Acuicos, los Argiaboles típicos y posteriormente los Natracuales típicos.

Estos últimos ubicados al norte del río Salado, propios de las áreas inundables, que se caracterizan por las severas restricciones de uso.

* Son suelos con humedad excesiva, perfil poco profundo, poco aireado, que impiden la movilidad del agua, de fertilidad pobre y textura compactada, todo ello lo hace no apta para el laboreo. Poseen alta salinidad y sodicidad, que condicionan el crecimiento de pastos aptos para forraje.

A medida que se va más hacia el este, la zona se hace más plana con las restricciones topográficas que le da el curso del río Salado y las distintas llegadas del agua.

La zona tiene gran cantidad de totorales y pirizales en las depresiones permanentes, aunque en algunas áreas crecen pastizales de agua de mejor calidad, apta también para ganadería. Son zonas restringidas por los suelos, el relieve y la capa freática, que en conjunto conforman serias limitantes para la producción.

* La vegetación está conformada en las partes de lomadas bajas por monte, (algarrobo, chañar, molle tala etc.) en las zonas planas con menor grado de inundación con pastos (aibe, cynodon sp., pasdpalum, espartillo y algo de canutillo) aptos para la alimentación del ganado y en las partes bajas vegetación de suelos sódicos y acuática, no apta para la producción.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 25

4.- CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA e HIDROLÓGICA DE LA ZONA

4.1.- CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Se recopilaron y analizaron los registros de lluvias en las estaciones con datos disponibles, realizándose luego el análisis estadísticos de las mismas.

El análisis climático abarcó, además, la recopilación y análisis de registros de temperatura, evaporación, humedad, velocidad del viento, la distribución espacial de lluvias (isohietas de las tormentas relevantes) etc.

Como primer antecedente general resulta conveniente mencionar datos de la FAO, de su publicación 49, referidos a condiciones generales climáticas de las localidades de Vera, Rafaela y Ceres, en sus siguientes magnitudes:

- Max Temp
- MinTemp
- Humedad
- Viento
- Insolación
- Radiación solar
- Evapotranspiración potencial
- Lluvia
- Lluvia efectiva

En las **Tablas 4.1.1 a 4.1.3** se presentan estas magnitudes a nivel mensual para las tres localidades indicadas, a manera de presentación inicial de la caracterización climática del área.

4.1.1 Temperaturas

Se recopiló la información existente de temperaturas, fundamentalmente en los estudios antecedentes. Además se recabó alguna información adicional a este respecto.

En particular, y a título ilustrativo se presenta en la **Figura 4.1.1.1** el promedio de las temperaturas medias mensuales de la estación Reconquista INTA para el período 1970-1984, con un vacío de información en los años 1975 y 1976 a 1979.

Se incluye en esa figura el máximo y el mínimo promedio mensual obtenido en la serie considerada.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 26
---	--	---

Idéntica información se presenta en la **Figura 4.1.1.2**, en este caso para la estación Sauce Viejo Aero para un período más extenso como es 1959-1984.

Se observa que el promedio anual de Sauce Viejo presenta temperaturas ligeramente inferiores en los meses de invierno, mientras que los máximos medios mensuales del período tienen valores ligeramente superiores en el caso de Reconquista.

4.1.2 Evapotranspiración y Evaporación

Según se detalla en el informe hidrológico del INA CRL (Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado INCYTH CRL Vol. 1 y 2 1986), debe recurrirse a la determinación de la evapotranspiración potencial y la evaporación de superficies libres en forma puntual, mediante el empleo de las conocidas expresiones empíricas, fundamentalmente debido a que la información disponible corresponde a variables climatológicas no medidas y series de datos de corta longitud, incompletas y geográficamente mal distribuidas.

Indica el informe que se debió proceder a rellenar y homogeneizar información climatológica por medio del empleo de regresiones ortogonales, mientras que la evapotranspiración potencial mensual y anual se determina por el método de Thornthwaite y de Leepers en cada estación.

Luego se realiza un análisis areal de la ETP media anual por el método de isolíneas y se determina la ETP máxima y mínima de la cuenca por el método clásico y su distribución areal por el método de las isolíneas y las distribuciones mensuales por medio de hietogramas.

En cuanto a la evaporación, se calculan las evaporaciones mensuales y anuales mediante varias formulaciones:

- Fitzgerald
- Meyer
- URSS
- Linsley
- Antal
- Orstom
- Stelling

Los coeficientes de correlación empleados para uniformar y rellenar la información de temperatura fueron más bien altos, con un valor cercano a $r = 0.88$, mientras que los de tensión de vapor y velocidad del viento fueron menores, del orden de $r = 0.77$.

4.1.2.1 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial media anual se presenta graficada en forma de

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 27

mapas de isolíneas, para el período 1936-1980, observándose con variación creciente en sentido sur-norte, con las siguientes características:

Método	Dirección creciente	Gradiente	Media de la cuenca	Valor mínimo	Valor máximo
Thornthwaite	Sur a Norte	29 mm c/100 km	930 mm	900 mm	975 mm
Leepers	Sur a Norte	31 mm c/100 km	902 mm	875 mm	950 mm

La variación a lo largo del año de la evapotranspiración potencial mensual muestra claramente un período de máxima en el primero y último trimestre de cada año y un valor mínimo que se suele hallar en el tercer trimestre.

Se presenta en el informe un gráfico de la cronología de los valores de ETP anuales para las siguientes estaciones:

- Reconquista
- Ceres
- Esperanza
- Sauce Viejo
- Angel Gallardo
- Rafaela

Se determinó que para la totalidad de la cuenca en el año 1944 se presenta un máximo de ETP anual y en el año 1941 un mínimo.

Se destacan los siguientes resultados para cuatro años característicos.

Año	Valor medio (mm)	Calificación	Variación Sur-Norte	Mes de máxima	Mes de mínima
1977	933	Lluvioso	900-950 mm	Enero	Julio
1962	936	Poco lluvioso	900-975 mm	Diciembre	Julio
1944	990	Max.ETP anual	950-1050 mm	Diciembre	Julio
1941	868	Mínima ETP anual	850-900 mm	Enero	Julio

Una caracterización areal de la evapotranspiración potencial media anual puede apreciarse en el gráfico de la **Figura 4.1.2.1.1**, extractada del citado informe, para el período 1936-1980, que muestra una tendencia de isolíneas casi paralelas con una disminución en sentido norte-sur, variando entre 975 mm anuales en Tostado hasta 900 mm anuales en Esperanza.

4.1.2.2 Evaporación

Indica el informe que la fórmula de Antal es la que mejor se aproxima a los registros

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 28

observados en las estaciones Rafaela y Ceres, de las cuáles se reproduce a continuación parte de un cuadro del informe, por presentar sucintamente los resultados característicos, expresándose la evaporación anual en mm.

Estación	Evap. Media Anual Obs.	Evap. Media Anual Estim.	Año de Max.	Max. Anual Observ.	Max. Anual Estim.	Año de mínima	Min anual observ.	Min anual estim.
Rafaela 1960-80	1389	1179	1969	1779	1547	1978	1029	1266
Ceres 1956-80	1317	1423	1976	1457	1423	1959	1149	1224

La cronología histórica a nivel anual se presenta en la **Figura 4.1.2.2.1** para Rafaela y la **Figura 4.1.2.2.2** para Ceres.

Asimismo, y para caracterizar la evolución a lo largo del año de la evaporación se presentan en las **Figuras 4.1.2.2.3 y 4.1.2.2.4** las evaporaciones medias mensuales en Rafaela y Ceres, respectivamente.

La evaporación resulta estimada con una mejor aproximación los años de valores medios y bajos, mientras que resulta subestimada en ocasión de presentarse altos valores anuales.

Para Rafaela existe un período de evaporación máxima entre 1963 y 1971, coincidente con una situación de mínimas precipitaciones, a la vez que un período de mínimas evaporaciones con máximas precipitaciones a partir de 1971-1980.

En el caso de Ceres, de 1956 a 1962 hay años de baja evaporación, luego crece hasta 1971, para tender a bajar hasta 1980, coincidiendo también de manera inversa las precipitaciones con la evaporación.

4.1.3 Humedad relativa

Se recopiló la información existente de humedad relativa.

En particular, y a título ilustrativo se presenta en la **Figura 4.1.3.1** el promedio de la humedad relativa media mensual de la estación Reconquista INTA para el período 1970-1984, con un vacío de información en los años 1975 y 1976 a 1979.

Se incluye en esa figura el máximo y el mínimo promedio mensual obtenido en la serie considerada.

Idéntica información se presenta en la **Figura 4.1.3.2**, en este caso para la estación Sauce Viejo Aero para un período más extenso como es 1959-1984.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 29

Se observa que el promedio anual de Sauce Viejo presenta humedad relativa ligeramente inferior en los meses de invierno, mientras que los máximos medios mensuales del período tienen valores ligeramente superiores en el caso de Reconquista, sobre todo en los meses de verano.

4.1.4 Vientos

4.1.4.1 Clima general de vientos

El estudio hidráulico de la defensa contra inundación de Santa Fe de INCOCIV, menciona como fuente de datos de viento los correspondientes a la estación Sauce Viejo (Prov. de Santa Fe) del Servicio Meteorológico Nacional, obtenidos del Estudio "Análisis estadístico de vientos máximos según dirección y persistencia en la zona del río Paraná entre Paso de la Patria y Paraná" (García, N. y otros, FICH, 1990).

En ese estudio se utilizaron registros horarios de vientos de superficie medidos o reducidos a 10 m sobre el nivel del terreno, correspondientes al período 1980-89 y se presentan vientos máximos en cada dirección y para diferentes persistencias.

La Tabla siguiente, extractada del mencionado estudio hidráulico, presenta la frecuencia de vientos (%) y la velocidad media anual y máxima, por sectores, según la rosa de los vientos, para esa estación y ese período considerado, y sirvió de base para la construcción de la **Figura 4.1.4.1.1**

Dirección	Frecuencia (%)	Veloc. Media (m/s)	Veloc. Máxima (m/s)	Mes en que se registró vmax
N	12	7	41	Enero
NE	10	6	38	Febrero
E	9	5	41	Junio
SE	9	7	27	Octubre
S	14	8	42	Junio
SW	3	8	31	Junio
W	1	6	31	Marzo
NW	1	6	31	Agosto
Calma	40			

4.1.4.2. Vientos Máximos

En el citado estudio hidráulico, con el objetivo de definir la altura de oleaje para el diseño de la defensa, se reproduce la siguiente tabla, con valores obtenidos a partir de valores registrados cada hora, para distintas recurrencias.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 30

	Velocidad máxima de viento (m/s)			
T	S	SO	O	NO
2	25.6	20.9	17.9	14.2
10	35	30	26	23
50	45	39	34	32

	Velocidad máxima de viento (m/s) – persistencia 2 horas			
T	S	SO	O	NO
2	22.1	17.9	11.2	8.2
10	25	26	17	12
50	29	35	22	16

	Velocidad máxima de viento (m/s) – persistencia 4 horas			
T	S	SO	O	NO
2	21	16	8	11
10	23	22	12	14
50	25	28	16	17

4.1.5 Precipitaciones

4.1.5.1. Estudios anteriores

Se dispuso de valiosos antecedentes resultantes de estudios anteriores, tales como el denominado Caracterización Hidrológica de la Cuenca del río Salado INCYTH CRL Vol. 1 y 2, 1986.

Las tareas descriptas en ese informe son las siguientes:

- Depuración de series pluviométricas:
- Análisis del régimen de precipitaciones

El estudio presenta planos de isohietas que muestran que la precipitación media anual disminuye de Este a Oeste, con un gradiente aproximado de 100 mm anuales cada 100 km. Además hay otra disminución de Sur a Norte.

Presenta asimismo un análisis de la serie diaria de las precipitaciones del primer semestre de 1981 para un conjunto de 66 estaciones. De la observación de los valores presentados en la Tabla 4 del informe se destaca que en ese semestre se presentaron como eventos importantes el comprendido entre el 30 de enero y el 3 de febrero, con valores de hasta 290 mm en Cululú, y el desarrollado del 8 al 10 de abril, con valores tan elevados como 388 mm en Aldao.

Por medio del método de doble masa, se identifican errores sistemáticos en las

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 31
---	--	---

siguientes estaciones:

- Campo Garay (declarada estación no confiable)
- Rafaela (errores despreciables)
- Humberto I (errores despreciables)
- Ingeniero Bossi (errores despreciables)
- Eusebia (errores despreciables)

Finalmente, y luego de la depuración, el estudio citado dispuso de un conjunto de 19 estaciones con un récord comprendido entre 1920 y 1982.

Con los datos obrantes en el estudio, el conjunto de estaciones con sus precipitaciones medias mensuales para el citado período se presenta en la **Tabla 4.1.5.1.1**, donde se han ordenado en forma creciente en relación a la precipitación anual.

Las estaciones abarcan un rango comprendido entre 804 mm y 1025 mm anuales, con un promedio anual entre todas de 928 mm.

A fin de caracterizar la distribución a lo largo del año hidrológico, se representa el gráfico de la **Figura 4.1.5.1.1**, para las estaciones extremas (Tostado y Calchaquí) y una cercana al valor medio (Humberto I).

Se verifica congruencia entre las tres estaciones, que es extensible a todo el resto, dado que los máximos se presentan en el mes de marzo y los mínimos en julio, con una clara predominancia del verano como período de mayores precipitaciones.

En la **Figura 4.1.5.1.2** se ilustra sobre las precipitaciones medias anuales de las estaciones consideradas, ordenadas en forma creciente.

Por otra parte, y siguiendo los lineamientos del estudio citado, en la **Tabla 4.1.5.1.2** se presentan los valores medios agrupados por trimestres, lo que muestra la gran preponderancia del primer trimestre del año, con porcentajes que oscilan entre un 36 y un 43 % del valor anual, seguido por el último trimestre y una estación con menores precipitaciones en el tercer trimestre, con valores comprendidos entre el 9 y el 13 % de la precipitación anual, según que estación se considere.

En un análisis gráfico a partir de las precipitaciones totales anuales de las 19 estaciones, el estudio hidrológico concluye que se producen alternancias de años y períodos que están por sobre o por debajo de la media. Los períodos más frecuentes son de 2, 3 ó 5 años, aunque también se han dado períodos de 7 a 8 años (San Cristóbal, La Cabral, Villa Trinidad).

Por otra parte, a partir del análisis de precipitaciones extremas de 1, 3, 5 y 10 años, concluye:

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 32

- Períodos de 1 año lluviosos: 1914 – 1977 – 1981- 1973
- Períodos de 1 año secos: 1916-1917
- Períodos de 10 años lluviosos: 1973-82, 1972-1981
- Períodos de 10 años secos: 1915-1924

Se incluyen en el estudio mapas de isohietas y mapas de distribución trimestral de la precipitación, para los años secos y húmedos, de los cuáles se destacan los siguientes aspectos, que permiten identificar las principales características de esos años.

Año	Calificación	Precipitación. Cuenca (mm)	Núcleo	Trimestre más lluvioso	Precipitación trimestral (mm)
1914	Húmedo	1514	San Justo (1800 mm)	2	738
1977	Húmedo	1400	Cayastacito Esperanza Calchaquí (1700 mm)	1	616
1973	Húmedo	1225	Gdor. Crespo (1600 mm)	1	510
1981	Húmedo	1191	Cayastacito (1800 mm)	1	507
1917	Seco	386	Cayastacito (600 mm)	2	136
1924	Seco	666	Sunchales (800 mm)	1	355
1962	Seco	620	Pilar (750 mm)	1	347

Se advierte asimismo una gran dispersión entre las distribuciones de las isohietas para esos años analizados.

Información similar, pero para períodos de mayor cantidad de años (3, 5 y 10 consecutivos) se presenta en el siguiente cuadro, a partir de datos del estudio hidrológico comentado:

Período	Cantidad de años	Calificación	Precipitación. Media Período Cuenca (mm)	Núcleo
1977-1979	3	Húmedo	1169	Calchaquí (1400 mm)
1916-1918	3	Seco	625	Esperanza (750 mm)
1977-1981	5	Húmedo	1104	Cayastacito (1300 mm)
1915-1919	5	Seco	759	Gdor. Crespo

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 33

				(850 mm)
1973-1982	10	Húmedo	1061	Gdor. Crespo (1250 mm)
1915-1924	10	Seco	813	Esperanza (900 mm)

Claramente, la zona más oriental se presenta habitualmente como la de mayor precipitación anual

4.1.5.2. Precipitaciones mensuales

Se dispuso de un amplio conjunto de estaciones con datos de precipitaciones mensuales, que se describen en los siguientes párrafos.

Todas ellas muestran una clara tendencia estacional con picos de precipitaciones en los meses estivales (preferentemente marzo) y los menores valores en el invierno (julio).

4.1.5.2.1 Precipitaciones mensuales en San Justo - Saladillos

El historial de precipitaciones mensuales en San Justo Saladillos se extiende entre julio de 1981 y junio de 2003. Incluye por lo tanto los datos en coincidencia con la crecida del año 2003, además de los de la crecida de 1998.

En la **Figura 4.1.5.2.1.1** se ilustra sobre la totalidad del registro disponible. La máxima precipitación mensual registrada fue de 473 mm en febrero de 1984.

En la **Figura 4.1.5.2.1.2** se ilustra sobre los valores promedio, máximo y mínimo mensuales registrados en el período considerado. Aparece claramente la estación estival como la más lluviosa.

4.1.5.2.2 Precipitaciones mensuales en Fortín Olmos Golondrinas

El historial de precipitaciones mensuales en Fortín Olmos Golondrinas se extiende entre enero de 1973 y junio de 2003, con algunos meses faltantes. Incluye por lo tanto los datos en coincidencia con la crecida del año 2003, además de las grandes crecidas de 1973 y 1998.

En la **Figura 4.1.5.2.2.1** se ilustra sobre la totalidad del registro disponible. La máxima precipitación mensual fue de 491 mm en febrero de 1985, mientras que el valor de abril de 2003 con 481 mm es el segundo valor histórico. Los valores mínimos alcanzan a registros de precipitación nula.

En la **Figura 4.1.5.2.2.2** se muestran los valores promedio, máximo y mínimo mensuales registrados en el período considerado. También resalta la estación

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 34
---	--	---

estival como la más lluviosa.

4.1.5.2.3 Precipitaciones mensuales en Sauce Viejo

Originalmente se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para el período 1951-2000, al cual merced a los datos aportados durante el transcurso de este trabajo por la DPOH, correspondientes a la Dirección de Comunicaciones, pudo incorporarse el conjunto de meses posteriores hasta mayo de 2003.

En la **figura 4.1.5.2.3.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 415 mm en febrero de 1973.

4.1.5.2.4 Precipitaciones mensuales en Esperanza

Originalmente se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para el período 1901-1967, al cual merced a los datos aportados durante el transcurso de este trabajo por la DPOH, correspondientes a la Dirección de Comunicaciones, pudo incorporarse el conjunto de precipitaciones mensuales meses posteriores, es decir entre el año 1998 y el año 2003 (hasta mayo).

En la **figura 4.1.5.2.4.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 574 mm en febrero de 1914.

4.1.5.2.5 Precipitaciones mensuales en Rafaela

Originalmente se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para el período 1902-1992.

Gracias a la disposición de datos diarios del período 1998-2003, se pudo incorporar el valor correspondiente mensual al historial.

En la **figura 4.1.5.2.5.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 517 mm en marzo de 1907.

4.1.5.2.6 Precipitaciones mensuales en Ceres

Esta estación es la de más largo historial disponible, ya que se extiende entre 1900 y 2003.

En la **figura 4.1.5.2.6.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 35
--	--	---

fue de 518 mm en diciembre de 1997.

4.1.5.2.7 Precipitaciones mensuales en Reconquista

Se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para el período 1947-2003.

En la **figura 4.1.5.2.7.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 474 mm en abril de 1973.

4.1.5.2.8 Precipitaciones mensuales en San Cristóbal

Se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para el período 1947-2003.

En la **figura 4.1.5.2.8.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 414 mm en febrero de 1994.

4.1.5.2.9 Precipitaciones mensuales en Calchaquí

Se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para los períodos 1947-1992 y 1997-2001, y este historial fue completado hasta mayo de 2003 con los valores recogidos de la Dirección de Comunicaciones.

Sin embargo, la colección de datos disponible se caracteriza por abundante cantidad de meses sin datos.

En la **figura 4.1.5.2.9.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 877 mm en enero de 1998, cifra realmente sorprendente como precipitación mensual.

4.1.5.2.10 Precipitaciones mensuales en Las Avispas

Se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para el período 1947-1990 y 1997-2002, que fue completado durante este estudio con los datos recibidos de la Dirección de Comunicaciones.

En la **figura 4.1.5.2.10.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 570 mm en enero de 1998.

4.1.5.2.11 Precipitaciones mensuales en Vera

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 36
---	--	---

Se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para el período 1948-1992 y 1997- (junio) 2002, que fue completado durante el presente estudio con los datos recibidos de la Dirección de Comunicaciones, extendiéndolo así hasta mayo de 2003.

En la **figura 4.1.5.2.11.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 598 mm en enero de 1998.

4.1.5.2.12 Precipitaciones mensuales en Tostado

Se dispuso de un historial de precipitaciones mensuales en esta estación para el período 1937-2000, que fue completado durante el presente estudio con los datos recibidos de la Dirección de Comunicaciones, extendiéndolo así hasta mayo de 2003.

En la **figura 4.1.5.2.12.1** se presenta para la totalidad de la serie disponible el análisis de valores medios, máximos y mínimos mensuales. El máximo mensual resultante fue de 430 mm en febrero de 1984.

4.1.5.3 Precipitaciones anuales

4.1.5.3.1 Precipitaciones anuales en San Justo-Saladillos

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de San Justo-Saladillos, para el período disponible, es decir 1981 a 2002. La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.1.1**

El valor medio anual de este período resulta de 1033 mm, y se registra un máximo de 1436 mm anuales en el año 2002. Se observa en esa curva la fuerte incidencia de los años 2000 a 2002.

Se destaca como año particularmente seco con apenas 318 mm el año 1989, claramente atípico, cuando se observa esa figura.

En cuanto a la precipitación de 2003, se destaca que solamente en los primeros 4 meses llovió una cantidad de 700 mm.

4.1.5.3.2 Precipitaciones anuales en Fortín Olmos-Golondrinas

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Fortín Olmos Golondrinas, para el período disponible, es decir 1973 a 2002. La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.2.1**.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 37
--	--	---

El valor medio anual de este período resulta de 1152 mm, y se registra un máximo de 1744 mm anuales en el año 2002.

En cuanto a la precipitación de 2003, se destaca que solamente en los primeros 4 meses llovió una cantidad de 625 mm.

4.1.5.3.3 Precipitaciones anuales en Sauce Viejo

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Sauce Viejo, para el período disponible, es decir 1959 a 2000.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.3.1**, y en la misma no se han calculado los años en los que se registran faltantes de datos mensuales, situación que se da en varios años, incluidos los posteriores al año 2000.

El valor medio anual de este período resulta de 988 mm, y se registra un máximo de 1626 mm anuales en el año 2000.

4.1.5.3.4 Precipitaciones anuales en Esperanza

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Esperanza, para el período disponible, es decir 1901 a 1967 y 1998 a 2003.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.4.1**, y en la misma no se han calculado los años en los que se registran faltantes de datos mensuales, situación que se da en los años posteriores al año 2000.

El valor medio anual de este período resulta de 951 mm, y se registra un máximo de 1710 mm anuales en el año 1914.

4.1.5.3.5 Precipitaciones anuales en Rafaela

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Esperanza, para el período disponible, es decir 1902 a 1992 y 1998 a 2003.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.5.1**, y no se han calculado los años en los que se registran faltantes de datos mensuales, situación que se da en los años posteriores al año 2000.

El valor medio anual de este período resulta de 923 mm, y se registra un máximo de 1857 mm anuales en el año 1977.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 38

4.1.5.3.6 Precipitaciones anuales en Ceres

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Ceres, para el período disponible, es decir 1901 a 2003, siendo la serie histórica más extensa.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.6.1**. El valor medio anual de este período resulta de 896 mm, y se registra un máximo de 1462 mm anuales en el año 1914.

4.1.5.3.7 Precipitaciones anuales en Reconquista

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Reconquista, para el período disponible, es decir 1901 a 2000. Los registros mensuales posteriores al año 2000 no son completos, de forma que no pudieron incorporarse totales anuales

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.7.1**. El valor medio anual de este período resulta de 1213mm, y se registra un máximo de 1935 mm anuales en el año 1986.

4.1.5.3.8 Precipitaciones anuales en San Cristóbal

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de San Cristóbal, para el período disponible, es decir 1915 a 2003.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.8.1**. El valor medio anual de este período resulta de 948 mm, y se registra un máximo de 1694 mm anuales en el año 1973.

4.1.5.3.9 Precipitaciones anuales en Calchaquí

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Calchaquí, para el período disponible, es decir 1947 a 1992 y 1998-2003, con una importante cantidad de años en las que no se pudo determinar el total anual por faltantes de algunos mensuales.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.9.1**. El valor medio anual de este período resulta de 1103mm, y se registra un máximo de 2159 mm anuales en el año 1998.

4.1.5.3.10 Precipitaciones anuales en Las Avispas

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Las Avispas, para el período disponible, es decir 1947 a 1990 y 1997-2003.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.10.1**. El valor medio anual de este período

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 39
---	--	---

resulta de 848 mm, y se registra un máximo de 1542 mm anuales en el año 1998.

Se destaca que muchos valores mensuales de esta estación indicados como cero, fueron desestimados, dado que en estaciones vecinas se registraron precipitaciones, sobre todo en los meses de más alta pluviometría. Se interpretó que ese dato nulo no representa precipitación nula, sino que durante ese mes no se tomaron medidas.

4.1.5.3.11 Precipitaciones anuales en Vera

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Vera, para el período disponible, es decir 1947 a 1992 y 1998-2003, con una importante cantidad de años en las que no se pudo determinar el total anual por faltantes de algunos mensuales.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.11.1**. El valor medio anual de este período resulta de 1229 mm, y se registra un máximo de 20969 mm anuales en el año 1998.

Esta estación también se caracteriza por la falta de datos en varios meses, lo que impidió definir la precipitación anual para varios años del registro.

4.1.5.3.12 Precipitaciones anuales en Tostado

A partir de los datos disponibles de precipitaciones mensuales se configuró la curva de precipitaciones anuales históricas de Tostado, para el período disponible, es decir 1947 a 1992 y 1998-2003, con una importante cantidad de años en las que no se pudo determinar el total anual por faltantes de algunos mensuales.

La misma se presenta en la **Figura 4.1.5.3.12.1**. El valor medio anual de este período resulta de 811 mm, y se registra un máximo de 1411 mm anuales en el año 1984.

Sin embargo, se aclara que esta estación también debe ser tomada con precaución debido a la gran cantidad de meses faltantes por una parte y a la existencia de numerosos meses con indicación de pluviometría nula, que hacen pensar más bien en ausencia de medición.

4.1.5.3.13 Resumen de precipitaciones anuales

Finalmente, y a fin de dar una idea global, se reunieron los valores medios, máximos y mínimos anuales de las estaciones que se acaban de describir. Ello se hizo en el gráfico de la **Figura 4.1.5.3.13.1**, donde se ilustra sobre el rango de variación entre valores mínimos y máximos anuales.

4.1.5.4 Precipitaciones diarias

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 40
---	--	---

Se dispuso de información recolectada de precipitaciones diarias de varias fuentes, las que se describen a continuación.

4.1.5.4.1 Precipitaciones diarias del período 1998-2003

El aporte de los datos de precipitaciones diarias de la Dirección de Comunicaciones resultó de suma importancia para la alimentación del modelo hidrológico. En ese sentido, se dispuso de los registros de precipitaciones diarias de los siguientes departamentos, para el período 1998-2003:

527 San Cristóbal
529 9 de Julio
533 Vera
614 San Justo
678 Castellanos
790 Las Colonias
811 La Capital

Se realizó un trabajo de armado de archivos de precipitaciones para la totalidad de las estaciones que conforman la base de datos de estos departamentos, destacándose que en algunos casos hay meses faltantes.

En la **Tabla 4.1.5.4.1.1** se reproduce el listado de las estaciones, indicándose a qué departamento corresponde cada una, pero sobre todo por su interés desde el punto de vista hidrológico, a qué cuenca pertenece, así como sus coordenadas planas Gauss Kruger.

Se incluyeron algunas estaciones, que se hallan fuera de la cuenca inferior del río Salado, pero resultan de importancia por su cercanía a la misma.

Se han agrupado las estaciones en conjuntos de cinco o seis, en función de su cercanía geográfica, en 19 grupos, de los cuáles se efectuaron las graficaciones en las **Figuras 4.1.5.4.1.1 a 4.1.5.4.1.19**, permitiendo visualizar la secuencia de lluvias diarias en los años que conforman el período indicado.

4.1.5.4.2 Precipitaciones diarias de otros períodos

Se accedió durante el período de recopilación a otro conjunto de precipitaciones diarias, a saber:

Estación San Carlos (Las Colonias).....	1944-1976
Estación Fortín Olmos (Vera).....	1968-1982
Estación San Enrique (9 de Julio).....	1969-1982
Est. Angeloni-La Teresita (San Justo).....	1969-1986

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 41

Estación Los Sauces (San Cristóbal).....	1967-1977
Estación Calchaquí (Vera).....	1947-1992
Estación Las Avispas.....	(1947-1990)
Estación Tostado (9 de julio).....	(1937-1992)
Estación Vera (Vera).....	(1947-1992)
Cacique Ariacaiquín (San Javier).....	(1981-2000)
Estación Saladillos (San Justo).....	(1981-2000)

De esta manera, se observa la dificultad en contar con un registro continuo de precipitaciones diarias correspondientes a varias estaciones de la cuenca, destacándose en general la interrupción de la disponibilidad de datos a partir de los años 1990/1992.

Se destaca también el esfuerzo de recopilación de datos por parte de la Dirección de Comunicaciones, a fin de contar con un período de datos continuo desde 1998 en adelante.

4.1.6 Distribución espacial de lluvias

Se recopiló la información existente sobre distribución espacial de lluvias, caracterizándose la misma mediante el trazado de isohietas.

4.1.6.1 Isohietas anuales medias

Del estudio "Caracterización hidrológica de la cuenca baja del río Salado del INA-CRL" se extrajo la **Figura 4.1.6.1.1** que muestra la distribución de isohietas representativas de las precipitaciones medias anuales para el período 1920-1982.

Se observa su trazado general en dirección norte sur, con variación descendiente hacia el oeste, con valores comprendidos entre 1000 mm y 850 mm anuales.

Resulta interesante su comparación con las isohietas de la **Figura 4.1.6.1.2**, extractada del mismo estudio, que representan la precipitación media anual para el período 1973-1982, caracterizado como de mayor humedad. En este caso las isohietas sobre la zona este alcanzan valores de 1250 mm, mientras que los valores inferiores, sobre la zona oeste no bajan de 1050 mm.

4.1.6.2 Isohietas anuales de años húmedos

Del mismo estudio indicado en el párrafo anterior se extractaron las isohietas correspondientes a precipitaciones anuales en años calificados como húmedos, a saber:

- 1914 (1514 mm)
- 1973 (1225 mm)
- 1977 (1400 mm)

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 42
--	--	---

- 1981 (1191 mm)

Las mismas se representan en las **Figuras 4.1.6.2.1 a 4.1.6.2.4**, respectivamente, donde pueden apreciarse los núcleos formados en distintos lugares en cada oportunidad.

4.1.6.3 Isohietas del evento de 2003

Se dispuso de un muy valioso elemento de interpretación como lo fueron los dos planos elaborados por la Dirección de Comunicaciones de la DPOH-MOSPyV, con datos de La Dirección Provincial de Comunicaciones.

El primero de ellos, representado en el **Plano 4.1** muestra la precipitación acumulada durante el mes de abril de 2003.

- ❖ Se aprecia por un lado un núcleo muy importante, con epicentro en la Laguna La Gallareta, de 650 mm en todo el mes, que se extiende en un área importante con valores que van bajando hasta 400 mm mensuales, llegando a lugares tan distantes del epicentro como Vera, Margarita, Calchaquí, etc...
- ❖ Otro núcleo importante se presenta alrededor de Gdor. Crespo, con un valor de 450 mm y también se extiende en una distancia apreciable, cubriendo con valores de 350 a 400 mm mensuales hasta localidades tales como San Martín Norte, Paso las Piedras, La Blanca, Marcelina Escalada, etc...

El segundo de los planos, representado en el **Plano 4.2** muestra la precipitación acumulada durante los días de mayor intensidad de las tormentas, entre el 23 y el 25 de abril de 2003.

- ❖ Se repite acá la presencia de esos dos núcleos principales, esta vez con epicentro en Margarita y La Penca, con picos de 300 y 340 mm, respectivamente. Otro núcleo importante aparece alrededor de Cnia. Bossi, con un epicentro de 260 mm.

Como complemento de lo aquí expuesto se elaboraron curvas de isohietas en base a los valores diarios de precipitaciones de marzo y abril de 2003, que permiten obtener una idea de la distribución areal de las precipitaciones durante esos dos meses en la totalidad de la cuenca inferior.

Las mismas se representan en los **Planos 4.3 a 4.5**, según el siguiente detalle:

- Plano 4.3: Isohietas de marzo de 2003
- Plano 4.4: Isohietas de abril de 2003
- Plano 4.5: isohietas de marzo y abril de 2003

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 43
---	--	---

Si se analiza la distribución del Plano 4.3, de marzo de 2003 se observa la presencia de un importante núcleo en la zona oeste de la cuenca del arroyo Las Conchas, con epicentro en las cercanías de la localidad de Hersilia, donde se superan los 500 mm mensuales.

Se observa otro núcleo importante con idéntico orden de precipitación, en la cuenca del arroyo Calchaquí, con epicentro en la zona de Colonia La Camila y Colonia La Negra.

Este segundo núcleo se caracteriza por su importante extensión areal, dado que se observa que zonas alejadas más de 50 km a la redonda del epicentro del núcleo muestran todavía precipitaciones del orden de 300 a 350 mm.

Complementariamente, cabe destacar que en la zona más baja de la cuenca del río Salado, en la zona de Esperanza, próxima a la ciudad de Santa Fe, las curvas de isohietas de marzo de 2003 muestran valores del orden de 200-250 mm.

En cuanto al Plano 4.4, de abril de 2003 muestra coincidencia con el elaborado por la DPOH, con los epicentros indicados en La Gallareta y Gdor. Crespo y se detecta un núcleo de 300-350 mm en la zona de Elisa, Jacinto Arauz y Cnia. Ituzaingó y otro núcleo de 300 mm cercano a Moisesville.

Se destaca nuevamente en este plano la gran extensión areal en particular sobre el eje norte-sur de la cuenca del río Salado, donde la línea de precipitaciones iguales o mayores que 300 mm se extiende prácticamente a lo largo de más de 200 km.

Finalmente, cabe observar el Plano 4.5 donde se han sumado las precipitaciones de marzo y abril de 2003, englobándolas así en un único evento que muestra la solicitación desarrollada sobre la cuenca.

Nuevamente aparece un núcleo sobre la zona de La Rubia y La Hersilia, con valores del orden de 700 mm, pero lo destacable aquí es la presencia de un área sometida a 400-500 mm de precipitación en el bimestre sobre todas las áreas de alimentación de los principales afluentes (Las Conchas, San Antonio, Cululú).

Análogamente, el núcleo cercano a La Gallareta aparece como muy importante sobre la cuenca del río Calchaquí, superando los 900 mm a lo largo de más de 60 km, y los 800 mm en más de 110 km, en ambos casos en dirección norte-sur.

Sobre la zona cercana a Esperanza y Santa Fe la precipitación bimestral ronda los 400 a 500 mm.

En conclusión, los planos presentados ilustran sobre la gran solicitación pluvial que soportó la cuenca, tanto en dirección norte sur del cauce principal como en la zona oeste sobre los afluentes principales del río Salado.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 44
---	--	---

4.2.- CARACTERIZACIÓN HIDROLOGICA DE LA ZONA

Se efectúa una caracterización hidrológica del río Salado a partir de distintos parámetros recopilados, tales como alturas hidrométricas, del río Salado y del río Paraná, caudales diarios, mensuales y anuales, caudales mínimos, medios y máximos de los principales afluentes, precipitaciones anuales, sus recurrencias, y precipitaciones históricas del bimestre marzo-abril, duración y frecuencia de caudales, etc...

Para ello, se recopilaron y analizaron los registros de las series de caudales y alturas del río en las estaciones con datos disponibles.

Se realizó el análisis estadísticos de los caudales del río. Ello incluye los caudales normales, caudales de pico, la tasa de cambio de caudales y alturas y volúmenes de crecida entre otros.

4.2.1 Series históricas de niveles

4.2.1.1 Alturas diarias del río Salado en la Ruta Provincial 70

El historial de alturas diarias del río Salado en la Ruta Provincial 70, unos 50 km antes de su desembocadura, se remonta a marzo de 1952 y se extiende hasta el mes de junio de 2003, con excepción de un período faltante entre enero de 1987 y marzo de 1983. Incluye por lo tanto la crecida del año 2003, objeto del presente estudio.

En la **Figura 4.2.1.1** se ilustra sobre la totalidad del registro disponible, pudiéndose rescatar de las cifras que la originan los siguientes valores:

Promedio histórico: 2.46 m.
Máximo histórico: 7.89 m (29/04/2003)
Mínimo histórico: 0.05 m (14/12/70)

Esto origina un rango de variación entre valores extremos de casi 8 m.

Asimismo, el citado gráfico permite visualizar la presencia de un período de mayores alturas hidrométricas a partir de 1973, que se ve interrumpido entre los años 1994 y 1997, retomando a partir de ese momento la presencia de valores de altura más importantes.

4.2.1.2. Alturas diarias del río Salado en Ea. Menchaca

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 45

El historial de mediciones del río Salado en Ea. Menchaca se extiende entre febrero de 1992 y noviembre de 1997, reproduciéndose gráficamente las alturas diarias en la **Figura 4.2.1.2.1.**

En consecuencia, no incluye las tres mayores crecidas del río Salado, o sea las de 1973, 1998 y 2003.

La altura media del registro se establece en 1.60 m y la banda de variación cubre el rango comprendido entre -0.38 m y 3.96 m.

4.2.1.3. Alturas diarias del Ao. Golondrina en Fortín Olmos

El historial de mediciones del Ao. Golondrina en Fortín Olmos se extiende entre agosto de 1955 y junio de 2003, con algunos períodos faltantes, a saber:

- entre febrero y diciembre de 1962
- entre junio de 1963 y mayo de 1965,
- entre diciembre de 1969 y abril de 1971

El histograma de niveles se reproduce en la **Figura 4.2.1.3.1**

La altura media del registro se establece en 1.00 m y la banda de variación cubre el rango comprendido entre -0.01 m y 3.58 m.

4.2.1.4 Niveles del río Paraná

En el río Paraná, en el puerto de Santa Fe, se cuenta con una estación de registro de niveles hidrométricos diarios, operada por la DNVN, que cubre un historial completo entre 1905 y 2003.

El análisis de dicho registro muestra que a partir de la década de 1970 se produce un incremento de las alturas hidrométricas, el cual se ha debido fundamentalmente a la presencia de un ciclo húmedo en relación a las precipitaciones, a la vez que se registró un incremento de los niveles mínimos merced al aprovechamiento y regulación que ejercen los embalses brasileños en la alta cuenca.

Está claro que para los diversos estudios hidráulicos e hidrológicos se ha adoptado la serie del río Paraná que comienza en la década del 70 en virtud de los nuevos patrones de comportamiento basados fundamentalmente en el cambio climático por una parte y en la regulación debida a las presas brasileñas de la alta cuenca.

A título ilustrativo, para visualizar la variabilidad de niveles posibles del río Paraná se presenta en la **Figura 4.2.1.4.1** el historial de niveles diarios a partir del año 1988 y hasta marzo de 2003.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 46

Del análisis de los datos surgen los siguientes valores característicos:

- PROMEDIO 12,35 m IGM (3.95 m en el hidrómetro)
- MAXIMO 15,83 m IGM (7.43 m en el hidrómetro)
- MINIMO 9,93 m IGM (1.53 m en el hidrómetro)

Se observa un rango de variación para el período considerado de 5.90 m, considerando ambos extremos de la serie.

En el momento del máximo nivel del río Salado en el evento de 2003, la altura del río Paraná en Santa Fe era de 5.29 m, es decir 1.34 m por sobre el promedio del período.

4.2.1.5. Alturas del río Salado en la estación INALI

Esta estación opera desde 1971 y se halla en la desembocadura del río Salado, a unos 300 m aguas arriba de la Ruta Nacional 11, de manera que los niveles en la misma pueden estar afectados por los correspondientes del río Paraná, en particular en condiciones de aguas medias y altas de éste.

En el informe del INA-UNL se establece la siguiente correlación de niveles máximos entre ambas escalas:

$$H_{\text{maxi}} = 0.936 * H_{\text{maxp}} + 0.265$$

Donde:

H_{maxi} es el nivel máximo del río Salado en la estación INALI

H_{maxp} es el nivel máximo en la estación Santa Fe del río Paraná

En condiciones de aguas bajas del río Paraná, el río Salado se independiza de esa condición de borde y los niveles de éste último se establecen por sus condiciones hidrodinámicas propias, y en ocasión de grandes crecidas del río Salado pueden influir sobre los niveles que adopta el río Paraná en el complejo entramado Laguna Setúbal - Río Coronda / Santa Fe - Canal de Acceso al puerto de Santa Fe.

Se dispuso, además, de los valores diarios de alturas hidrométricas, los que se reproducen en la **Figura 4.2.1.5.1.**

Del análisis de los datos surgen los siguientes valores característicos:

- PROMEDIO 3.96 m en el hidrómetro
- MAXIMO 7.31 m en el hidrómetro
- MINIMO 0.56 m en el hidrómetro

Se observa el amplio rango de variación de alturas, que es del orden de 7 m.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 47

4.2.2 Series históricas de caudales

Se dispuso de datos históricos de caudales en varias estaciones, los que se describen en los próximos párrafos.

4.2.2.1. Caudales medios diarios del río Salado en R.P.70 - Estación Esperanza

El estudio llevado a cabo por el INA-CRL, denominado Caracterización Hidrológica de la Cuenca Baja del río Salado, realizado en 1986, dispuso de valores de caudales medios diarios, comprendidos entre 1954 y 1982, con lo que conformó una planilla de caudales medios mensuales, destacando en el estudio que se aprecia una gran variabilidad en la distribución de los caudales máximos y mínimos, no pudiéndose identificar claramente los períodos típicos de crecidas y estiajes.

Los valores característicos definidos en este estudio son los siguientes:

Qmax: 2430 m³/s
Qmin: 0 m³/s
Rango: 2430 m³/s
Módulo: 105.3 m³/s
Relación rango/módulo: 24
Desvío Standard: 102 m³/s

Se verifica una franja de gran amplitud entre caudales máximos y mínimos mensuales y de éstos respecto del año medio. La gran variación aparece no sólo en términos estacionales sino también interanuales.

Indica el informe que los caudales medios anuales no se hallan agrupados cíclicamente en períodos hiperanuales por sobre o por debajo del valor medio ni muestran tendencia alguna, alternando de manera disímil alrededor del mismo.

El caudal medio anual más grande en el período analizado en el estudio es el de 1973 con un valor de 423 m³/s y el menor es el de 1968 con 18.2 m³/s.

Por otra parte, de la representación gráfica de caudales diarios en años extremos, seco y húmedo, se muestra que el módulo no refleja el comportamiento real del río Salado, dado que los valores diarios superan (en particular para el año 73) en más de 25 veces el módulo, mientras que en el año seco (1970) solamente durante quince días los caudales superaron el módulo.

A los efectos del presente estudio, el historial de caudales diarios disponibles del río Salado en la Ruta Provincial 70, a partir de información proporcionada por EVARSA, se extiende entre el 01/01/54 y el 31/08/2003. Incluye por lo tanto la crecida del año 2003, además de las otras dos grandes crecidas, como lo fueron las de 1973 y 1998.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 48
--	--	---

Parte de esta información está disponible en el Anuario de Caudales del INCYTH CRL, pero limitada al período 1977-1986, por lo que se utilizó la información citada en primer término.

Existe un vacío de información de caudales en el período enero de 1987 a marzo de 1983.

En la **Figura 4.2.2.1.1** se ilustra sobre la totalidad del registro disponible de caudales medios diarios, pudiéndose rescatar de las cifras que la originan los siguientes valores:

Promedio histórico: 144.42 m³/s.
Máximo histórico: 3954.46 m³/s (30/04/2003)
Mínimo histórico: 0.08 m³/s (14/12/70)

Esto indica que la máxima crecida histórica generó un caudal medio diario máximo equivalente a 27,5 veces el módulo del río.

Se destaca claramente el caudal pico correspondiente a la crecida del año 2003, mientras que los otros picos que le siguen en importancia son los de 1998, 1973, 1977 y 1981, es decir que en las últimas 3 décadas se produjeron los cinco máximos valores de la serie histórica.

A fin de destacar los caudales picos diarios anuales en la **Figura 4.2.2.1.2** se ha representado el histograma de los máximos caudales medios diarios de cada uno de los años que conforman la serie histórica disponible.

Ambas figuras muestran una clara tendencia al aumento del caudal a partir de la década de 1970, con una mayor frecuencia de aparición de caudales máximos anuales en los últimos años, situación que se ha repetido en varias zonas del país.

4.2.2.2 Caudales medios mensuales del río Salado en la Ruta Provincial 70

Se dispuso del registro de caudales medios mensuales para el período citado en el párrafo anterior, proporcionado por EVARSA. En base al mismo, es posible ilustrar sobre varias características hidrológicas del río Salado.

En la **Figura 4.2.2.2.1** se presentan los caudales medios mensuales medios, que permiten ilustrar sobre la estacionalidad del río Salado, el cual presenta su período de creciente entre los meses de febrero y junio con el pico en el mes de mayo.

El valor medio mensual medio del mes de mayo se eleva a 240 m³/s. Por otra parte, el período de estiaje se presenta en el mes de setiembre, para el cual se registra un valor de 73 m³/s.

Asimismo, en la **Figura 4.2.2.2.2** se presentan los caudales medios mensuales

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 49
--	--	---

históricos máximos, destacándose que aparece como máximo valor el correspondiente al mes de febrero de 1998, con un valor medio mensual de 1819 m³/s. Le sigue en orden de importancia el del mes de mayo de 2003, con un valor medio mensual de 1671 m³/s.

Para el caso de los valores mínimos de caudales medios mensuales, que se ilustra en la **Figura 4.2.2.2.3**, el mínimo valor histórico corresponde a diciembre de 1962, con un valor de 1.45 m³/s. Por otra parte, en la misma figura se observa que el máximo valor de los mínimos mensuales se registró en marzo de 1968 con 26 m³/s, claramente separado respecto del resto de los valores, lo que da una idea de que el mes de marzo constituye un mes de alta posibilidad de verificación de caudales altos.

En la **Figura 4.2.2.2.4** se presenta el histograma de los caudales medios anuales de la serie histórica disponible, junto con el módulo del río. Se observa que hasta el año 1972 el módulo fue superado en muy pocas oportunidades, permitiendo identificar un período de escasez hídrica, que cambia radicalmente a partir del año 1973.

Asimismo, en la **Figura 4.2.2.2.5** se presentan en forma gráfica el derrame anual de la serie histórica disponible, expresado en hm³ y la lámina escurrida equivalente en l/s/km². Estas dos curvas, si bien son proporcionales entre sí y con la de caudales medios anuales históricos, permiten apreciar en forma cuantitativa la variación de volúmenes y de láminas escurridas en el historial disponible del río.

En cuanto a la lámina de escurrimiento resulta en promedio de 154 mm, presentando el año hidrológico 1997-98 el máximo valor histórico con 675 mm.

4.2.2.3 Caudales diarios del río Salado en San Justo

El estudio hidrológico del INCYTH-CRL del año 1986 descarta la utilización de datos del río Salado en San Justo, debido al gran número de interrupciones.

Si se analiza el material disponible en el anuario de caudales del INCYTH-CRL del año 1987, se observa que el registro en esta estación se extiende entre junio de 1978 y diciembre de 1986, pero sólo se dispone de datos completos de los años 1980 y 1986.

4.2.2.4. Caudales del río Salado en Tostado (ruta provincial 4)

Los datos disponibles para este análisis corresponden a caudales diarios del anuario del INCYTH-CRL y cubren el período de octubre de 1980 a diciembre de 1986.

En el estudio hidrológico del INCYTH-CRL se cubre y se analiza el período comprendido entre los años 1980 y 1983. La variación entre caudales máximos y mínimos mensuales es inferior a la que se registra en la estación Esperanza, próxima a la desembocadura.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 50

Los valores que se indican en ese estudio son los siguientes:

Qmax: 25.3 m³/s
Qmin: 0.9 m³/s
Rango: 24.4 m³/s
Módulo: 12.3 m³/s
Relación rango/módulo: 2.05

En el caso particular de esta estación, al disponer para el actual estudio de registros que se extienden hasta el año 1986, obtenidos del anuario citado, fue posible recalcular esos valores, obteniéndose los siguientes resultados:

Qmax: 29.55 m³/s
Qmin: 0.96 m³/s
Rango: 28.74 m³/s
Módulo: 14.71 m³/s
Relación rango/módulo: 1.95

Se observa que el módulo del río Salado en Tostado, con el agregado de tres años al registro, es ahora algo superior, con un valor de 14.71 m³/s.

A partir de los valores máximos, medios y mínimos diarios del período 1980-1986 se pudo establecer la variación a lo largo del año y el rango entre caudales diarios mínimos, máximos y medios puede apreciarse en la **Figura 4.2.2.4.1**.

4.2.2.5. Arroyo Las Conchas en Estación La Cabral

El historial del estudio hidrológico del INA CRL para este afluente del río Salado cubre del año 78 (parcialmente) hasta el 1983, destacándose los siguientes valores:

Qmax: 80.1 m³/s
Qmin: 0 m³/s
Rango: 80.1 m³/s
Módulo: 16.6 m³/s
Relación rango/módulo: 5

Merced a la incorporación de tres años más de registros extractados del citado anuario, se obtuvieron los siguientes resultados.

Qmax: 167.53 m³/s
Qmin: 0 m³/s
Rango: 167.53 m³/s
Módulo: 25.93 m³/s
Relación rango/módulo: 6.46

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 51
---	--	---

A partir de los valores máximos, medios y mínimos diarios del período 1978-1986 se pudo establecer la variación a lo largo del año y el rango entre caudales diarios mínimos, máximos y medios puede apreciarse en la **Figura 4.2.2.5.1**.

Se destaca en este afluente la presencia de varios meses de caudales diarios nulos, en particular en el año 1980, lo que generó la forma del gráfico que se observa en la citada figura en cuanto a los mínimos diarios.

También se observa que se incrementó el módulo en un 55 % debido a la gran incidencia de los tres años húmedos 1984 al 1986.

4.2.2.6. Arroyo San Antonio en Estación Petronila

El estudio hidrológico del INA-CRL presenta los caudales medios mensuales del período 1953 a 1983, elaborados en base a caudales medios diarios, disponiendo así de un registro más extenso que en el afluente anterior, pero al no disponerse de los valores de caudal diario, el análisis en este caso se extiende con valores mensuales.

El arroyo presenta un régimen irregular con grandes picos y de corta duración. Los valores disponibles hasta 1983 son los siguientes:

Qmax: 901 m³/s
Qmin: 0 m³/s
Rango: 901 m³/s
Módulo: 7.44 m³/s
Relación rango/módulo: 121

Se incorporaron registros entre 1984 y 1986 obrantes en el anuario del INCYTH-CRL, pero debido al corto período agregado y a que no se superaron los valores anteriores en ninguno de los sentidos, los valores extremos se consideran inalterados.

Sólo cabría la disquisición de considerar con los valores de los caudales medios mensuales el recálculo del módulo, el que resulta de 8.22 m³/seg al disponer de un registro extendido hasta 1986. Este incremento en el módulo pese al número de años incorporado se justifica porque los años 1984 y 1986 fueron hídricamente ricos, con módulos superiores a 17 m³/s.

La variación a lo largo del año y el rango de variación entre caudales mensuales mínimos, máximos y medios puede apreciarse en la **Figura 4.2.2.6.1**.

Dado que para este arroyo se dispuso también de los valores máximos anuales de los caudales medios diarios, se reprodujo la evolución de los mismos en el histograma de la **Figura 4.2.2.6.2**.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 52
---	--	---

4.2.2.7 Arroyo Cululú en Estación Cululú

El estudio hidrológico del INA-CRL dispone de caudales medios mensuales del período 1978 a 1983. A pesar de su corta duración, presenta una gran variabilidad en magnitud y distribución en el tiempo. Los valores disponibles son los siguientes:

Qmax: 1060 m³/s
Qmin: 0 m³/s
Rango: 1060 m³/s
Módulo: 21.8 m³/s
Relación rango/módulo: 48.6

Se destaca en esta estación que en el año 1981 se presentaron dos situaciones extremas, con grandes crecidas en el primer semestre y un pronunciado estiaje en el segundo semestre.

Por otra parte, la crecida de 1981 se caracterizó por generar un derrame anual (1700 hm³) equivalente a la suma de los dos años previos y los dos posteriores. También se destaca que la crecida de 1981 concentró el 89 % en el primer semestre.

La extensión del período de análisis hasta 1986 con los datos del anuario del INCYTH-CRL, permitió obtener los siguientes valores:

Qmax: 1060 m³/s
Qmin: 0 m³/s
Rango: 1060 m³/s
Módulo: 18.12 m³/s
Relación rango/módulo: 58.5

En este caso se observa que al incorporar nuevos años al registro el módulo bajó. Esto se debe al gran peso que tuvo la crecida de 1981, que ya estaba incorporada en el historial anterior.

La variación a lo largo del año y el rango de variación entre caudales mensuales mínimos, máximos y medios puede apreciarse en la **Figura 4.2.2.7.1**.

4.2.2.8 Aforos y leyes altura-caudal

El estudio hidrológico del INCYTH-CRL, como se presentara precedentemente, consideró las estaciones Esperanza y Tostado en el río Salado y La Cabral, Petronila y Cululú en los tres arroyos afluentes importantes y consistió en lo siguiente:

- Cómputo de caudales medios diarios, a partir de niveles diarios medidos y leyes H-Q

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 53
---	--	---

- A partir de la serie de caudales medios diarios, determinación de medias mensuales, máximos y mínimos, módulos, caudales característicos y curvas de duración y frecuencia.

Las leyes H-Q disponibles para las estaciones mencionadas se resumen en el siguiente cuadro (alturas en m y caudales en m³/s):

Río/arroyo	Estación	Rango	Ecuación
Salado	Tostado	Total	$Q = 1.6512 * H^{2.0845}$
Salado	Esperanza	H<4.17	$Q = 15.8591534 * H^{1.75698}$
		4.17<=H< 6.01	$Q = -24.57-254.469 * H + 73.7155 * H^2$
		H>= 6.01	$Q = 1539.8 - 1204.88 * H + 188.522 * H^2$
Las Conchas	La Cabral	Total	$Q = 4.735 + 0.5069 * H + 12.379 * H^2$
San Antonio	Petronila	H< 1.27	Varias curvas
		1.27<= H< 3.25	$Q = -11.7553 + 15.5452 * H + 1.40458 * H^2$
		H>= 3.25	$Q = 0.2368099 * H^{4.60125}$
Cululú	Cululú	H< 1.42	$Q = 11.80157 * H^{1.90494}$
		1.42<= H<3.44	$Q = 9.48429 * H^{2.51955}$
		H>= 3.44	$Q = 785.82 - 654.699 * H + 141.898 * H^2$

La ecuación presentada para la estación Esperanza es la propuesta en el estudio del INA-UNL para la nueva conexión vial Santa Fe – Santo Tomé, y en el mismo se afirma que esta ecuación difiere de la de EVARSA en que ésta última subestima los valores bajos y sobreestima los valores altos.

Se dispone de datos correspondientes a un conjunto de aforos en la Ruta Provincial 70, proporcionados por EVARSA, conformando un total de 75 mediciones, desarrolladas entre los años 1990 y 2003.

En la **Figura 4.2.2.8.1** se presentan los puntos correspondientes a los aforos realizados por EVARSA, a la vez que se incluyen las curvas representativas de las tres ecuaciones indicadas obtenidas por el INCYTH.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 54
---	--	---

Como se indica en el citado informe, la curva de descarga pudo ser obtenida a través de todo el rango de niveles medidos, incluyendo los máximos históricos, de manera que no existen problemas de extrapolación, lo que hace que la incertidumbre en la determinación de caudales se reduzca a posibles errores de medición o de caudales que desborden fuera del cauce principal y su valle de inundación.

4.2.3 Estadísticas de lluvias y caudales

4.2.3.1. Estadísticas de precipitaciones según estudios antecedentes

Analizando los resultados que se presentan en el estudio del INA CRL, Caracterización Hidrológica de la cuenca baja del río Salado, de 1986, se resumen en la **Tabla 4.2.3.1.1** las principales variables estadísticas, para un conjunto de 16 estaciones de la cuenca, a saber:

RAFAELA
ESPERANZA
PILAR
CAYASTACITO
SAN JUSTO
GDOR CRESPO
CALCHAQUÍ
V. SARALEGUI
MORTEROS
HUMBERTO
SUNCHALES
SUARDI
CERES
SAN CRISTOBAL
LA CABRAL
V. TRINIDAD

En esa tabla, se presentan las siguientes magnitudes:

- Valor medio de precipitación anual (X en mm)
- Desvío standard (S en mm)
- Asimetría (As)
- Coeficiente de exceso (K)
- Coeficiente de variación (Cv)
- Lag

Esas variables a su vez se grafican en mapas en el respectivo estudio, indicándose en él las siguientes conclusiones:

- La precipitación media anual tiene un definido gradiente este-oeste con isolíneas comprendidas entre 1000 y 900 mm dentro de la cuenca. La estación de máximo valor medio es Calchaquí con 1022 mm y la mínima es

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 55
--	--	---

Morteros con 856 mm.

- Los desvíos standard decrecen de sur a norte, con un núcleo fuerte en Sunchales, con una isolínea cerrada de 260 mm. El rango de desvíos abarca desde 203 mm (Ceres) hasta 267 mm (Sunchales).

Por otra parte, a partir de las series constituidas por las precipitaciones anuales de cada una de las estaciones, se determina en el estudio que una ley teórica de probabilidades centrada en la media, como lo es la de Gauss, ajusta bien en el centro y va perdiendo aproximación hacia los valores extremos, tanto superior como inferior.

En el estudio del INA CRL se presentan los valores de precipitaciones máximas y mínimas probables con la serie 1912-1982, que se reproduce en la Tabla 4.2.3.1.2, para recurrencias de 10, 50 y 200 años para el conjunto de 15 estaciones. En este análisis, se han calculado además los valores medios máximos y mínimos de esas recurrencias a fin de analizar la dispersión entre distintas estaciones.

Se observa que para las diversas recurrencias analizadas, la diferencia porcentual entre la máxima y la mínima estación en cuanto a los máximos valores probables ronda entre el 19 % y el 22 %. Esta situación no se da para el caso de las recurrencias de los mínimos valores de precipitación anual, donde la dispersión oscila entre el 24 % y el 44 %.

A su vez se ha construido la **Figura 4.2.3.1.1**, donde se ilustra sobre las precipitaciones máximas y mínimas probables para tres estaciones, una ideal intermedia y las dos extremas (Gdor. Crespo y Ceres para los máximos) y Calchaquí y Suardi, para los mínimos.

Resulta interesante analizar los valores reproducidos en la **Tabla 4.2.3.1.3** extractada del citado estudio, en el que se presentan los períodos de retorno calculados de las precipitaciones anuales de cuatro años húmedos y tres años secos, correspondientes al historial disponible.

Se observa la enorme dispersión entre esos valores, tanto es así que para un año dado (por ej. 1981), la estación Cayastacito tiene una recurrencia de 3333 años, mientras que Saralegui o Calchaquí en ese mismo año tienen una recurrencia de 2 años.

Esto resulta indicativo, tal como se expresa en el informe, que en los años de máxima, las precipitaciones extremas se separan de la recta de Gauss, situación que no resulta tan evidente en los mínimos, que se acomodan mejor a dicha recta.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 56

4.2.3.1.2 Ampliación del análisis con nuevos datos

4.2.3.1.2.1 Precipitaciones anuales

La disposición de nuevos datos permitió efectuar algunos análisis comparativos, para evidenciar la tendencia evolutiva del clima, en particular en relación con las condiciones de cambio climático instaladas en las últimas décadas.

Así, para un grupo de las estaciones indicadas en el punto 4.2.3.1.1 se pudo hacer una comparación de los promedios de los valores anuales de precipitación, que se presentan en la **Figura 4.2.3.1.2.1**, y se resumen en la siguiente tabla.

Fig. 4.2.3.1.2.1

ESTACION	S. Justo Salad.	Calchaquí	S. Cristóbal	Ceres	Esperanza	Rafaela
Serie original	999,00	1.022,00	942,00	876,00	977,00	963,00
Serie ampliada	1.032,67	1.103,15	947,69	896,11	951,16	922,73
Serie 1972-2002	1.032,67	1.148,31	1.134,26	1.003,34	1.257,33	1.052,26

Se observa un incremento cuando se consideran solamente los últimos 30 años de precipitaciones, respecto de la serie original y de la serie ampliada.

Para completar el análisis, efectuando las comparaciones de las tendencias, se aplicó la misma ley de distribución de probabilidades, de Gauss al conjunto de precipitaciones anuales, que se había adoptado en el estudio mencionado del INCyTH CRL, pero esta vez a la serie total en donde se incorporaron los nuevos datos de precipitaciones anuales disponibles y además también la denominada serie corta, que corresponde a los datos del año 1973 hasta la fecha, para aquellas estaciones en las que estuvieron disponibles los datos.

Con la citada ley de distribución normal se redeterminaron las precipitaciones anuales para 10, 50 y 200 años de recurrencia, y los resultados obtenidos se resumen en la **Tabla 4.2.3.1.2.1**.

Se ha calculado también el incremento porcentual de las precipitaciones anuales respecto del dato originalmente disponible, destacándose claramente que la incorporación de los nuevos datos y la consideración de la serie corta muestra un incremento en casi todas las estaciones consideradas.

4.2.3.1.2.2 Precipitaciones del bimestre marzo-abril

Para las estaciones disponibles con un récord histórico adecuado se analizó cómo se comportó el bimestre marzo-abril de 2003, en relación a los otros años, destacándose lo siguiente.

- San Justo (**Figura 4.2.3.1.2.2**): el valor del bimestre, de 417 mm es el tercero

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 57

en el historial disponible. Fue superado en 2002 y 2000.

- Fortín Olmos (**Figura 4.2.3.1.2.3**): el valor del bimestre, de 543 mm fue superado en tres oportunidades desde el año 19730. Además, se destaca que en esta estación, el valor de marzo de 2003, mes antecedente a la gran crecida, fue el máximo histórico con 332 mm.
- Esperanza: (**Figura 4.2.3.1.2.4**): el valor del bimestre, de 377 mm fue superado en 10 oportunidades desde el inicio del registro, en 1901.
- Rafaela: (**Figura 4.2.3.1.2.5**): el valor del bimestre, de 336 mm fue superado en 15 oportunidades desde el inicio del registro, en 1902.
- Ceres: (**Figura 4.2.3.1.2.6**): el valor del bimestre, de 539 mm es el máximo histórico desde el inicio del registro, en 1900.
- San Cristóbal: (**Figura 4.2.3.1.2.7**): el valor del bimestre, de 547 mm es el segundo máximo del registro, que se inició en 1915, después del de 1973.
- Calchaquí: (**Figura 4.2.3.1.2.8**): el valor del bimestre, de 723 mm es el máximo histórico en el período disponible desde 1947.
- Tostado: (**Figura 4.2.3.1.2.9**): el valor del bimestre, de 327 mm ha sido superado en nueve oportunidades en el historial disponible, desde 1937.
- Reconquista: (**Figura 4.2.3.1.2.10**): el valor del bimestre, de 549 mm ha sido superado en cuatro oportunidades en el historial disponible, desde 1948.
- Vera: (**Figura 4.2.3.1.2.11**): el valor del bimestre, de 723 mm prácticamente comparte la primera posición histórica con el de 1973(724 mm) en el historial disponible, desde 1948.

4.2.3.2. Estadísticas de caudales

En el presente estudio se actualizan las estadísticas de caudales disponibles, analizando básicamente las dos siguientes condiciones:

- Frecuencia y duración de caudales
- Recurrencia de caudales máximos

Duración de caudales según el estudio del INCYTH-CRL

El estudio hidrológico del INCYTH-CRL de 1986, elaborado con datos que llegan al año 1983, analiza para dos estaciones en el río Salado y una estación en cada uno

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 58

de los arroyos afluentes principales, las curvas de duración y frecuencia de caudales en base a datos de caudales medios diarios, definiendo los siguientes valores característicos:

- Caudal característico máximo: superado 10 días al año (3% de duración)
- Caudal característico medio: superado 180 días el año (50 % de duración)
- Caudal característico mínimo: superado 355 días al año (97% de duración)

Con esta caracterización, se resume la información obtenida en ese informe en el siguiente cuadro:

Río / arroyo	Estación	Período	Módulo (m3/s)	Q caract. máximo	Q caract. Medio	Q caract. mínimo
Salado	Tostado	1980-1983	12.3	21.7	13.2	0.6
Salado	Esperanza	1954-1982	105	570	50	2
Las Conchas	La Cabral	1979-1983	16.6	93	6.5	0.7
San Antonio	Petronila	1953-1983	7.44	45	2	
Cululú	Cululú	1979-1983	21.80	160	2	0.5

Concluye el estudio del INCYTH CRL que, salvo en la estación Tostado, donde el río Salado posee una gran capacidad de amortiguación, en el resto de las estaciones, el módulo supera ampliamente el caudal característico medio, lo que resulta claramente indicativo de las características de variabilidad del régimen.

Esta apreciación es rápidamente confirmada por el análisis de las curvas de duración que se expone en los siguientes párrafos.

4.2.3.2.1 Duración de caudales medios mensuales en RP 70 Esperanza

La estadística de caudales medios mensuales de EVARSA en la Ruta Provincial 70, en la estación Esperanza, cubre el período 1954 a 2003, con un vacío por falta de datos entre los años 1986 y 1993.

De la tabla resumen de esa información se presenta la **Figura 4.2.3.2.1.1**, que ilustra sobre la permanencia o duración de caudales medios mensuales, y de la misma se extraen los siguientes valores característicos:

- Q 95 % de excedencia → 9.23 m3/s
- Q 50 % de excedencia → 80.1 m3/s
- Q 5 % de excedencia → 488.6 m3/s

Se observa aquí una gran diferencia entre el módulo del río y el valor de excedencia de caudales medios mensuales del 50 %, lo que denota una gran variabilidad del río.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 59
---	--	---

4.2.3.2.2 Duración de caudales medios diarios en RP 70 Esperanza

Con la totalidad del registro de caudales medios diarios disponibles, para el período 1954-2003 (salvo el período faltante entre 1986 y 1993), se construyó la curva de duración de caudales medios diarios, que se reproduce en la Figura 4.2.3.2.1.

4.2.3.2.3 Duración de caudales medios diarios en el río Salado en Tostado

La disponibilidad de tres años adicionales de registro de caudales diarios permitió reelaborar las curvas de duración y frecuencia del río Salado en Tostado, la que se presenta en la **Figura 4.2.3.2.1**.

El caudal de permanencia 50 % resulta prácticamente coincidente con el módulo.

4.2.3.2.4 Duración de caudales medios diarios en el Arroyo Las Conchas (La Cabral)

La disponibilidad de tres años adicionales de registro de caudales diarios permitió reelaborar las curvas de duración y frecuencia del arroyo Las Conchas en La Cabral, la que se presenta en la **Figura 4.2.3.2.1**.

El caudal de permanencia 50 % resulta bastante inferior al módulo.

4.2.3.2.5 Duración de caudales medios diarios en el Arroyo San Antonio (Petronila)

La disponibilidad de tres años adicionales de registro de caudales diarios permitió reelaborar las curvas de duración y frecuencia del arroyo San Antonio en Petronila, la que se presenta en la **Figura 4.2.3.2.1**.

El caudal de permanencia 50 % resulta bastante inferior al módulo.

4.2.3.2.6 Duración de caudales medios diarios en el Arroyo Cululú (Cululú)

La disponibilidad de tres años adicionales de registro de caudales diarios permitió reelaborar las curvas de duración y frecuencia del arroyo Cululú en Cululú, la que se presenta en la **Figura 4.2.3.2.1**.

También en este caso, el caudal de permanencia 50 % resulta bastante inferior al módulo.

4.2.3.2.7 Recurrencia de valores extremos diarios del río Salado en la R.P. 70

El Estudio Hidrológico e Hidrodinámico para la Nueva Conexión Vial Santa Fe-Santo Tomé, realizado por el INA-UNL, que abarcó hasta el año 1998 resumió los siguientes valores característicos, tomados a partir de los máximos caudales medios diarios de cada año:

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 60

Longitud de la serie: 41 años
 Caudal máximo diario medio: 554 m3/s
 Desvío 546 m3/s
 C asimetría 2.27
 Coef. Variación 0.986
 Caudal máximo máximo 2430 m3/s
 Caudal máximo mínimo: 103 m3/s

Ello le permitió generar la siguiente tabla de recurrencias

Recurrencia (años)	Caudal (m3/s)
100	2550
50	2150
10	1250
2	370

Asimismo, en dicho estudio, y basado en la clara tendencia a la aparición de mayor cantidad de crecidas importantes luego del inicio de la década del 70, se generó un análisis de frecuencia considerando sólo el período 1971-1998, con lo cual se obtuvieron los siguientes valores:

Longitud de la serie: 23 años
 Caudal máximo diario medio: 782 m3/s
 Desvío 634 m3/s
 C asimetría 1.66
 Coef. Variación 0.81
 Caudal máximo máximo: 2430 m3/s
 Caudal máximo mínimo: 139 m3/s

Se destaca un aumento del 40 % en el caudal máximo medio. Una nueva determinación de probabilidades de ocurrencia arrojó con la serie corta los siguientes valores:

Recurrencia (años)	Caudal (m3/s)
100	3010
50	2590
10	1615
5	1190
2	600

Es importante destacar que las crecidas de 1973 y 1998 pasaron de recurrencias 100 y 50 años a 50 y 20 años, respectivamente al pasar de la serie completa a la serie corta.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RÍO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 61

Con posterioridad, en otros estudios, como el Estudio Hidráulico de Defensas contra Inundaciones de INCOCIV, desarrollado para el Gobierno de la Provincia de Santa Fe en 2003, se redeterminó la ley de recurrencia de caudales extremos.

Es útil reproducir el siguiente cuadro, extractado de ese estudio, en el cual se ilustra sobre los máximos caudales diarios registrados para el río Salado.

Máximos caudales registrados en el río Salado – Ruta Provincial 70

Año	02-03	97-98	72-73	76-77	80-81	77-78	83-84	85-86	78-79	01-02
Caudal (m3/s)	3954	2672	2429	1782	1420	893	798	697	696	689

En este estudio se aclara que se usa la serie corta, con inicio en el año hidrológico 1970-1971 y hasta junio de 2003, y los máximos anuales corresponden a caudales medios diarios máximos (no máximos instantáneos).

Los valores obtenidos en dicho estudio, considerando el promedio resultante de las distribuciones EX y Pearson se exponen en el siguiente cuadro:

Recurrencia (años)	Caudal (m3/s)
1000	6250
500	5470
250	4825
100	4110
50	3470
20	2630
10	2000
5	1375
2	380

En la **Figura 4.2.3.2.7.1** se ilustra sobre las curvas de recurrencia de caudales máximos anuales diarios obtenidas en los dos estudios del INA-UNL y en el de INCOCIV, rescatándose las siguientes conclusiones:

Del análisis de ese gráfico surgen varias observaciones, que resultan importantes para encuadrar la importancia de la crecida del año 2003.

- **Existe un fuerte incremento de caudales para cada recurrencia entre las series corta y larga que llegan hasta 1998, lo que refleja justamente la presencia de un ciclo húmedo que se inicia en la década de 1970.**
- El incremento de caudal para cada una de las recurrencias es mucho más

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 62
---	--	---

importante aún cuando se incluyen los años posteriores a 1998, debido a la fuerte incidencia del valor registrado en el año 2003.

- Los otros tres años incorporados a la serie (1999-2002) no representaron valores importantes de caudal, por lo que esta gran diferencia radica exclusivamente en el fenómeno del año 2003.
- El valor máximo cercano a 4000 m³/s verificado en el año 2003 hubiera sido claramente un “outsider” en cualquiera de las proyecciones anteriores a la realizada con posterioridad al evento.
- El valor de 4000 m³/s del evento de 2003 tiene las siguientes recurrencias, según las tres leyes descriptas:

Serie corta INCOCIV.....90 años
Serie corta INA-UNL.....580 años
Serie larga INA-UNL.....>1000 años

Lo expuesto anteriormente se refuerza si se observa el gráfico de la **Figura 4.2.3.7.2**, que representa el incremento de caudales para cada una de las dos variantes enunciadas, es decir serie corta frente a serie larga con datos hasta el año 1998 y serie corta con registro total hasta 2003 frente a serie corta hasta el año 1998.

Se observa que el efecto de la inclusión del año 2003 es mucho más importante que el de considerar la serie corta frente a la larga.

4.2.4 Condiciones medias y eventos históricos

A partir de las descripciones de los capítulos anteriores, es posible ahora efectuar los análisis de los eventos históricos, en particular el del año 2003 en relación con los valores medios de las variables en juego.

Para ello, conviene referirse a las precipitaciones por un lado y los caudales por el otro, dado que consisten en los dos extremos de la cadena hidrológica a considerar para el análisis de las crecidas del río Salado.

4.2.4.1 Precipitaciones

Para comparar el evento de 2003 con las condiciones medias históricas, se dispuso de las precipitaciones diarias entre el 1-12-02 y el 30-04-03 para las estaciones existentes en los siguientes departamentos provinciales:

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 63

529	9 de Julio
533	Vera (faltó enero de 2003)
614	San Justo
678	Castellanos
790	Las Colonias
811	La Capital

Se determinó la precipitación mensual media de cada uno de los meses del período para esos departamentos, y se los volcó en los gráficos de las **Figuras 4.2.4.1.1.1 a 4.2.4.1.1.7**.

En estas figuras, en aquellos casos en que se contó con la precipitación histórica de alguna estación importante, se la incluyó para la comparación con la de la estación y del departamento para este período. Se advierte claramente como el período de diciembre de 2002 a abril de 2003 se halló muy por encima de los valores históricos.

4.2.4.2. Caudales

A partir de las consideraciones efectuadas en los capítulos referidos a series históricas, resulta conveniente establecer las condiciones de caudales medios y eventos históricos que conforman el patrón de escurrimiento del río Salado.

En tal sentido, resulta ilustrativo mostrar como es la evolución de los módulos obtenidos con las series históricas disponibles, a fin de establecer el grado de importancia de cada uno de los cursos aportantes.

En la **Figura 4.2.4.2.1** se muestra sobre la composición del módulo, destacándose que al no haber registros del río Calchaquí, los valores del mismo surgen de la diferencia entre los acumulados hasta su confluencia con el río Salado y del módulo conocido en Esperanza.

Se aprecia que el aporte del río Calchaquí en términos de módulo, representa aproximadamente el 50% del valor del río en la Ruta Provincial 70.

4.2.5 Recurrencias combinadas del río Paraná y del río Salado

4.2.5.1. Recurrencia de niveles del río Paraná

En el Estudio Hidrológico y de Modelación Hidrodinámica para la Nueva Conexión Vial Santa Fe Santo Tomé del INA-UNL, se hace referencia a estudios de niveles extremos del río Paraná para diversas permanencias, realizados por Paoli et al. para las obras de defensa de la Avenida Costanera (hasta el año 1991/92) y del subsistema Ruta Nacional 168 - Alto Verde (hasta el año 1994/95), a la vez que en el estudio se extiende la serie hasta 1997, en todos los casos a partir de 1961..

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 64

Los valores de diversas recurrencias para 1 día y 30 días de permanencia se exponen en el siguiente cuadro:

NIVELES EXTREMOS EN EL RIO PARANA

Santa Fe

Recurrencia (años)	Cota extrema (m) IGM				
	Máximo 1 día		Máximo 30 días		Máximo 1 día
	Costanera	RN168-A.Verde	Costanera	RN168-A.Verde	INA-UNL
2	13,29	13,37	12,89	12,69	13,46
5	14,28	14,33	13,79	13,70	14,41
10	14,88	14,88	14,27	14,25	14,96
20	15,43	15,36	14,66	14,61	15,44
50	16,09	15,90	15,09	14,99	16,00
100	16,56	16,27	15,36	15,22	16,37

Según estudios INA-UNL y Paoli (Costanera y RN168-Alto Verde)

	Altura extrema (m) en hidrómetro				
Recurrencia	Máximo 1 día		Máximo 30 días		Máximo 1 día
(años)	Costanera	RN168-A.Verde	Costanera	RN168-A.Verde	INA-UNL
2	5,10	5,18	4,70	4,50	5,27
5	6,09	6,14	5,60	5,51	6,22
10	6,69	6,69	6,08	6,06	6,77
20	7,24	7,17	6,47	6,42	7,25
50	7,90	7,71	6,90	6,80	7,81
100	8,37	8,08	7,17	7,03	8,18

El informe de INA-UNL explicita su serie para una duración de un día, y dado que se halló que para todas las recurrencias y para ambas series consideradas, la relación entre las alturas hidrométricas de 30 días y de 1 día es del orden de 0.90, indica la utilización de ese factor para pasar a duraciones de 30 días.

También resulta digno de destacar el estudio de INCOCIV, en donde se determinan alturas máximas para distintas permanencias y recurrencias en el Puerto de Santa Fe, que se resumen en la siguiente tabla, considerando la serie extendida hasta el año 2003:

Recurrencia de alturas máximas Río Paraná
Estudio INCOCIV

T(años)	Diaria		7 días		15 días		30 días	
	Alturas	Cotas	alturas	cotas	Alturas	cotas	Alturas	cotas
2	5,16	13,34	5,11	13,29	5,01	13,19	4,75	12,93
5	6,12	14,30	6,06	14,24	5,93	14,11	5,63	13,81
10	6,70	14,88	6,63	14,81	6,46	14,64	6,10	14,28
20	7,21	15,39	7,13	15,31	6,91	15,09	6,49	14,67
50	7,82	16,00	7,71	15,89	7,42	15,60	6,92	15,10
100	8,24	16,42	8,11	16,29	7,76	15,94	7,19	15,37
200	8,62	16,80	8,48	16,66	8,06	16,24	7,42	15,60
500	9,09	17,27	8,92	17,10	8,41	16,59	7,67	15,85

Fuente: estudio hidráulico de la obra de defensa de Santa Fe. INCOCIV 2003

Estos valores a su vez se han ilustrado en la **Figura 4.2.5.1.1.**

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 65

4.2.5.2 Recurrencia de niveles mínimos del río Paraná en Puerto Santa Fe

El informe del INA-UNL presenta valores de recurrencia de valores mínimos del río Paraná en Puerto Santa Fe, destacando que el interés de los mismos radica en que ante una situación de crecida del río Salado y estiaje en el río Paraná podrían intensificarse los procesos de erosión.

En el citado informe se usa el estudio de CACIK y otros, de 1994, que considera la serie completa. Las relaciones obtenidas en ese estudio, además de las obtenidas luego por INA-UNL, con datos hasta 1997, se presentan en el siguiente cuadro:

NIVELES EXTREMOS EN EL RIO PARANA

MINIMOS

Santa Fe

Recurrencia (años)	Cota extrema (m) IGM			
	Mínimo 1 día		Mínimo 30 días	
	Cacik	UNA-INL	Cacik	UNA-INL
2	9,37	10,10	9,95	10,61
5	8,46	9,10	8,97	9,56
10	8,05	8,60	8,50	9,03
20	7,74	8,10	8,13	8,51
50	7,45	7,70	7,74	8,09
100	7,20	7,40	7,49	7,77

Según estudios INA-UNL y Paoli (Costanera y RN168-Alto Verde)

Recurrencia (años)	Altura extrema (m) en hidrómetro			
	Mínimo 1 día		Mínimo 30 días	
	Cacik	UNA-INL	Cacik	UNA-INL
2	1,18	1,91	1,76	2,42
5	0,27	0,91	0,78	1,37
10	-0,14	0,41	0,31	0,84
20	-0,45	-0,09	-0,06	0,32
50	-0,74	-0,49	-0,45	-0,10
100	-0,99	-0,79	-0,70	-0,42

Se observa que los valores de INA-UNL son considerablemente más altos, sobre todo para las recurrencias más bajas.

4.2.5.3 Influencia entre el río Paraná y el río Salado

Desde el punto de vista del funcionamiento de ambas cuencas, las mismas resultan independientes, e inclusive con cierto defasaje entre los períodos de picos, dado que el Paraná tiene su período de crecida de diciembre a marzo, mientras que el río Salado tiende a su crecida hacia el mes de mayo.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 66

Es lícito entonces considerar la probabilidad de ocurrencia de eventos conjuntos como el producto de las probabilidades de ambos fenómenos independientes, es decir que un período de retorno de 100 años podría ser la combinación de un evento de 50 años de recurrencia en un río y 2 años de recurrencia en el otro.

No obstante ello, conviene recordar que ha habido casos de mutua dependencia entre los niveles de ambos ríos, para el caso de crecidas de larga duración como el río Paraná en 1983 y 1998, o la crecida del año 2003, que ha generado caudales tan altos en el río Salado que tuvieron su influencia sobre el nivel del río Paraná en Santa Fe.

Al definirse una crecida de proyecto para dimensionar una cierta obra el nivel de riesgo al que estará sometida la misma depende de:

- Probabilidad de excedencia de la crecida de proyecto
- Vida útil de la obra

Esto es estrictamente válido para obras y cursos de agua con regímenes independientes, sin influencias de cuencas vecinas.

Pero el área de la zona de Santa Fe se ve sometida a la influencia conjunta de dos cursos de agua como son el Paraná y el Salado, siendo el primero de ellos el que determina en ciertas condiciones las condiciones de borde de la posibilidad de descarga del río Salado.

Sin embargo, es sabido que para el caso de altos caudales en el río Salado, se produce una dependencia de los niveles del puerto de Santa Fe respecto de los niveles generados por el río Salado, dependencia que es más fuerte cuando más bajos son los niveles del río Paraná.

En cambio para crecidas importantes del Paraná y crecidas de menor importancia del río Salado, la afectación del nivel debido a éste último es prácticamente despreciable.

Se destaca que el río Salado llega al Paraná mediante la descarga en Cuatro Bocas y desde allí al río Coronda y al Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe.

4.3 EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMATICO

4.3.1. El cambio climático como fenómeno global

4.3.1.1. ¿De que se trata?

La Tierra recibe radiación solar que atraviesa la atmósfera con poca absorción. Una

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 67
--	--	---

parte es reflejada al espacio exterior por las nubes, la propia atmósfera y por la superficie terrestre y otra es absorbida en esta última. A su vez, la superficie del planeta y la atmósfera reemiten energía en forma de radiación pero en otra longitud de onda ya que están mucho más frías que el sol. La atmósfera no es transparente a esta radiación terrestre y la mayor parte es absorbida, excepto en una determinada banda del espectro llamada en la jerga técnica la ventana de radiación porque por ella escapa al espacio la radiación terrestre. La emisión de radiación saliente es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura y la distribución de temperatura en el planeta es tal que está en equilibrio con la radiación solar absorbida. La opacidad de la atmósfera en la mayor parte del espectro de la radiación terrestre actúa como un invernadero y por ello la temperatura del planeta es mayor (unos 30° C) que la que tendría en su ausencia.

Algunos pocos gases, como el agua y el dióxido de carbono, absorben parte de la radiación saliente en la banda espectral de la ventana de radiación. Cuando su concentración aumenta, es menor la radiación saliente al espacio exterior y por lo tanto se produce un calentamiento del planeta. La mayor temperatura adquirida aumenta la radiación saliente hasta equilibrar nuevamente la radiación solar absorbida. El metano y el óxido nitroso son los otros dos gases de invernadero importantes.

La humanidad es aún incapaz de modificar directamente el contenido de vapor de agua, porque éste está regulado por la temperatura que condiciona su remoción a través de la condensación y la congelación.

En cambio, hay evidencias incuestionables que las emisiones de origen antrópico de los otros gases de efecto invernadero (GEI) han modificado sus concentraciones atmosféricas. Las emisiones de dióxido de carbono por la quema de hidrocarburos tuvieron un crecimiento de tipo exponencial desde el comienzo del período industrial. A las mismas se deben sumar las que se originan en la deforestación, cuya estimación aproximada es tres o cuatro veces menor que la anterior.

Parte del dióxido de carbono emitido está siendo captado por los océanos, por la biosfera y los suelos y casi la mitad se está acumulando en la atmósfera. Esto último origina el aumento de las concentraciones que han aumentado un 30 % en los últimos 150 años (**Fig. 4.3.1**). La concentración de metano aumentó en un 150 % en el mismo periodo y la del óxido nitroso en un 16 % (**Fig. 4.3.1**).

Las emisiones de GEI tienen una permanencia media en la atmósfera que va desde alrededor de 15 años en el metano, a 100-150 años en el dióxido de carbono y 290 años en el caso del óxido nitroso. Hay otros GEI artificiales, afortunadamente de muy baja emisión, para los que se estiman tiempos permanencias en la atmósfera antes de su destrucción de entre 40 y miles de años según la especie química de que se trate.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 68

El hecho que los tiempos de vida de los GEI sean en muchos casos superiores a los 100 años implica que, en el caso hipotético de que las emisiones antrópicas se redujeran a cero, la atmósfera continuaría conteniendo concentraciones superiores a las del periodo preindustrial por muchas décadas y decayendo sólo en uno o dos siglos a los valores del periodo preindustrial. Como por otra parte, la capacidad calorífica del sistema climático es enorme, particularmente en los océanos, el equilibrio térmico con las nuevas concentraciones de GEI se alcanza sólo después de 50 a 100 años.

El efecto combinado de la prolongada permanencia de los GEI en la atmósfera y del retardo con que las temperaturas del sistema climático se acomodan a las nuevas concentraciones de los GEI implica que las emisiones presentes tendrán un efecto acumulativo y que los mayores perjuicios se sentirán en el futuro no muy inmediato.

Por esta razón es que desgraciadamente no se generan las necesarias presiones para modificar la actitud colectiva global. Ello explica porque si bien hay un importante conocimiento científico, la Humanidad no parece dispuesta en su conjunto a asumir los costos de mitigar el Cambio Climático en beneficio de las futuras generaciones y de la conservación de las otras especies vivas.

A esta problemática se la ha dado en llamar el Cambio Climático. En rigor se trata de un Calentamiento Global del planeta que entraña ciertamente un importante cambio climático no sólo en temperatura sino en otras variables climáticas importantes para la vida y las actividades productivas como la precipitación, los vientos y la humedad.

4.3.1.2 ¿Qué está sucediendo?

La temperatura promedio del planeta en la superficie aumentó 0,6° C en los últimos 150 años. Ambos hemisferios muestran básicamente las mismas tendencias y fluctuaciones (**Fig. 4.3.2**). Hay toda una serie de indicadores del sistema climático que son consistentes con esta tendencia. Por ejemplo, se observa una retirada general de los glaciares y la temperatura de la superficie del mar se calentó al menos en 0,6° C.

Como la capacidad calorífica de la capa del mar calentada es de al menos 35 veces la de la atmósfera, este calentamiento muestra que ha habido una formidable acumulación de calor en el planeta. La temperatura nocturna aumentó más rápidamente que la diurna desde 1950 lo que es indicando que el aumento de la temperatura es por el efecto invernadero y no por el aumento de la radiación solar. También hay una aceleración del ciclo hidrológico, lo que es consistente con el calentamiento global.

Todos estos y otros indicios son coincidentes en indicar que hubo un calentamiento global, sobretudo en los últimos 30 años que tiene la impronta del aumento de las concentraciones de GEI, como lo es también, aunque parezca paradójico al

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 69

entendimiento profano, el enfriamiento de la estratosfera desde 1980 en más de 0.5° C.

Tratándose de una tendencia de un sólo siglo, se deben descartar como posibles causas los cambios en los parámetros de la órbita terrestre, que por otra parte en las presentes circunstancias conducirían a un enfriamiento. En efecto, la reconstrucción paleoclimática de la temperatura del Hemisferio Norte indica una tendencia negativa hasta fines del siglo XIX con un brusco cambio de tendencia (**Fig. 4.3.3**).

También deben descartarse los procesos geológicos ya que originan cambios muy lentos y sólo importantes en escalas de miles a millones de años. Las otras posibles causas a considerar son:

- La variación de la radiación solar. Su contribución al calentamiento desde el comienzo del periodo industrial ha sido seis veces menor que la de los GEI.
- Los cambios en la actividad volcánica, cuya contribución sería similar a la anterior
- La variabilidad interna. Es decir, cambios que pueden ocurrir por la dinámica interna del sistema climático sin ninguna causa externa.

Mediante el uso de modelos climáticos se puede descartar con gran probabilidad, que la variabilidad interna haya generado la tendencia global observada.

Sobre la base de estos resultados el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) en su informe del año 2000 ha concluido que la tendencia al calentamiento observada en el siglo XX tiene una importante componente de origen antrópico.

4.3.1.3 El futuro

El nivel a que llegarán las concentraciones de los GEI va a depender de numerosos factores cuya predicción es bastante compleja tales como el crecimiento económico, el desarrollo hacia una sociedad con mayor o menor equidad, el crecimiento demográfico, los cambios tecnológicos y las respuestas colectivas de la humanidad para reducir o al menos disminuir la tasa de crecimiento de las emisiones.

Se pueden construir tantos escenarios como combinaciones posibles de los factores determinantes de las emisiones de GEI sin mayor certeza sobre cual ha de ser el que realmente ocurra (**Fig. 4.3.4**) Un posible escenario es el que supone que se van a mantener aproximadamente las tendencias actuales en los factores determinantes de las emisiones de GEI. En menos de un siglo, este escenario llevaría las concentraciones de dióxido de carbono a más del triple de las concentraciones preindustriales, las del metano a 5 veces más y las del nitroso a casi el doble.

¿Cuánto y como será el impacto en el clima y como estará distribuido

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 70
---	--	---

geográficamente? Para contestar estas preguntas, la única metodología válida, aunque aún imperfecta es la de simular el clima con modelos climáticos globales (MCG) y realizar experimentos con distintos escenarios posibles de concentración de GEI. Estos modelos representan matemáticamente los procesos físicos del mar, la atmósfera, el suelo y la criósfera y simulan su evolución temporal mediante el uso de grandes computadoras. Sólo los modelos más elaborados han sido capaces de simular, a partir de la evolución de las concentraciones de los GEI, los cambios climáticos de escala global ya observados durante el siglo pasado.

Esto genera cierta confianza en su habilidad para simular aproximadamente el clima y su variabilidad. Para el año 2060, en que se duplicaría la concentración de dióxido de carbono, estos modelos pronostican un calentamiento medio de 2 grados (Fig. 4.3.5) en la temperatura global de la superficie del planeta, con mayor calentamiento en las latitudes altas y en invierno, fundamentalmente en los continentes del hemisferio norte donde habría zonas con más de 8° C de calentamiento. Más allá del 2100, el calentamiento puede ser mucho mayor, dependiendo críticamente de la evolución futura de las emisiones.

4.3.1.4 Impactos esperados

El calentamiento global no es ni será uniforme geográficamente. Ello implica cambios en los actuales gradientes de temperatura y en la circulación de los vientos, la distribución de las precipitaciones y las corrientes marinas. Ello está introduciendo, e instalará en el futuro, cambios climáticos regionalmente diferentes.

Como los MCG tienen aún una capacidad limitada para simular el clima en la escala regional, entendiendo por tal la que va desde una localidad a un continente, existe aún gran incertidumbre sobre la evolución futura de los climas regionales. Si bien los modelos son consistentes entre sí en sus predicciones para la escala global, presentan diferencias en la escala regional particularmente en las simulaciones de los campos actuales de la precipitación y en su predicción futura.

Por ello no se tiene al presente una herramienta adecuada para estudiar los impactos del cambio climático a escala regional. Esto es una importante limitación en los estudios de vulnerabilidad ya que la mayor parte de los probables impactos ecológicos, económicos y sociales son de escala regional o local. Sin embargo, los modelos son consistentes en la predicción de algunos aspectos.

Para el siglo XXI, en escala global se espera un aumento de la intensidad del ciclo hidrológico con mayores precipitaciones, aunque en algunas regiones pueda darse lo contrario. Se espera también una mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos asociados a las precipitaciones intensas, cosa que ya está ocurriendo.

Con mucha certeza, se estima que aumentará el nivel medio del mar, el que hacia el 2100 estaría en alrededor de 60 cm. por encima de su nivel actual. Ello implicará la consiguiente desaparición de varios estados insulares del Caribe y la

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 71
--	--	---

Polinesia, y problemas severos en muchas áreas costeras en particular en los deltas y costas de estuarios. Las poblaciones costeras que están aumentando rápidamente se verían obligadas a migrar y las pérdidas en instalaciones costeras serían inmensas. Sólo en los EE.UU. están estimadas en 100.000 millones de dólares.

Otro impacto global seguro es el de la fertilización de gran parte de la biosfera con el consiguiente cambio ecológico. Parte de la vegetación tiene un tipo de fotosíntesis llamada de ciclo 3. En estos vegetales, el dióxido de carbono es un factor limitante, por lo que su aumento favorecerá su desarrollo. Otros vegetales, de ciclo 4, no tienen como factor limitante al dióxido de carbono y por lo tanto su fotosíntesis no se vería modificada.

El aumento de la concentración del dióxido de carbono puede alterar el equilibrio ecológico favoreciendo la expansión del primer tipo de vegetales a expensas del segundo. A esto, se sumarán los efectos de los cambios climáticos sobre los ecosistemas que pueden resultar muy críticos en los sistemas aislados como los de montaña o humedales donde se podría llegar a la extinción masiva de muchas especies.

En la agricultura, no se esperan grandes problemas a escala global aunque sí regionales. Las pérdidas de productividad en ciertas áreas serían compensadas por los aumentos en otras. Sin embargo, los rápidos avances en la biotecnología hacen esperar una igualmente veloz adaptación a las nuevas condiciones del Clima.

Finalmente, y muy importante para tener en cuenta, el impacto será mayor en todo sentido en los países en desarrollo por carecer del conocimiento y de la organización para anticipar y adaptarse al Cambio Climático.

4.3.1.5 ¿Qué se puede o debería hacer?

Cuando se considera el potencial de calentamiento de las emisiones de GEI de los últimos años discriminando por actividad antrópica, el 48 % corresponde al sector energético (quema de combustibles en su gran mayoría), 24% corresponde a las pérdidas de Clorofluorocarbonos, 13% se atribuye a la deforestación, principalmente en el Amazonas y en Borneo y 9% se debe al sector agropecuario, fundamentalmente a la ganadería bovina y al cultivo del arroz por inundación, principal fuente de alimentación de la mitad de la humanidad. El resto se origina en el manejo de los residuos orgánicos y en algunas industrias.

Como sobre las emisiones de los clorofluorocarbonos y otras sustancias que dañan la capa de ozono están vigentes reducciones acordadas en el Protocolo de Montreal, el sector energético contribuye con dos tercios del potencial de calentamiento de las emisiones restantes.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 72
--	--	---

En consecuencia, cualquier intento de mitigar seriamente el Cambio Climático debe pasar por una reducción drástica (del orden del 50 %) en la quema de hidrocarburos y en el futuro su eliminación. Como los hidrocarburos son la principal fuente de energía utilizada por la humanidad, más del 80% del total, esto no sería posible en las próximas dos o tres décadas sin causar una catástrofe económica mundial.

La sustitución de los hidrocarburos como fuente energética en esa magnitud no parece muy factible en un horizonte de 10 a 20 años. La única energía primaria tecnológicamente desarrollada y suficientemente abundante es la nuclear. Además de ser altamente cuestionada por sus riesgos ambientales y de seguridad, es mucho más costosa.

Las llamadas energías no convencionales como la solar y eólica, son de muy baja densidad y sólo pueden llegar a ser una alternativa económicamente viable en algunas pocas regiones. Por ello a escala global sólo pueden jugar un rol complementario, al igual que la hídrica, dentro de un amplio espectro de alternativas a la quema de hidrocarburos.

Aparentemente, la solución deberá provenir de un gran salto tecnológico que hoy se puede vislumbrar que con alta probabilidad vendrá de la biotecnología. Con rendimientos muy superiores a los actuales, el espacio hoy dedicado a la producción de alimentos podría llegar a ser ampliado y compartido para la producción de bio-combustibles probablemente a costos no muy distintos a los de los hidrocarburos.

De todos modos, las soluciones tecnológicas, muy probablemente no alcancen a resolver el problema, si no están acompañadas por un cambio en las conductas colectivas de la humanidad que lleven a la limitación del crecimiento del consumo superfluo y de la tasa de crecimiento de la población.

4.3.1.6 Intereses y respuestas

La preocupación internacional sobre el Cambio Climático se vio plasmada en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) firmada en 1992 en Río de Janeiro y en el contexto de la misma, en el Protocolo de Kyoto en 1997. Ambos instrumentos de política internacional constituyen los primeros pasos hacia una solución colectiva, integrada y progresiva hacia la mitigación de este grave problema.

En general, como los efectos negativos del Cambio Climático se manifestarán crudamente en el futuro mediano, la respuesta colectiva de la humanidad dentro de la CMNUCC o fuera ella es apenas tibia y claramente insuficiente. En parte es porque este problema y su solución son de una enorme complejidad.

La suma de incertezas que caracterizan muchos de los aspectos de esta problemática hace que los sectores (países, regiones, industrias, etc.) que puedan

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 73
--	--	---

resultar afectados no tengan una respuesta activa. Quizá sólo el aumento del nivel del mar es un efecto que ha alertado a ciertas naciones para tener una posición sumamente activa, tales como Holanda y los países insulares.

Muy diferente es la situación con respecto a las iniciativas para mitigar el Cambio Climático. Como ellas se discuten para el presente o futuro inmediato, los actores e intereses que se beneficiarán o perjudicarán con cualquiera de ellas son mucho más fácilmente identificables. De allí surgen posiciones activas tanto a favor de la mitigación del cambio climático como en contra. Como otra vez el problema es altamente complejo, la suma de intereses contradictorios lo hace aún más intrincado.

Por todo lo expuesto, el cambio climático de los próximos decenios es ya inevitable. Como ya se mencionó, la permanencia prolongada de las emisiones y la inercia térmica del sistema climático que aún no se ha ajustado a las actuales concentraciones de GEI hacen irrelevantes las diferencias entre los escenarios de emisiones para la respuesta del Clima en los próximos 30 años (Fig.4.3.5) Por ello, existe una tendencia creciente a privilegiar los estudios sobre la vulnerabilidad y la inevitable adaptación.

4.3.2. Las tendencias climáticas en Argentina

En el territorio argentino se registraron importantes tendencias climáticas que muy probablemente estén vinculadas con el cambio climático global en curso. La atribución de estas tendencias al aumento de la concentración de GEI se discute en la sección 4.3.4 para el caso de la precipitación y para la temperatura a continuación.

4.3.2.1 La temperatura

El crecimiento de las ciudades está acompañado de aumento de temperatura, dentro y en los alrededores de las mismas. Cuando ese efecto se corrige, la temperatura promedio de toda la región subtropical de Argentina no ha tenido casi tendencia entre 1910 y 1990 (Camilloni y Barros 1995).

Sin embargo en casi toda esa región, las temperaturas mínimas aumentaron en alrededor de un grado en el periodo 1940/1990, mientras las máximas se redujeron en la misma cantidad (Hoffmann et al, 1997). Esto último es lo típico de un proceso de calentamiento por aumento del efecto invernadero.

En la Patagonia, hay tendencias positivas de la temperatura en los últimos 50 años. Las mismas se hacen cada vez mas pronunciadas hacia el sur, superando un grado en el sur de Santa Cruz y en Tierra del Fuego (Hoffmann et al, 1997).

4.3.2.2 Las precipitaciones medias

El cono sur de América del Sur es la región subcontinental del planeta con la mayor

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE	DOC.: SSF-IF-01-0
	ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 74

tendencia positiva en la precipitación anual durante el siglo XX (Giorgio 2003). Ello a pesar de que esta tendencia fue marcadamente negativa al oeste de los Andes. La diferencia entre las dos regiones es la mas marcada de una tendencia que se observa en todos los continentes en sus regiones subtropicales. Esto es, tendencias positivas en el este y negativas en el oeste, La excepción es África del sur donde el continente subtropical es muy escaso, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla. Este aspecto se volverá a discutir en la sección de atribución del cambio observado.

REGIÓN	TENDENCIA (%)
Chile	- 50
SE Sudamérica	+ 23
O Australia	- 23
E Australia	+ 20
O América Norte	- 10
E América Norte	+ 20
E Europa - África	- 17
E Asia	+ 2

Entre 1956 y 1991, en la región al este de los Andes, entre 20° S y 40° S, el incremento en las precipitaciones medias anuales fue mayor al 10 % en la mayor parte del territorio argentino al norte de 40° S y en amplias zonas, mayor al 40% (Castañeda y Barros, 1994) (**Fig. 4.3.6**). Algunos ejemplos se ilustran en la **Figura 4.3.7**.

Las regiones, donde se han producido las mayores tendencias positivas son el oeste de la Provincia de Buenos Aires y el sur de Corrientes. En ambas los incrementos fueron de más de 400 mm en los valores medios anuales en apenas 35 años. En la primera de ellas, el incremento porcentual fue casi del 50 % y en la misma se han venido registrando frecuentes inundaciones y algunos campos bajos se han transformado en lagunas permanentes.

En el caso de Corrientes, el estero y lagunas del Iberá han expandido su superficie notoriamente, excepto este año en el que por una sequía prolongada ha vuelto a la superficie que tenía en la década del 60.

El aumento de las precipitaciones no fue simultáneo sobre toda la región. En el sur de Brasil y norte de Argentina, las tendencias más positivas se iniciaron a partir de mediados de la década de 1970 (**Fig. 4.3.7 a, b y c**) y están correlacionadas con la mayor intensidad y frecuencia del fenómeno de El Niño (Barros y Doyle 1996; Barros et al 2000). No se debe descartar otros vínculos como el calentamiento del Atlántico sur occidental (Liebmann et al 2003).

En el sur de la Argentina subtropical, esto es en la provincia de Buenos Aires, las tendencias positivas comenzaron desde la década de 1960 (**Fig. 4.3.7, d, e y f**) simultáneamente con un notable calentamiento de las zonas polares (Barros y Doyle

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 75

1996; Barros et al 2000).

En la Argentina subtropical, las mayores tendencias se han registrado en el verano y las estaciones intermedias con escasa o nula tendencia en el invierno (Castañeda y Barros 1994), pero al oeste de 59° W, las tendencias positivas importantes se registraron sólo en el verano y el otoño (Castañeda y Barros 2000).

4.3.2.3 Las precipitaciones extremas

Un completo análisis de las tendencias en las precipitaciones extremas está aún sin realizar. Por ello, en la **Figura 4.3.8** se muestran las precipitaciones máximas diarias de dos regiones de un grado de longitud por un grado de latitud de la Pcia. de Santa Fe.

Aparentemente, estos valores se mantuvieron estables hasta 1990, a pesar del cambio en los valores medios anuales. Desde esa fecha, se registra una tendencia muy positiva y lo relativamente reciente de este último cambio, puede haber hecho que pasara desapercibido hasta el evento de abril de 2003.

Mas al sur, en la Pcia. de Buenos Aires, la frecuencia de precipitaciones diarias por encima de 100 mm se incrementó a partir de 1970 (Canziani 2003). La **Figura 4.3.9** muestra la mayor frecuencia de estos eventos con precipitación por encima de 100 mm después de 1970 en comparación con la de la primera parte del siglo. Cabe señalar que los eventos como los que se computan en esta figura son los que pueden producir inundaciones, sobretodo si las condiciones del terreno no facilitan el escurrimiento o lo concentra en determinados lugares.

4.3.2.4. Características de las precipitaciones extremas

En la región subtropical de la Argentina, la precipitación se alimenta del vapor de agua que proviene fundamentalmente del continente tropical y en menor medida del Atlántico (Wang y Paegle 1996; Doyle y Barros 2002). La mayor parte de la lluvia se origina en nubes convectivas, especialmente en el verano, primavera y otoño. Estas nubes convectivas, denominadas cumulonimbus, alcanzan un espesor vertical de varios miles de metros.

La precipitación que originan es intensa, asociada frecuentemente con actividad eléctrica y con vientos intensos. Su dimensión típica es del orden de 10 Km de diámetro y alcanzan alturas de hasta 15.000 m. Pueden presentarse en forma aislada, pero lo más común es que en gran número formen parte de sistemas de mayor escala como los frentes o ciclones extra-tropicales.

Un sistema convectivo de gran importancia en el sudeste de América del Sur, lo que incluye a la Argentina Subtropical, son los llamados sistemas convectivos de mesoescala (SCM) (Velasco y Fritch 1987). Estos sistemas son de una dimensión menor que la de los ciclones extra-tropicales y los frentes, pero pueden estar

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 76
---	--	---

asociados a estos últimos. Su radio característico es de alrededor de 200 Km y la precipitación que producen pueden alcanzar enorme intensidad, más de 100 mm en pocas horas. Algunos autores estiman que en el nordeste del país, estos sistemas pueden ser responsables de hasta el 70 % del total de la lluvia estival. Sin suscribir esta cifra, es cierto que las precipitaciones de los SCM en la Argentina subtropical tienen un enorme potencial destructivo, no sólo por su intensidad, sino porque abarcan grandes superficies de hasta 50 000 Km²

El sudeste de América del Sur es una de las dos regiones del mundo - la otra es la zona sur del medio oeste de los Estados Unidos- donde estos fenómenos son mas frecuentes (Nesbitt y Zisper 2000). Se cree que esta particularidad se debe en gran parte a la presencia en ambas regiones de una intensa corriente de aire húmedo y cálido proveniente del trópico. Esta corriente se encuentra en las capas bajas de la atmósfera y aporta la necesaria enorme cantidad de vapor de agua para alimentar los SCM.

La presencia de los SCM se reflejan en los valores mensuales como puede observarse en la Figura 4.3.10. En ella se muestra la anomalía con respecto a la precipitación media mensual de varios meses de abril. Se aprecia que en muchos casos se registran uno o dos centros con anomalías de más de 200 mm con una escala espacial que es la típica del MCS.

La presencia inferida de estos sistemas abarca toda la región subtropical del este de América del Sur, por lo que debe esperarse que en el futuro puedan producirse en cualquier área de la misma. Véase en esta figura, que en el mes de abril hay una incidencia de núcleos de precipitación positiva anómala (probablemente SCMs) durante casi todos los eventos EN, esto es en los meses de abril de 1980, 1983, 1987, 1991, 1992, 1993, 1995 y 1998. Pero esos núcleos también ocurrieron en durante periodos no Niños como 1985, 1986 y 1990.

La característica predominantemente convectiva de las precipitaciones en la Argentina subtropical, y primordialmente su origen en SCM de gran intensidad, contribuyen a agravar los efectos negativos de las mismas cuando caen sobre zonas donde las condiciones de escurrimiento no son propicias para la evacuación de las aguas superficiales dentro de los cauces normales. De esta forma, su secuela son las inundaciones con efectos destructivos.

La mayor fuente de variabilidad interanual de la precipitación en la Argentina subtropical es la fluctuación de la temperatura superficial del Océano Pacífico tropical donde se desarrolla el fenómeno conocido como El Niño (EN) (Ropelewsky y Halpert 1987; Kiladis y Díaz, 1989; Barros y Silvestri 2002) Se han realizado importantes progresos en el pronóstico de la ocurrencia del Niño, el que puede ser generalmente anticipado con varios meses de antelación.

Además, se conoce la respuesta de la precipitación regional al fenómeno del Niño

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 77

en términos estadísticos (Grimm et al 2000). Sin embargo, si bien prácticamente toda la Argentina es vulnerable a la ocurrencia de intensas lluvias y probables inundaciones durante EN, es aún difícil anticipar para cada evento en que zona se desarrollarán las tormentas más intensas. Ello se debe a que apenas uno o dos sistemas del tipo SCM suelen definir la zona de mayor precipitación para cada fase del evento EN en una forma bastante aleatoria, aunque siempre dentro de la gran región subtropical del este de América del Sur (Fig. 4.3.10).

4.3.3 Consecuencias hidrológicas de los cambios de la precipitación

En la Argentina subtropical, las isoyetas corren de norte a sur. De esta forma, el aumento de las precipitaciones medias anuales sobre toda la región, implicó el desplazamiento de las mismas hacia el oeste. Ello ayudó a la expansión de la frontera agrícola dando lugar a una importante valorización de las tierras en una franja que va desde La Pampa hasta Santiago del Estero que hasta la década de 1960 era considerada semiárida.

Por otra parte, en amplias zonas de las provincias de Santa Fe, Buenos Aires y Corrientes, las cada vez más frecuentes cuando no, continuas inundaciones de la llanura constituyen el lado negativo de este cambio para el sector agrario.

4.3.3.1 Humedad en suelo

En las regiones con bajo declive, el balance de agua se da prácticamente en la vertical, esto es entre la precipitación, la evaporación y la infiltración y como esta es relativamente pequeña, entre las dos primeras. La evaporación depende en gran medida de la temperatura. Con el aumento de las precipitaciones sin mayor cambio en las temperaturas, el balance hídrico en el suelo se ha tornado más positivo, aumentando la humedad en los suelos y el escurrimiento superficial, que como veremos se reflejó en los caudales de los ríos.

En las zonas con escaso escurrimiento o cuando el desbalance es muy rápido, los suelos permanecen encharcados o cubiertos por una lámina de agua constituyendo una amenaza para la infraestructura vial, algunos cascos urbanos y un gran perjuicio para la actividad agraria. Este efecto se ha hecho más notorio debido al aumento de las precipitaciones en el otoño y la primavera cuando las temperaturas no son tan elevadas.

4.3.3.2 Caudales medios

El aumento de las precipitaciones estuvo acompañado de una tendencia similar en los caudales de los ríos. La Figura 4.3.11 muestra los caudales medios anuales de los tres grandes ríos de la Cuenca del Plata y del río Salado. En todos los casos se aprecia el inicio de un marcado tren positivo desde mediados de la década del 70. Este hecho fue documentado en varios trabajos, como por ejemplo García y Vargas (1998) y Genta et al 1998)

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 78

Como el aumento de los caudales de toda la cuenca del Plata fue proporcionalmente mayor al de las precipitaciones, se ha especulado que el aumento de los caudales pudo haberse originado en el cambio del uso del suelo. En gran parte de Brasil y Paraguay y en menor medida en Argentina se desforestó la superficie boscosa para realizar agricultura lo que podría haber generado mayores escurrimientos (Tucci y Clark). Sin embargo, aunque el cambio de uso del suelo puede haber contribuido al aumento de los caudales, independiente de ello, la respuesta porcentual en los caudales totales más que duplica los cambios porcentuales de las precipitaciones integradas sobre la cuenca.

Ello se puede comprobar al considerar dos años seguidos, en los que el efecto del cambio del uso de suelo es insignificante y, sin embargo, el cambio porcentual en los caudales es aproximadamente el doble que en la precipitación. Por ejemplo, durante el año 1998 llovió un 23% más en la cuenca del Plata que en 1999 mientras que el caudal medio de los ríos varió entre esos mismos años un 44%, tal como se muestra en la siguiente Tabla (Berbery y Barros 2002).

	Precipitación (m³ s⁻¹)	Escurrimiento (m³ s⁻¹)	Evaporación + Infiltración (m³ s⁻¹)
1998	107000	36600	70400
1999	81600	20440	61600
Diferencia	23 %	44 %	13 %
El Niño	76000	25250	50750
La Niña	71000	21640	49360
Diferencia	7 %	17 %	3 %
1951-1970	72000	19300	52700
1980-1999	83500	26000	56500
Diferencia	16 %	35 %	9 %

Amplificación en el caudal de los cambios en la precipitación.
Caudales de Corrientes más Paso de los Libres y precipitación
en la cuenca aguas arriba de esas localidades

Este tipo de respuesta es propio de las regiones húmedas con poca pendiente en el terreno, como lo es la mayor parte de la cuenca del Plata. En esas condiciones, el

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 79
---	--	---

escurrimiento del agua es lento y da lugar a que la mayor parte se evapore o infiltre antes de llegar a los grandes ríos. En el caso de la cuenca del Plata, el 85 % de la precipitación se evapora o infiltra y sólo el 15 % llega a los grandes ríos, según se ve en la tabla anterior. Así, cuando se producen variaciones de la precipitación sin mayores cambios ni en la temperatura ni el viento que controlan la evaporación, el caudal de los ríos se ve afectado en una fracción proporcionalmente mayor.

Esta respuesta hidrológica amplificada respecto de la lluvia junto con el aumento de las precipitaciones es una de las causas de la creciente vulnerabilidad a las inundaciones en las zonas ribereñas de los ríos.

4.3.3.3 Crecidas

En los valles aluviales de los tres grandes ríos de la cuenca del Plata se producen inundaciones por crecidas casi siempre originadas por precipitaciones extraordinarias en territorio brasileño y paraguayo. Estas inundaciones se han hecho más frecuentes desde mediados de la década del 70. Como estos eventos se prolongan durante varios meses y se propagan lentamente aguas abajo, su pronóstico es posible (con algunas excepciones) con uno, o varios meses de anticipación y con bastante precisión.

De los 16 mayores caudales mensuales del río Paraná en Corrientes durante el siglo XX, 12 se registraron en los últimos 30 años, al igual que 4 de los 5 mayores caudales mensuales, esto es en 1982, 1983, 1992 y 1998 (Camilloni y Barros 2003) (Fig. 4.3.11a). Estas 16 crecidas implicaron descargas anómalas enormes que van desde más de 15.000 m³/s hasta 38.300 m³/s en 1983.

Aunque en promedio, el aporte de la cuenca central y sur del Alto Paraná (entre Jupiá y Corrientes) es sólo cerca del 40% del caudal medido en Corrientes, las mayores crecidas se originan en esta parte de la cuenca, especialmente en la central (entre Jupiá e Itaipú). Los aportes del río Paraguay a las mayores crecidas en el Paraná Medio, generalmente se suman a los del Alto Paraná, pero en menor proporción. Por otra parte, el aporte a las grandes crecidas del sector norte del Alto Paraná (aguas arriba de Jupiá) no sólo es generalmente pequeño –menos del 25 %– sino que en algunos casos es negativo. Ello a pesar de que esa cuenca contribuye con el 40 % del caudal medio del Paraná

Hay una marcada relación entre los fenómenos del Niño y las mayores crecidas en el Paraná Medio. Dos tercios de las mayores crecidas en Corrientes ocurrieron durante eventos EN. Además, ninguna de las mayores crecidas se dieron durante fenómenos La Niña (LN). Las crecidas durante eventos EN ocurrieron en la primavera del año de comienzo del Niño (Primavera (0) o en el otoño del año siguiente (otoño(+)) acompañando la variación estacional de la influencia del Niño en la cuenca sur y central del Alto Paraná (Grimm et al 2000). Las mayores crecidas se produjeron en el otoño (+), y en todos los casos que EN persistió hasta

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 80
---	--	---

esa época del año, los caudales en Corrientes estuvieron 10.000 m³/s por encima de la media estacional (Camilloni y Barros 2000 y 2003).

Entre las 16 mayores crecidas del Paraná, hubo 5 que no ocurrieron durante periodos EN, y todas ellas se dieron en primavera y verano de periodos neutros, estando posiblemente vinculadas a condiciones cálidas en el Atlántico Sur occidental.

En el río Paraguay, dos tercios de las 16 mayores crecidas del siglo en Asunción se produjeron durante el último cuarto del siglo (Fig. 4.3. 11b).

Este desvío hacia la ocurrencia en el último cuarto de siglo es más evidente cuanto más grandes fueron las crecidas consideradas, ya que de las 5 más intensas, 4 se dieron después de 1975 (Barros et al 2003).

Casi todos los picos de las crecidas en Asunción ocurrieron entre Mayo y Julio, en fase con el máximo del ciclo anual medio. Las mayores crecidas del río Paraguay se originaron en la cuenca entre la salida del Pantanal y Asunción (Cuenca alta y media) y su ocurrencia o no, no depende del caudal que sale del Pantanal. No sólo el aporte del Pantanal no contribuye substancialmente a las crecidas en Asunción, sino que ni siquiera esta correlacionado con los aportes de las cuencas alta y media del río Paraguay.

Como en el caso del Paraná, alrededor de dos tercios de las mayores crecidas en Asunción tuvieron lugar durante periodos EN, habiendo muy baja probabilidad de que esto pueda haber ocurrido por azar. Como en el Paraná, la influencia del Niño es menos ambigua en las cinco crecidas que tuvieron lugar durante el otoño (+), las que se encuentran entre las 7 mayores crecidas. A pesar de que hay una marcada relación con EN conviene resaltar que sin embargo, un tercio de las mayores crecidas ocurrieron indistintamente durante LN o en periodos neutros obedeciendo a otros forzamientos climáticos.

En el río Uruguay, de los 16 mayores picos diarios desde 1950, ninguno se produjo antes de 1970 y sólo 2 antes de 1975 (Camilloni y Caffera 2003). Ello indica claramente el notable impacto que el cambio climático regional ha causado en la intensidad y frecuencia de las inundaciones.

La influencia de EN es contundente ya que casi todos los mayores picos de crecida en la escala mensual ocurrieron durante esos eventos. Sin embargo, el análisis de las crecidas extremas en escala diaria indica que las mismas tienen una duración de 3 a 10 días y obedecen a un forzamiento sinóptico.

En Salto Grande, los mayores picos diarios ocurrieron indistintamente en el semestre cálido (Octubre a Marzo) o frío (Abril a Septiembre), aunque los ocho mayores se registraron en el semestre frío. Las crecidas registradas durante la

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
		Página N°: 81

estación cálida se originan en intensas lluvias en la cuenca superior, particularmente entre 9 a 12 días antes del pico de la crecida y por lo tanto pueden ser predichas con varios días de anticipación con un pronóstico hidrológico. En cambio, las mayores crecidas del semestre frío son debidas mayormente a lluvias, inmediatamente corriente arriba de Salto Grande, 1 a 4 días antes del pico de la crecida, aunque pueden estar también precedidas por fuertes lluvias en la cuenca superior, 12 a 9 días antes. En estos casos, la predicción hidrológica con varios días de antelación debe basarse en un apropiado pronóstico meteorológico.

El río Salado, en porcentaje, presenta una tendencia mucho más notoria que los otros ríos, tanto en sus valores medios anuales como en sus picos mensuales, aun sin considerar los valores del año 2003 (Fig. 4.3.11 d). Debido a la cuenca relativamente angosta y al poco caudal que trae desde Santiago del Estero, su caudal responde rápidamente a las grandes precipitaciones. En el caso de abril de 2003, se dieron varios eventos muy severos, siendo el de los días 23 y 24 uno o dos SCM que precipitaron más de 300 mm en menos de dos días en localidades tan distantes como el norte de Santa Fe y el este de Entre Ríos.

4.3.3.4 Inundaciones de llanura

Otra categoría incluye las inundaciones que tienen lugar en áreas de llanura, de muy baja pendiente o deprimidas. Estas inundaciones se producen por la secuencia de precipitaciones intensas, algunas de ellas provocadas por SCM. En el este y centro de Argentina, el otoño y la primavera son las épocas más propicias para este tipo de eventos, porque en esas estaciones las precipitaciones ya son tanto o más intensas que en el verano y la evaporación es mucho menor.

La duración de estas inundaciones es diferente según el declive del terreno, y en el caso de las zonas deprimidas el agua suele permanecer durante semanas o meses. Este tipo de evento ha dado lugar a reiteradas inundaciones en las últimas dos décadas en el oeste, noroeste y centro de la Provincia de Buenos Aires comenzando con la de 1982, habiéndose iniciado la última en octubre de 2001. En el sur de Santa Fe, se viven situaciones similares, incluso con trasvase de cuencas, como es el caso del crecimiento de la laguna de la Picasa. En Corrientes el sistema de lagunas y esteros del Iberá creció notablemente en superficie desde la década de 1960, ocasionando grandes pérdidas a los propietarios de los campos inundados. Recientemente, después de un año de sequía, las lagunas retrocedieron considerablemente.

Cuando estos fenómenos se producen en áreas con mayor declive, como en el norte de la provincia de Buenos Aires incluyendo la ciudad de Buenos Aires, el escurrimiento es más rápido y la inundación sólo dura algunas horas. En ambientes urbanos el escurrimiento es acelerado por las condiciones modificadas del suelo, lo que puede ocasionar rápidas pero graves inundaciones con alto costo económico y social. En mayo de 1985 se registró una inundación causada por un MCS en la Ciudad de Buenos Aires y el norte del Gran Buenos Aires. Una tormenta

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E.. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 82

convectiva de menor escala espacial produjo la severa inundación de enero del 2001 en los barrios del norte de la ciudad de Buenos Aires. Otros casos similares y relativamente recientes que originaron perdidas de vidas fueron los de Pergamino y de Cañada de Gómez.

La predicción de estas grandes precipitaciones, en particular cuando son causadas por SCM, no es posible con varios días de anticipación, pero si es factible identificar con esa antelación, las situaciones meteorológicas que podrían favorecer su desarrollo. En esas condiciones se puede alertar acerca de su probable (no segura) ocurrencia con unos pocos días de antelación.

4.3.4. Cambios de la precipitación en la Argentina

Tanto los beneficios como los prejuicios de los cambios en las precipitaciones y sus consecuencias hidrológicas han sido tan importantes, que surge naturalmente la pregunta acerca de si estas nuevas condiciones hídricas que comenzaron hace ya 30 o 40 años, se mantendrán y agudizarán en las nuevas décadas o si por el contrario se volverá a las condiciones anteriores. La eventual vinculación de las tendencias positivas observadas con el Cambio Climático que se está produciendo como consecuencia de las emisiones de GEI ayudaría muchísimo a contestar la pregunta formulada ya que sabemos que el cambio climático global continuará en la misma dirección durante las próximas décadas, a menos que la Tierra entrara en un violento ciclo volcánico. El establecimiento de este vínculo permitiría por lo tanto extraer conclusiones acerca de la escala de tiempo en que perdurarán las nuevas condiciones y del signo de las eventuales tendencias futuras.

4.3.4.1. Dificultad para la atribución de los cambios climáticos regionales

La asignación de un cambio climático regional al aumento de las concentraciones de GEI no es una tarea sencilla. Los procesos interactuantes en el sistema climático son tantos y de tal complejidad que se ha tratado de analizar las respuestas del clima a un determinado forzamiento mediante simulaciones efectuadas con los así llamados modelos climáticos globales (MCG) que ya son herramientas que permite reproducir bastante bien el clima global, aunque aún presentan ciertas deficiencias en las escalas locales y regionales. Estos modelos matemáticos representan los complejos procesos físicos sobre toda la atmósfera, los océanos y la criosfera, así como las interacciones entre estos subsistemas climáticos y requieren de enormes capacidades en supercomputadoras, para la realización de sus así llamados experimentos.

Los MCG son confiables en la medida que demuestren ser capaces de predecir el clima pasado y presente. Las verificaciones que se hacen al respecto indican que más que una verificación pareja para todos los MCG, estos han mostrado disímil habilidad para predecir las variables climáticas con también resultados distintos en diferentes regiones del planeta

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 83
---	--	---

Para el sudeste de América del sur, incluyendo la argentina subtropical, ningún MCG realiza una tarea aceptable en la simulación de las actuales precipitaciones, ya que producen una subestimación que en la zona de mayor precipitación es del orden de 30 % en el mejor de los casos. Ante esta situación, se están contemplando diversas alternativas para construir escenarios medianamente confiables. Una alternativa que se está ensayando es anidar modelos regionales de alta resolución en las salidas de los experimentos de los MCG. Pero ello no sería solución, si los modelos no llegan a representar adecuadamente algunos de los procesos físicos determinantes de la precipitación. Algunos resultados de experimentos realizados con un modelo de alta resolución, estarían indicando la posibilidad de construir escenarios confiables mediante el uso de una técnica indirecta de vinculación de la precipitación con otras variables de la atmósfera.

4.3.4.2 Cambios climáticos simultáneos

Ante la imposibilidad, por ahora, de simular el campo de precipitación regional con los MCG, es imposible estudiar con estos modelos si los cambios observados en la precipitación regional obedecen al aumento de las concentraciones de los GEI. Lo que hay hasta ahora, son sólo estudios de los cambios que se han registrado en otras variables del sistema climático en forma simultánea con el de las precipitaciones en el sudeste de América del Sur. En algunos casos, están identificaron los procesos físicos que vinculan ambos cambios y en otros, sólo hay hipótesis verosímiles. Igualmente, algunos de estos cambios no han podido ser aún relacionados en forma incuestionable con el aumento de los GEI, pero otros empiezan a serlo.

De todos modos, la naturaleza de los cambios del sistema climático que se dieron en forma simultánea con los cambios en las precipitaciones regionales, permiten en algunos casos sacar conclusiones sobre la futura evolución de estas, aún sin que se pruebe que estuvieron regidos por el aumento de las concentraciones de GEI. A continuación se pasa revista a estos cambios.

4.3.4.3 Aumento de la temperatura antártica

Las tendencias de las precipitaciones en el sur de la Argentina subtropical a partir de 1960 estuvieron acompañadas por aumentos de las temperaturas en el borde costero de la Antártica (Barros et al 2000) que fue mayor a 1,5° C. Si bien la correlación entre ambas variables en baja frecuencia es muy alta, ello puede ser fortuito ya que para esa escala de tiempo, la longitud del registro no permite sacar conclusiones definitivas. El problema es que las temperaturas de esa región sólo comenzaron a partir de 1960. Queda aún por analizar esta relación con los llamados proxy datos tomados de testigos de hielo.

A favor de la posible vinculación entre ambos cambios existe un mecanismo físico, que es el desplazamiento hacia el sur de los sistemas de circulación de la atmósfera, el que como veremos luego está relacionado también con los cambios de

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 84
---	--	---

concentración de GEI

4.3.4.4 El Niño

La temperatura de la superficie del mar, particularmente las del Pacífico tropical y subtropical modulan la variación interanual (efecto Niño) de la precipitación estacional en la región subtropical de América del Sur incluyendo la Argentina subtropical. Se sabe bastante sobre los mecanismos físicos que producen esta teleconexión entre regiones remotas (Karoly 1989; Mo 1999; Barros y Silvestri 2002; Vera et al 2003).

No obstante, a ello se suma la influencia de otros procesos bastante aleatorios que atenúan dicha modulación. Sin embargo, la característica aleatoria de estos procesos hace que su influencia se compense en escalas próximas o mayores que la de la década.

Como resultado, las tendencias y las fluctuaciones interdecádicas de la precipitación regional aparecen más claramente relacionadas con la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar en las así llamadas zonas Niño. Después de mediados de la década del 70, el fenómeno del Niño se hizo más frecuente y los dos eventos más intensos ocurrieron en 1982/1983 y 1997/1998. El índice de Oscilación del Sur, uno de los índices que mejor representa a los eventos Niño estuvo fuertemente correlacionado con las precipitaciones anuales en gran parte de la Argentina, particularmente en el nordeste (Barros et al 2000).

4.3.4.5. Variaciones decadales del Niño

Algunas de las características más típicas del fenómeno del Niño sufren variaciones de escala decádica (Zhang et al 1997). En particular, en Australia la conexión entre EN y la precipitación cambia con estas variaciones (Power et al 1999). Esto ha sembrado dudas con respecto a si los cambios observados en las precipitaciones en el sudeste de América del Sur que están relacionados con EN se mantendrán en el futuro.

Como los datos de las temperaturas del mar y de otras variables climáticas sólo permiten el análisis detallado del efecto Niño desde 1950, el número de casos es muy reducido y no se pueden sacar conclusiones definitivas sobre la influencia de estas variaciones decádicas en las tendencias de la precipitación observadas en América del Sur. Sin embargo, en la década de 1990, EN tuvo una fuerte variación de este tipo con respecto a los 20 años anteriores y a pesar de ello el impacto del mismo sobre la precipitación en América del Sur continuó siendo similar al de las décadas anteriores.

Por lo tanto, no hay elementos para suponer que las precipitaciones descenderán en las próximas décadas como consecuencia de las variaciones de EN entre décadas.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 85

4.3.4.6 La temperatura del mar

Se ha encontrado que la precipitación en varias regiones de América del Sur, al este de los Andes está fuertemente correlacionadas en la escala decadal con la temperatura de la superficie del mar en varias regiones distintas de las conocidas como regiones EN. Tal es el caso de las precipitaciones en el oeste y centro de la Argentina (Castañeda y Barros 2000). También, los caudales de los ríos Paraná y Paraguay como integradores de la precipitación en una amplia región fueron correlacionados en la escala de décadas con la temperatura superficial del mar en el Atlántico Norte y otras regiones remotas (Robertson y Mechoso 1998; Robertson et al 2001).

En un reciente trabajo, se muestra que las tendencias de la precipitación en el sudeste de Brasil y nordeste de Argentina se encuentran relacionada con los cambios de la temperatura del mar del Atlántico Sur subtropical en su región occidental (Liebmann 2003)

4.3.4.7 El desplazamiento de los sistemas de circulación atmosférica

Mediante la comparación entre las simulaciones climáticas con MCG en los que el único cambio son las concentraciones de GEI, y las observaciones climáticas, se sabe que no sólo gran parte del cambio térmico global observado es atribuible a la actividad antrópica, sino que incluso a ello se deben algunos cambios observados en la presión en superficie. Se ha probado, por ejemplo que el patrón global de cambio de la presión del trimestre correspondiente al verano austral es en gran medida atribuible al aumento de las concentraciones de GEI y de sulfatos (Gillet et al 2003).

Uno de los cambios más significativos ocurrió en el Atlántico Sur donde el borde occidental sur del anticiclón de ese océano se ha desplazado hacia altas latitudes entre unos 300 o 500 Km.. Ello estuvo asociado con la intensificación de la circulación media de verano en la Argentina subtropical y el inicio de la misma más temprano en primavera y su cese más tarde en el otoño (Escobar et al 2003, Barros et al 2003).

Estas nuevas condiciones de circulación media favorecieron el mayor aporte de humedad y, por consiguiente pueden haber creado las condiciones para mayores precipitaciones en la mayor parte de la Argentina subtropical. Este desplazamiento hacia el sur del borde occidental del anticiclón del Atlántico Sur es también atribuible con gran probabilidad al aumento de las concentraciones de GEI y de los sulfatos de origen antrópico (Barros et al 2003).

4.3.4.8 Conclusiones de los cambios de precipitaciones

La precipitación en el sudeste de América del sur, incluyendo la Argentina subtropical al este de los Andes ha variado en las últimas tres o cuatro décadas junto con la temperatura del mar, tanto de regiones remotas como cercanas, esto

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 86
---	--	---

último en el Atlántico Sur. Además ha variado simultáneamente con otras tres características del sistema climático, que probablemente están vinculados entre sí y con el calentamiento del Atlántico Sur subtropical en su región occidental. Estas variaciones son la mayor intensidad y frecuencia de eventos El Niño, el aumento de la temperatura de la Antártica y el desplazamiento hacia latitudes del anticiclón del Atlántico Sur.

Experimentos con 4 MCG coinciden en indicar que el desplazamiento del borde occidental del anticiclón del Atlántico Sur fue causado por el aumento de las concentraciones de GEI. Además, existen posibles mecanismos físicos para creer que este desplazamiento estuvo vinculado al calentamiento antártico, y al calentamiento del mar en el Atlántico Sur subtropical en su región occidental, por lo que por extensión, también estos cambios y los de la precipitación pueden haber estado vinculados al aumento de la concentración de GEI.

4.3.4.9 Prospectiva de los cambios de precipitaciones

Como se mostró en 4.3.2, las precipitaciones aumentaron considerablemente en el sudeste de América del Sur al este de los Andes, en algunas regiones a partir de la década de 1960 y en otras, algo más tarde. Cabe preguntarse si estas mayores precipitaciones y frecuencia de eventos extremos de las últimas décadas se mantendrán en las próximas décadas o si por el contrario y de acuerdo a algunas opiniones es sólo un ciclo húmedo, cuyo fin estaría próximo.

En relación con esto, cabe señalar que el anterior ciclo húmedo, que parece ser la fuente de esta creencia, se registró alrededor de 1920, duró sólo 6 o 7 años, afectó únicamente la Pampa húmeda y sus precipitaciones promedio estuvieron muy por debajo de las de las últimas décadas del siglo, (Fig. 4.3.7)

Una forma de manejar las incertidumbres del futuro es el desarrollo de escenarios. Esta técnica está extendida en la economía y en otras disciplinas prospectivas. Un escenario futuro no es una predicción, sino un estado coherente de las distintas variables del sistema bajo la suposición de que se produjeran ciertas circunstancias que las determinan. En el caso del clima, se construyen escenarios climáticos globales a partir de ciertas hipótesis en la evolución de las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero.

Estas emisiones son a su vez una consecuencia de la evolución demográfica, socioeconómica y tecnológica de la humanidad y de posibles decisiones políticas respecto de las emisiones en cuestión. No obstante ello, sólo después de los próximos 30 años, los escenarios climáticos son sensibles a los diferentes escenarios y en consecuencia comienzan a divergen entre sí. Ello se debe a la inercia, tanto de las concentraciones de los gases de efecto invernadero como de la respuesta térmica del planeta. Por lo tanto, los escenarios climáticos para los próximos 30 años pueden ser considerados predicciones en la medida que los MCG que los generan sean confiables.

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003 INFORME FINAL	DOC.: SSF-IF-01-0 FECHA: 09 / 12 / 03 Página N°: 87
---	--	---

Para la región sudamericana y del Atlántico occidental comprendida entre 15° y 45° S., se analizaron los 7 MCG de mayor sofisticación del mundo. Se compararon los campos medios de la presión anual y de su ciclo anual simulados por los modelos con los del clima observado. Sólo 4 de estos modelos reprodujeron satisfactoriamente los campos observados y están listados junto con el periodo simulado en cada caso en el cuadro siguiente

MODELO	INSTITUCIÓN	PERIODO
HADCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research	1950-2099
CSIRO-Mk2	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	1961-2099
GFDL-R30	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	1961-2099
ECHAM4/OPYC3	Max Planck Institute für Meteorologie	1990-2099

En los cuatro modelos, la simulación de los campos de presión al nivel del mar es tan buena que además de reproducir correctamente los campos medios anuales y el ciclo anual, reproducen las tendencias observadas del desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico Sur. Ello permitió atribuir dicho desplazamiento a las emisiones antrópicas de los GEI y los sulfatos, ya que estas emisiones son el único forzante de estos experimentos (Barros et al 2003).

Todos los MCG que reproducen satisfactoriamente el campo de presión al nivel del mar en la región indican que durante el presente siglo continuará la tendencia del centro de alta presión del Atlántico Sur a desplazarse hacia más altas latitudes. Este proceso probablemente contribuirá al incremento o al menos al mantenimiento de las actuales precipitaciones en la Argentina subtropical.

Una posible fuente de incertidumbre es el futuro comportamiento del fenómeno del Niño que esta modulado por variaciones de un periodo de dos o tres décadas. Después de una fase en que el Niño estuvo relacionado con altas precipitaciones sobre parte de Argentina subtropical, y del sudeste de Brasil, los cambios que dicho fenómeno registró en los últimos años, no han reducido ni la media anual ni la frecuencia de precipitaciones extremas en esa región. En consecuencia, nos se debería esperar grandes cambios en las próximas décadas en las precipitaciones inducidas por EN.

El resto de los procesos remotos que pueden influir en las precipitaciones regionales están condicionados por la temperatura de la superficie del mar, incluso la de la zona del borde antártico. La inercia térmica de los océanos hace muy improbable que se registren cambios de temperatura tan importantes como para volver a las condiciones previas a 1970 en menos de 15 o 20 años.

Por último, el último informe elaborado por el Panel Intergubernamental para el

CONSULTORES P. BRONSTEIN R. E. HENNING H. J. HOPWOOD G. F. VERNET	UNIDAD EJECUTORA DE RECUPERACIÓN DE LA EMERGENCIA HÍDRICA Y PLUVIAL – PCIA. SANTA FE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DE LA CRECIDA DEL RIO SALADO DE ABRIL DE 2003	DOC.: SSF-IF-01-0
		FECHA: 09 / 12 / 03
	INFORME FINAL	Página N°: 88

Cambio Climático (IPCC, 2001) considera que como consecuencia del calentamiento global se debe esperar en líneas generales una intensificación del ciclo hidrológico con mayores precipitaciones, aunque no se pueden descartar zonas con una tendencia inversa.

Por todo lo expuesto, al sur de 30° S es improbable que se produzca una vuelta a las condiciones anteriores al cambio observado durante las últimas cuatro décadas. Al norte de esa latitud, las futuras condiciones resultan más inciertas.

Referencias del punto 4.3

Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the sector, Part I: Surface Climate. Mon. Wea. Rev. 116, pp 505-524

Amarasekera, K., R. Lee, E. Williams, E. Eltahir 1997: ENSO and the natural variability in the flow of tropical rivers. J. Hidrology. 200, 24-39

Barros, V., E. Castañeda and M. Doyle, 2000: Precipitation trends in Southern South America, east of the Andes: An indication of climate variability. Southern Hemisphere Paleo- and Neoclimates: Key Sites, Methods, Data and Models. 187-208. Springer

Barros, V. and M. Doyle, 1996: Precipitation trends in southern South America to the east of the Andes. Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA). Report N°26, 26 Editors. S. Kinter III and E. Schneider, 76-80

Barros, V. and G. Silvestri 2002: On the relation between sea surface temperature at the subtropical south-central pacific and precipitation in southeastern South America. J. Climate 15, 251-267.

Barros, V., L. Chamorro, G. Coronel and J. Baez 2003: The greatest discharge events in the Paraguay River, presentado al J. of Hydrometeorology

Barros, V., G. Escobar and I. Camilloni 2003: Trends of the southwestern border of the South Atlantic high. Presentado a Climate Dynamics

Berbery, E. and V. Barros 2002: The hydrologic cycle of the La Plata basin in South America. J. of Hydrometeorology, 3, 630-645.

Berry, G., M. Ghiotto and N. García 2002: The influence of the ENSO in the flows of the Upper Paraná River of South America over the past 100 years. J. Hydrometeorology 3, 57-65

Camilloni, I. and V. Barros 1995: Influencia de la isla urbana de calor en las estimaciones de las tendencias seculares de la temperatura en Argentina subtropical. Geofísica Internacional, 2, 161-170.

Camilloni, I. and V. Barros, 2000: The Paraná River response to El Niño 1982-83 and 1997-98 events. J. of Hydrometeorology, 1, 412-430.

Camilloni, I. y V. Barros 2003: Extreme discharge events in the Paraná River J. Hidrology,