



Caso de estudio de Hydro-BID N°1: Modelo de gestión del recurso hídrico en la cuenca del Río Grande en Argentina

**Alan Wyatt
Fekadu Moreda
Eugene Brantly
Fernando Miralles-Wilhelm
Raúl Muñoz Castillo**

**Banco
Interamericano de
Desarrollo**

Departamento de
Infraestructura y
Medio Ambiente

División de Agua y
Saneamiento

**NOTA TÉCNICA
IDB-TN-1361**

Abril 2014

Caso de estudio de Hydro-BID N°1: Modelo de gestión del recurso hídrico en la cuenca del Río Grande en Argentina

Alan Wyatt
Fekadu Moreda
Eugene Brantly
Fernando Miralles-Wilhelm
Raúl Muñoz Castillo



Banco Interamericano de Desarrollo

2014

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del

Banco Interamericano de Desarrollo

Caso de estudio de Hydro-BID N°1: Modelo de gestión del recurso hídrico en la cuenca del Río Grande en Argentina / Alan Wyatt, Fekadu Moreda, Eugene Brantly, Fernando Miralles-Whilhelm, Raúl Muñoz Castillo.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1361)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Water resources development-Argentina-Databases. 2. Watershed management-Argentina-Computer simulation. 3. Water-supply-Argentina-Management. 4. Climatic changes-Environmental aspects-Argentina. I. Wyatt, Alan. II. Moreda, Fekadu. III. Brantly, Eugene. IV. Miralles-Whilhelm, Fernando. V. Muñoz Castillo, Raúl. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. VII. Serie.

IDB-TN-1361

Clasificación JEL: Q01 Q25 Q28 Q20

Palabras Clave: Recurso Hídrico, Hydrobid, Rio Grande.

Editada por:

Mauro Nalesso

Pedro Coli

División de Agua y Saneamiento del Banco Interamericano de Desarrollo

<http://www.iadb.org>

Copyright ©2014 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra está bajo una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (CC-IGO BY-NC-ND 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando crédito al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI. El uso del nombre del BID para cualquier fin que no sea para la atribución y el uso del logotipo del BID, estará sujeto a un acuerdo de licencia por separado y no está autorizado como parte de esta licencia CC-IGO.

Notar que el enlace URL incluye términos y condicionales adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.





CASO DE ESTUDIO DE HYDRO-BID N°1:

MODELO DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE EN ARGENTINA

Alan Wyatt
Fekadu Moreda
Eugene Brantly
Fernando Miralles-Wilhelm
Raúl Muñoz Castillo

TABLA DE CONTENIDO

Reconocimientos.....	11
Resumen Ejecutivo	15
1 Propósito del Informe del Caso de Estudio.....	18
2 Origen y Objetivos Específicos del Caso de Estudio.....	20
3 Perfil del Área del Caso de Estudio.....	23
3.1 La Provincia de Jujuy	24
3.2 Subregiones Geográficas en Jujuy	25
3.3 Población y Actividad Económica.....	26
3.4 Enfoque del Caso de Estudio.....	27
4 Hidrología	29
4.1 Información Geográfica en la Hidrología Superficial.....	30
4.2 Datos Históricos de Caudales y Tendencias	32
4.3 Variación Interanual y Variación Decadal.....	35
5 Clima Actual y Futuro	36
5.1 Precipitación.....	37

5.3	Modelaje Básico de Cambio Climático.....	45
5.4	Nueva Generación de Modelaje Climático.....	48
5.5	Comparación de los Resultados de Varias Proyecciones de Clima.....	53
6	Infraestructura y Demanda de Agua	54
6.1	La Infraestructura de Agua Existente	55
6.2	Demanda de Agua Urbana e Industrial—Actual y Futura	56
6.3	Demanda de Agua de Riego – Actual y Futura	58
7	Parametrización y Calibración del Modelo de Recursos Hídricos	63
7.1	Configuración (Set up) del Modelo.....	64
7.2	Calibración del Modelo.....	65
7.3	Resultados del Modelo.....	68
8	Modelaje para el Manejo de Recursos Hídricos.....	70
8.1	Antecedentes	71
8.2	El Modelo WEAP de la parte Inferior del Río Grande y Usos del Agua	71
8.3	Resultados de la Aplicación WEAP.....	73
9	Evaluación de las Opciones de Adaptación Seleccionadas.....	79
9.1	Descripción de las Opciones Seleccionadas	80

9.2	Resultados del Análisis de la Opcion1: Eficiencia Mejorada en el Abastecimiento de Agua Urbana e Industrial.....	81
9.3	Resultados del Análisis de la Opción 2: Mejora en la Eficiencia de Riego	85
9.4	Resultados del Análisis de la Opción 3: Opción 1 y Opción 2 Combinadas	87
9.5	Resumen de los Resultados del Modelaje	89
9.6	El Rendimiento de las Medidas de Adaptación Seleccionadas	90
10	Conclusiones y Recomendaciones.....	94
11	Conclusiones y Recomendaciones para los Planificadores de Recursos Hídricos en Jujuy.....	96
11.1	Conclusiones y Recomendaciones para el Uso Futuro del Modelo Hydro-BID	98
	Bibliografía.....	99
	Anexo 3-1 Crecimiento Demográfico en la Provincia de Jujuy.....	102
	Anexo 5-1 Isoyetas en el Noroeste de Argentina	103
	Anexo 6-1 Descripción Detallada de la Infraestructura de Agua Existente	107
	Anexo 6-2 Cálculos de los Requerimientos de Riego para Cultivos.....	111
	Anexo 9-1 Cálculos de Costo-eficiencia de las Opciones de Adaptación	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Cuencas de Ríos en el norte de Argentina	21
Figura 3-1. Mapa de la provincia de Jujuy.....	24
Figura 3-2. Regiones geoclimáticas de Jujuy.....	25
Figura 3-3. San Salvador de Jujuy	26
Figura 3-4. Enfoque para el manejo integrado de recursos hídricos de Jujuy	28
Figura 4-1. Las cuencas de captación de Río Grande y la parte superior del Río San Francisco...	30
Figura 4-2. El Río Grande y la parte superior del Río San Francisco – máxima elevación de corrientes	31
Figura 4-3. Río Grande y la parte superior del Río San Francisco – pendiente promedio de corrientes	32
Figura 4-4. El cauce principal del Río Grande en Los Molinos	33
Figura 4-5. Caudal anual, m ³ /s en el Bermejo Superior	34
Figura 4-7. Caudal promedio mensual de Caimancito, por década	35
Figura 4-8. Caudal promedio por estación de Caimancito, por año, 1947-2011	35
Figura 5-1. Precipitación media anual en el noroeste de Argentina.....	38
Figura 5-2. Mapa de precipitaciones medias mensuales 1961-1990, mm.....	39
Figura 5-3. Variación interanual de la precipitación mensual, mm	40
Figura 5-4. Precipitación en 31 estaciones en la cuenca del Río San Francisco.....	41

Figura 5-5. Precipitación media mensual de Caimancito, por década	41
Figura 5-6. Temperatura media mensual en el noroeste de Argentina.....	42
Figura 5-7. Mapa de la temperatura promedio mensual 1961-1990, °C	43
Figura 5-8. Variación interanual de temperatura – El Perico.....	44
Figura 5-9. Variación decadal de temperatura – El Perico	44
Figura 5-10. Cambio climático estimado en Argentina, 2020–2029.....	45
Figura 5-11. Septiembre—Temperatura y precipitación medias	46
Figura 5-12. Cuenca del Río Grande – Proyecciones climáticas estacionales por década.....	47
Figura 5-13. Comparación de los modelos climáticos anteriores y de la nueva generación	49
Figura 5-14. Resultados de los seis GCMs calibrados, preparados por CIMA.....	50
Figura 5-15. Comparación de los factores de escala para diferentes proyecciones climáticas.....	53
Figura 6-1. Mapa de la infraestructura hídrica existente	55
Figura 6-2. La Demanda urbana e industrial de agua, mm ³ /año.....	57
Figura 6-3. Mapa de cultivos de riego	58
Figura 6.4 Demanda mensual de riego actual y futura	61
Figura 7-1. Flujos observados y simulados, Río San Francisco en Caimancito	67
Figura 7-2. Subcuencas usadas para la simulación del flujo	67

Figura 7-3.	Comparación del flujo estacional en puntos del interior	68
Figura 7-4.	Flujo medio anual simulado del Río Grande en Los Molinos.....	69
Figura 8-1.	Representación esquemática de la cuenca del Río Grande del modelo WEAP.....	74
Figura 8-2.	Demanda anual de Agua 2010-2060	74
Figura 8-3.	Demanda no-satisfecha mensual para San Salvador de Jujuy, 2011–2060.....	75
Figura 8-4.	Demanda no-satisfecha anual para San Salvador de Jujuy, por década	75
Figura 8-5.	Demanda cubierta durante los meses secos para San Salvador de Jujuy.....	76
Figura 8-6.	Demanda no-satisfecha mensual para las poblaciones vecinas, 2011–2060.....	77
Figura 8-7.	Demanda no-satisfecha anual para las poblaciones vecinas, por década	77
Figura 8-8.	Demanda de riego no-satisfecha mensual, 2011–2060.....	78
Figura 8-9.	Demanda de riego no-satisfecha anual, por década	78
Figura 9-1.	Demanda no-satisfecha mensual para San Salvador, eficiencia mejorada	81
Figura 9-2.	Demanda no-satisfecha anual para San Salvador, eficiencia mejorada.....	81
Figura 9-3.	Demanda cubierta durante los meses de escasez de agua, San Salvador	82
Figura 9-4.	Demanda no-satisfecha mensual para poblaciones, infraestructura mejorada	83
Figura 9-5.	Demanda no-satisfecha anual para poblaciones, infraestructura mejorada.....	83
Figura 9-6.	Demanda de riego no-satisfecha mensual, infraestructura mejorada	84

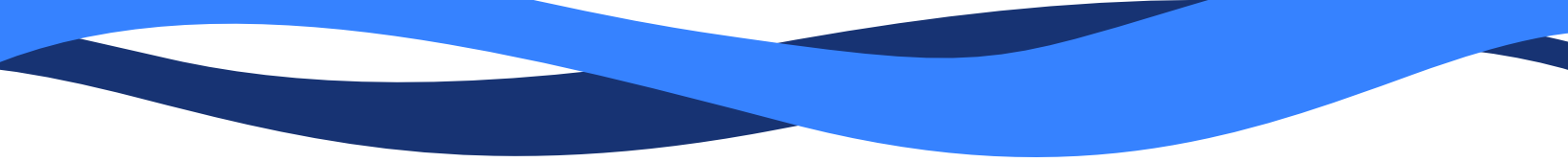
Figure 9-7. Demanda de riego no-satisfecha anual, infraestructura mejorada	84
Figura 9-8. Demanda no-satisfecha mensual para poblaciones, eficiencia de riego mejorada	85
Figura 9-9. Demanda no-satisfecha anual para poblaciones, eficiencia de riego mejorada	85
Figura 9-10. Demanda de riego no-satisfecha mensual, eficiencia de riego mejorada	86
Figure 9-11. Demanda de riego no-satisfecha anual, eficiencia de riego mejorada.....	86
Figura 9-12. Demanda no - satisfecha mensual para poblaciones, infraestructura y eficiencia mejoradas	87
Figure 9-13. Demanda no- satisfecha anual para poblaciones, infraestructura y eficiencia mejoradas	87
Figura 9-14. Demanda no-satisfecha de riego, infraestructura y eficiencia mejoradas	88
Figure 9-15. Demanda no-satisfecha de riego, infraestructura y eficiencia mejoradas	88
Figura 9-16. Demanda no-satisfecha, ensamble de modelos de CIMA, cuatro opciones de adaptación.....	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1.	Datos de la AHD sobre las cuencas del área del caso de estudio	30
Tabla 4-2.	Estaciones de aforo de caudales y datos	32
Tabla 5-1.	Factores de escala para proyecciones climáticas CSIRO MK3 A1B	48
Tabla 5-2.	GCMs usadas en el estudio de CIMA.....	49
Tabla 5-3.	Escala de factores para el ensamblaje de proyecciones climáticas de CIMA.....	51
Tabla 5-4.	Comparación de las Proyecciones de precipitación: 2051–2060	51
Tabla 5-5.	Proyecciones de lluvia y temperatura de los tres modelos regionales.....	52
Tabla 6-1.	Tasa de crecimiento demográfico, por zona	57
Tabla 6-2.	Área de riego por cultivo y departamento	58
Tabla 6-3.	Demanda de riego actual y futura.....	62
Tabla 7-1.	Datos usados en la parametrización del modelo.....	64
Tabla 7-2.	Ejemplo de parametrización del número de curva para una cuenca de captación AHD.....	65
Tabla 7-3.	Parámetros Calibrados	66
Tabla 9-1.	Demandas de agua no-satisfechas, por uso de agua, año y opción de adaptación ..	89
Tabla 9-2.	La demanda no-satisfecha, cuatro proyecciones climáticas, cuatro opciones de adaptación.....	90
Tabla 9-3.	Costo-eficiencia de la Opción 1 de Adaptación	92
Tabla 9-4.	Costo-eficiencia de la Opción 2 de Adaptación	83

ACRÓNIMOS

AHD	Analytical Hydrography Dataset
CIMA	Centro de Investigaciones del Mar y la Atmosfera (Center for Oceanic and Atmospheric Research)
CMIP5	Coupled Model Inter-comparison Project Phase 5
COREBE	Comisión Regional del Rio Bermejo (Rio Bermejo Regional Water Resource Commission)
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
DHJ	Dirección de Hidrología de Jujuy (Jujuy Hydrology Department)
DPRH	Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos (Provincial Water Resources Department)
ET	Reference evapotranspiration
FAO	Food and Agriculture Organization (UN)
GCM	Global Circulation Model
GWLF	Generalized Watershed Loading Function
IDB	Inter-American Development Bank
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (National Institute for Agricultural Technology)
IPCC	Panel on Climate Change
LAC	Latin America and the Caribbean
MM5	Fifth-Generation Penn State/National Center for Atmospheric Research Meso-scale Model
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Centers for Environmental
NLCD	National Land Cover Database
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OAS	Organization of American States



RCP	Representation Concentration Pathway
SMN	Servicio Meteorológico Nacional (National Meteorological Service)
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
TN	Technical Note
TRMM	Tropical Rainfall Measurement Mission
UK	United Kingdom
UKMO	UK Meteorology Office
UN	United Nations
US	United States of America
USGS	US Geological Survey
WEAP	Water Evaluation and Planning
WMO	World Meteorological Organization (UN)

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su sincero agradecimiento a los individuos y organizaciones que hicieron contribuciones importantes a este caso de estudio e informe.

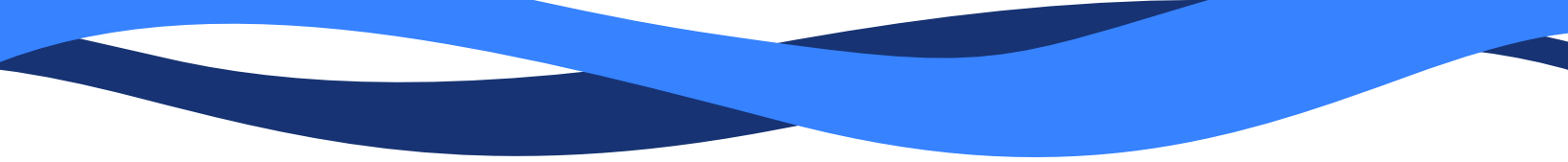
Agradecemos al equipo del Banco Interamericano de Desarrollo que concibió, dirigió y apoyó este esfuerzo. El Dr. Fernando Miralles-Wilhelm identificó en el Banco la necesidad del Hydro-BID y aportó la orientación técnica y la inspiración durante todo el proyecto. El Sr. Raúl Muñoz-Castillo trabajó incansablemente en la identificación de los socios potenciales para el caso de estudio y asegurar y mantener la colaboración con COREBE, la Comisión Regional de Recursos Hídricos del Río Bermejo. El Dr. Federico Basañes aportó el liderazgo a nivel de división y el apoyo dentro del cuerpo gerencial del BID.

El Proyecto no hubiera sido posible sin la excelente colaboración de varias oficinas y agencias del gobierno de Argentina que ayudaron a formular los objetivos del estudio y contribuyeron con datos, incluyendo las siguientes:

- Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE), la Comisión Regional de recursos hídricos del Río Bermejo.
- Aguas de los Andes, compañía de Servicios de Agua y Aguas Residuales de la Provincia de Jujuy
- Dirección de Hidrología de Jujuy (DHJ),
- Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH),
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA),
- Secretaría de Planificación - Jujuy, Ministerio de Infraestructura y Planificación,
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

También destacamos las importantes contribuciones técnicas de las siguientes personas e instituciones, las cuales trabajaron bajo contrato para RTI International:

- El Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) en Buenos Aires, que ofreció su experto asesoramiento en metodologías para evaluar cambios climáticos de corto a mediano plazo en el área de estudio. CIMA entregó un informe detallado con resultados de varios modelos de proyección climática y ofreció su opinión profesional en cuanto a los enfoques más razonables para el uso de proyecciones climáticas en el modelaje de recursos hídricos.
- Michael Davidson, experto en tecnología y sistemas de irrigación, recopiló información de las prácticas actuales de irrigación en el área de estudio, desarrolló proyecciones de la demanda futura de agua para riego bajo unos supuestos razonables, y ofreció orientación importante en cómo preparar los mejores estimados cuando los datos locales son limitados.

- 
- Francisco Javier Ramos, consultor argentino de manejo de recursos hídricos, realizó un esfuerzo laborioso y diligente para recolectar datos y evaluar las condiciones locales en relación a la población, uso de tierras/suelos, caudales, clima, demanda de agua, prácticas de manejo de recursos hídricos, operaciones de servicios de suministro de agua e infraestructura.

Finalmente, este trabajo no hubiese sido posible sin las contribuciones gerenciales, administrativas y editoriales de mis colegas en RTI I, incluyendo Debra Ackerman, Justin Baker, James Bisese, Mark Bruhn, Marlene Cabrera, Robert Dykes, Shannon Goeuriot, Gail Hayes, Katherine Heller, Aldo Miranda, Michelle Myers, Renee Njoku, Catherine Raymond, James Rineer, and William Wheaton.

PREFACIO

MODELO INTEGRADO DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS HÍDRICOS

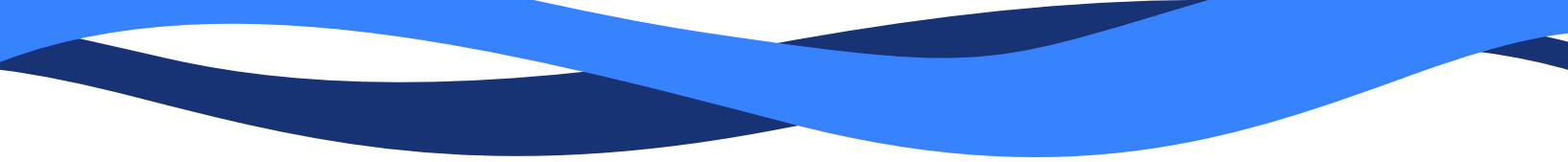
RG-T1862

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ofrece asistencia financiera y técnica para proyectos de infraestructura en agua y saneamiento, irrigación, control de inundaciones, transporte y energía. Muchos de estos proyectos dependen de los recursos hídricos y pueden verse afectados negativamente por el cambio climático y otros eventos que alteren la disponibilidad de agua, tal como el crecimiento demográfico y cambios en el uso de los suelos asociados con la urbanización, crecimiento industrial y la agricultura. Evaluar el potencial de cambio futuro en la disponibilidad de agua es un paso importante para garantizar que los proyectos de infraestructura cumplan con sus metas operacionales, financieras y económicas. Es importante también examinar las implicaciones de tales proyectos en la distribución de los recursos hídricos disponibles entre los usuarios y los usos del agua que compiten entre sí, con el fin de mitigar potenciales conflictos y asegurar que dichos proyectos puedan satisfacer los planes de desarrollo regional de largo plazo y la preservación de los servicios esenciales de los ecosistemas.

Como parte de su compromiso de ayudar a los países miembros en la adaptación al cambio climático, el BID patrocina trabajos para desarrollar y aplicar un conjunto integrado de herramientas de simulación de cuencas. El Sistema de simulación incluye módulos de análisis hidrológico y climático para estimar la disponibilidad (volúmenes y caudales) de agua dulce a escalas regional, de cuencas y de sub-cuencas. Incluirá también los análisis económicos y las herramientas de soporte de decisiones para estimar los costos y beneficios de las medidas de adaptación y ayudar a los responsables de tomar decisiones en la escogencia entre diseños alternativos de proyectos de infraestructura, así como entre políticas de gestión de recursos hídricos.

La Fase I de este esfuerzo produjo una versión operacional del Hydro-BID, un modelo de hidrología y clima para América latina y el Caribe (LAC). El Sistema Hydro-BID incluye lo siguiente:

- Una Base de Datos de Hidrología Analítica (AHD) para la región de América Latina y el Caribe, representando más de 229,000 cuencas y sus correspondientes segmentos fluviales;
- Una herramienta de navegación basada en un sistema de información geográfica para navegar cuencas y corrientes de la AHD con la capacidad de navegar aguas arriba y aguas abajo;
- Una interfaz de usuario para determinar específicamente el área y el periodo de tiempo a ser simulado y la ubicación donde la disponibilidad de agua será simulada;
- Una interfaz de datos climáticos para generar y aplicar entradas/inputs de precipitación y temperatura para el área y el período de interés;
- Un modelo de precipitación - escorrentía basado en el Factor de Carga de Cauces Generalizados (GWLF, por sus siglas en inglés); y
- Un esquema de cálculo hidráulico (routing) para cuantificar el tiempo de tránsito y los estimados de flujos a través de las cuencas aguas abajo.



Hydro-BID genera salidas de información en forma de series de tiempo diarias de los flujos estimados para la localidad y el período escogidos. Con el fin de ilustrar las entradas, la operación y salidas del

Sistema Hydro-BID, el equipo de trabajo preparó un caso de estudio para la distribución de recursos hídricos en la cuenca del Rio Grande en Argentina la versión inicial del Hydro-BID ha recibido una repuesta entusiasta en las presentaciones a usuarios potenciales y miembros del BID así como de parte de audiencias técnicas externas vía conferencias y talleres.

RESUMEN EJECUTIVO

Este caso de estudio demuestra las capacidades de la herramienta de modelaje de recursos hídricos Hydro-BID en una aplicación para el Río Bermejo Superior en el Noroeste de Argentina. Este informe describe los pasos seguidos por un equipo multi-disciplinario del proyecto, trabajando en conjunto con partes interesadas y consultores locales, para evaluar el impacto del cambio climático en una región que ya sufre de escasez de agua y para evaluar las opciones posibles de adaptación.

El caso de estudio se centra en la Provincia de Jujuy en el noroeste de Argentina, una de las provincias más remotas y menos desarrolladas del país. Las características claves de la provincia incluyen una región montañosa grande (“altiplano”) en el oeste, con una elevación de más de 4.200 m, y el cañón llamado Quebrada de Humahuaca que forma la Cuenca del Río Grande. El río fluye al sur desde las montañas, a través de San Salvador de Jujuy, la capital de la provincia (altitud de 1.200 m) y cruza al este para encontrarse con el Río Lavayan y formar el Río San Francisco, que eventualmente alcanza el Río Bermejo.

El área se caracteriza por veranos cálidos y húmedos, inviernos secos, con precipitaciones muy bajas en las áreas de mayor altitud. Durante el invierno seco y meses de primavera hay escasez frecuente de agua en la capital San Salvador de Jujuy, y restricciones de agua de irrigación en esta provincia agrícola. Funcionarios regionales y provinciales muestran preocupación respecto a que el cambio climático provocará períodos de escasez más frecuentes y extremos. Luego de realizar consultas con COREBE- la Comisión Regional del Río Bermejo- y con partes interesadas, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) seleccionó esta área y creó un caso de estudio para la aplicación de Hydro-BID.

El proceso del caso de estudio incluyó las siguientes actividades:

- **Inicio del Proyecto**, incluyendo la discusión de las prioridades de los recursos hídricos y la formulación de los objetivos del caso de estudio.
- **Recolección de Datos y evaluación de las condiciones naturales** enfocándose en el caudal, el clima actual y futuro, los suelos y el uso de la tierra. Las agencias locales y regionales así como las autoridades gubernamentales provinciales suministraron datos útiles. La brecha más importante era la ausencia de datos confiables y recientes del caudal en la Cuenca del Río Grande. La localidad más cercana con buenos datos disponibles era el pueblo de Caimancito, aguas abajo del Río San Francisco, donde existían datos de caudales diarios disponibles para el período 1947-2011. Este lugar fue elegido como base para la calibración del modelo Hydro-BID a pesar que el área de las cuencas de captación aguas arriba de Caimancito es mucho más grande que la cuenca del Río Grande. El equipo de trabajo enlistó al Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera – CIMA – en Buenos Aires para asistir en la preparación de las predicciones climáticas para el área del caso de estudio, basado en su experiencia con diferentes enfoques. Dicha institución preparó predicciones usando herramientas muy recientes de modelaje climático global. El equipo de trabajo también utilizó datos climáticos futuros con reducción de escala de Climate Wizard.org como una herramienta alterna de predicción climática para determinar la sensibilidad de los supuestos climáticos.
- **Recolección de datos y estimación de la demanda de agua.** La caracterización de la infraestructura existente y las prácticas de manejo de recursos hídricos fue directa, pero estimar la demanda de agua para irrigación resultó un desafío debido a la carencia de datos confiables de evapotranspiración. Haciendo cálculos detallados usando CROPWAT y otros métodos

recomendados por la FAO se pudo llegar a resultados cercanos a los estimados recientes del personal local que maneja recursos hídricos, utilizando métodos tanto analíticos como empíricos.

- **Modelaje de flujos de corrientes actuales y futuros**, incluyendo la calibración del modelo Hydro-BID en Caimancito, el modelo Hydro-BID corre para predecir flujos de corrientes futuros en el canal principal y varias sub-cuencas del Río Grande / cuenca del San Francisco Superior. La calibración utilizó bases de datos internacionales para muchos parámetros porque los valores diarios de precipitación y temperatura no estaban disponibles como corrientes de flujos diarios en los mismos lugares. La calibración del modelo dió resultados aceptables, con buena precisión en la estación seca.
- **Comparación de la oferta y demanda de agua**, incluyendo la integración de proyecciones de corrientes de flujos futuros y la información de la demanda en el modelo WEAP para calcular la demanda de agua no satisfecha para varias proyecciones climáticas y varios escenarios de adaptación. Las proyecciones climáticas incluyeron (1) ningún cambio; (2) un combinado (*ensamble*) de GCMs preparado por CIMA; y (3) dos proyecciones con reducción de escala del Climate Wizard. La opciones de adaptación incluyeron (1) ningún cambio; (2) eficiencia mejorada de agua urbana e industrial; (3) eficiencia mejorada de la aplicación de irrigación; y (4) eficiencia mejorada para los usos urbano e irrigación combinados. La demanda no satisfecha por mes y por década se determinó para cada situación potencial.
- **Evaluación de las opciones de adaptación**. Cada opción de adaptación se evaluó usando el ensamble de GCMs de CIMA (que mostró el cambio climático más alto) mediante la determinación de la *efectividad* de la opción, medida por la reducción en la demanda no satisfecha; y la *eficiencia del costo* de la opción mediante la comparación del costo neto por m³ ahorrado, derivado del valor actual de todo el capital y costos de operaciones asociados con la opción dividido por la reducción total de la demanda no satisfecha.

Los principales hallazgos y conclusiones del caso de estudio en lo que concierne a los planificadores de recursos hídricos en Jujuy incluyen:

- Se preparó un modelo Hydro-BID en funcionamiento, calibrado y utilizado para el Río Grande/ Cuenca de Río San Francisco Superior. El modelo apoyará los análisis de recursos hídricos futuros en la cuenca, a ser realizados por COREBE.
- Los datos disponibles y los modelos climáticos futuros indican que habrá un aumento moderado y constante de la temperatura media en la cuenca del Río Grande / Cuenca del Río San Francisco Superior hasta el año 2060. La precipitación media no muestra ninguna tendencia constante, aunque la variación interanual se mantendrá bastante alta. Se espera que otras partes de Argentina experimenten diferentes cambios climáticos futuros, en base a las mismas herramientas de modelaje climático.
- El impacto directo del cambio climático sobre los flujos de corrientes en el Río Grande y Río San Francisco Superior parece ser pequeño.
- La demanda de agua en la cuenca del Río Grande y San Francisco Superior aumentará dramáticamente en los próximos 50 años por dos razones - crecimiento de la población en las zonas urbanas, y el aumento de la demanda de agua de irrigación - en su mayoría atribuibles al aumento de las temperaturas.
- En las condiciones actuales de uso del agua, la demanda actual (2001-2010) de agua de

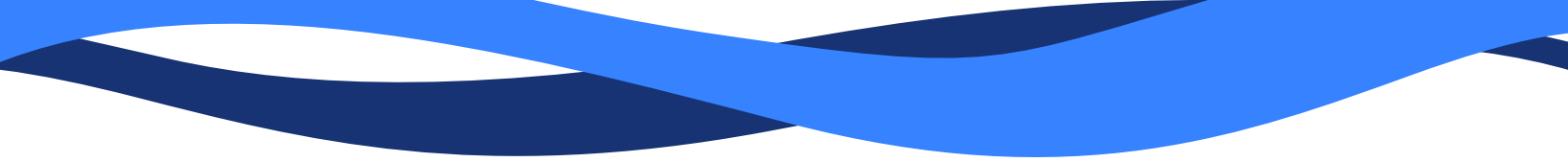
irrigación a 332 Mm³/año es muy superior a la demanda urbana e industrial, estimada en 64 Mm³/año. Para el año 2060, con aumentos de las temperatura (utilizando el ensamble de modelos de CIMA), la demanda para irrigación se elevaría a 454 Mm³/año (incremento del 37% respecto a la demanda actual) y la demanda urbana e industrial subiría a 124 Mm³/año (incremento del 100% con respecto a demandas actuales).

- La evaluación mostró que las principales reducciones en la demanda insatisfecha futura se podrían lograr mediante la mejora de la efectividad en la distribución de agua en zonas urbanas y la mejora de la eficiencia de la aplicación del riego, al pasar de riego por surcos a riego por goteo. El costo eficiencia estaba en el orden de 0,02 USD/ha para mejorar la eficiencia de las aguas urbanas e industriales y 0,04 - 0,07 USD/ha para las mejoras en la eficiencia de la aplicación del riego para la caña de azúcar y el tabaco, respectivamente.
- Debido a que la demanda de agua es mucho más alta para irrigación que para usos urbanos e industriales, las mejoras en la eficiencia de la irrigación es vital para el futuro de la provincia. Una modesta mejora de la eficiencia de aplicación del riego del 37% al 55%, si se aplican rápidamente, podría aliviar la demanda de riego no satisfecha hasta el año 2040. Mejoras de la eficiencia del agua urbana e industrial es menos eficaz en la reducción de la demanda insatisfecha, pero más rentable.
- La eficiencia de agua urbana e industrial es menos efectiva en reducir la demanda insatisfecha, pero más costo-eficiente.

Los principales hallazgos y conclusiones del caso de estudio en lo que concierne al uso futuro del modelo Hydro-BID incluyen:

- El modelo Hydro-BID se aplicó con éxito, a pesar de importantes faltas (gaps) en los datos locales de Jujuy, mediante el uso de una combinación de bases de datos internacionales y locales. El análisis de bases de datos locales proporcionó un contexto importante y una comprensión hidroclimática que permitieron usar bases de datos internacionales de manera correcta. El análisis de las faltas (gaps) en los datos locales también destacó la necesidad de hacer seguimiento más extensivo e intensivo de la demanda de agua, el clima, el caudal y otros parámetros de entrada, para su uso en trabajos futuros. Debido a las principales faltas (gaps) en los datos locales en este momento, la calibración del modelo se realizó principalmente utilizando bases de datos internacionales y usando datos de caudales a la desembocadura de una cuenca grande. Más recientemente, datos confiables a largo plazo de caudales en puntos interiores de la cuenca podrían mejorar la precisión de la calibración del modelo para las cuencas más pequeñas.
- El uso adecuado del sistema Hydro-BID implica una recopilación considerable de datos locales y un equipo integrado por especialistas en hidrología, meteorología, ciencias del clima, agricultura, las operaciones de servicios públicos, ingeniería y economía. Con frecuencia las salidas/outputs de Hydro-BID necesitarán ser utilizadas como entradas/inputs para otros modelos como WEAP o modelos de rendimiento hídrico de embalses, para abordar plenamente los problemas complejos de gestión de los recursos hídricos. El enfoque que se muestra en la Figura 3-4 es una guía útil para estudios futuros.

1. PROPÓSITO DEL INFORME DEL CASO DE ESTUDIO



El propósito de este Informe del Caso de Estudio es ilustrar la aplicación del modelo Hydro-BID a un reto específico de manejo de recursos hídricos en América Latina, con la intención de:

- a. Mostrar el proceso de aplicación del modelo Hydro-BID a una localidad específica incluyendo lo siguiente:
 - Formulación de los objetivos de la aplicación,
 - Perfil del área del caso de estudio
 - Hidrología superficial
 - Clima actual y futuro,
 - Demanda de agua actual y futura
 - Parametrización y calibración del modelo,
 - Evaluación de situación actual y futura de demanda de agua,
 - Identificación y análisis de costo-efectividad de las medidas de adaptación, y
 - Conclusiones y recomendaciones;
- b. Proveer orientación preliminar a los planificadores de recursos hídricos de la localidad del caso de estudio en opciones de adaptación y la necesidad de análisis subsiguientes, y
- c. Servir de base para la presentación y entrenamiento del modelo Hydro-BID.

2. ORIGEN Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL CASO DE ESTUDIO

La selección del Noroeste de Argentina/Río Bermejo fue una decisión de la oficina principal del BID, en colaboración con la Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE). Esta región del país, que se ve en la Figura 2-1, ha sido sujeto de proyectos pasados de demanda de agua, saneamiento y manejo de recursos hídricos por el BID y otras instituciones, y se espera que se beneficie de más asistencia técnica y financiera para abordar otros asuntos en desarrollo relacionados con el manejo de recursos hídricos.



El proceso de selección requirió de varias discusiones para que los colaboradores entendieran el propósito, los requerimientos de datos y potenciales salidas/outputs del modelo.

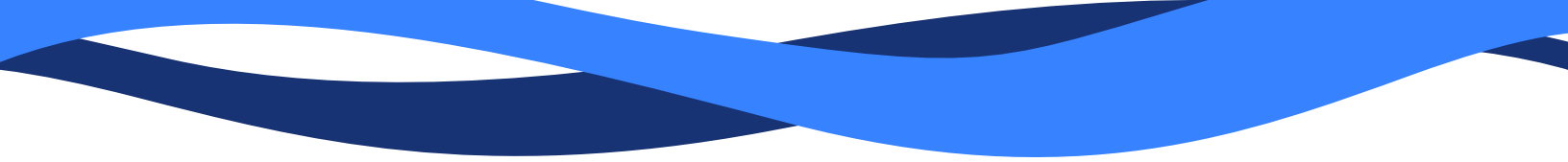
Luego de un acuerdo inicial para aplicar el modelo al Río Bermejo Superior en el Noroeste de Argentina, el personal del BID y RTI cumplió una misión de 10 días en Argentina para lograr lo siguiente:

- a. Explicar el modelo Hydro-BID a funcionarios locales.
- b. Entender las prioridades en los asuntos de recursos hídricos en el área del caso de estudio.
- c. Reunir datos básicos de recursos hídricos, clima y demandas de agua.
- d. Establecer conexiones para recolección de datos adicionales
- e. Determinar las capacidades de modelaje climático en Argentina

Estas discusiones condujeron a la selección del siguiente reto particular de manejo de recursos hídricos:

El modelaje de la sub-cuenca del Río Grande del Río San Francisco e identificar medidas potenciales de adaptación que podrían satisfacer la demanda futura de abastecimiento urbano de agua para la ciudad de San Salvador de Jujuy y la demanda futura de agua de irrigación al sur de la ciudad.

La capital de la provincia de San Salvador de Jujuy, con una población en el 2010 de 265.000 (Ver Anexo 6-1) tiene sólo una fuente de agua potable- una diversión en el Río Grande llamada la Represa de Los Molinos, a unos 5 km aguas arriba de la ciudad. El agua para 34.000 hectáreas de tierras de



regadío, otros pueblos más pequeños, y el uso agroindustrial también es desviada del Río Grande en Los Molinos. Debido a las altas cargas de sedimentos en el agua que viene del Río Grande, la represa no tiene capacidad de almacenamiento disponible, por lo que el agua para el abastecimiento urbano y el riego se proporciona por el flujo de pasada (run-of-the-river).

Hacia el fin de la estación seca, de agosto a noviembre, el caudal del río es muy bajo. La escasez en el suministro de agua urbano y los cortes del servicio son comunes. El desvío de agua desde el Río Grande para riego también disminuye durante la estación seca, a pesar de la alta demanda de agua de irrigación. Sin embargo, aquellos que utilizan el agua para el riego cuentan con fuentes de agua adicionales. Hay cuatro ríos más pequeños que alimentan a cuatro embalses que abastecen de agua a las tierras de regadío y usuarios agroindustriales, así como de agua potable a dos ciudades más pequeñas, Palpalá y El Carmen, con una población total de 155.000. No obstante, ha habido competencia entre todos los tipos de usuarios de agua de Los Molinos, cada uno tratando de asegurar una porción adecuada del caudal del Río Grande.

En virtud de las consideraciones anteriores, las partes interesadas en Jujuy solicitaron que el equipo de trabajo del proyecto que evaluara la vulnerabilidad y la suficiencia del abastecimiento de agua para las zonas urbanas de San Salvador de Jujuy, considerando también la oferta para el riego y otros usos de la represa de Los Molinos, teniendo en cuenta los futuros cambios climáticos. Ellos pidieron al equipo identificar y proponer medidas de adaptación para ser consideradas por las distintas partes interesadas en el área del caso de estudio. Las partes interesadas y el equipo de trabajo estuvieron de acuerdo en que el caso de estudio se llevaría a cabo a nivel de pre-factibilidad y no incluiría los diseños detallados de ingeniería o estudios de costos.

Como se verá en detalle más adelante, una vez que comenzó el trabajo, el equipo del proyecto descubrió que el análisis debía ser ampliado más allá del Río Grande para incluir el modelaje de las fuentes de agua adyacentes y los usos del agua en la parte sur del Río San Francisco, incluyendo las corrientes que alimentan los cuatro embalses y el suministro de agua urbano en los pueblos cercanos más pequeños y los usos agroindustriales.

3. PERFIL DEL ÁREA DEL CASO DE ESTUDIO

3.1 LA PROVINCIA DE JUJUY

Jujuy se encuentra en el extremo noroeste de Argentina, sus fronteras: Bolivia en el norte, Chile por el oeste y la provincia argentina de Salta, al sur y al este. Sus características claves incluyen hacia el oeste la región grande, seca y montañosa (“el altiplano”), con picos de más de 4.200 m de altitud, y el cañón dramático llamado la Quebrada de Humahuaca (ver **Figura 3-1**). Este valle forma la cuenca del Río Grande, que fluye desde las montañas hacia el sur, atravesando la capital de la provincia San Salvador de Jujuy (altitud 1.200 m), y se vuelve hacia el este para unirse con el Río Lavayán para formar el Río San Francisco. Este río fluye hacia el norte, a través del amplio valle agrícola (altitud de aproximadamente 500 m) en el este, y eventualmente se fusiona con el Río Bermejo.

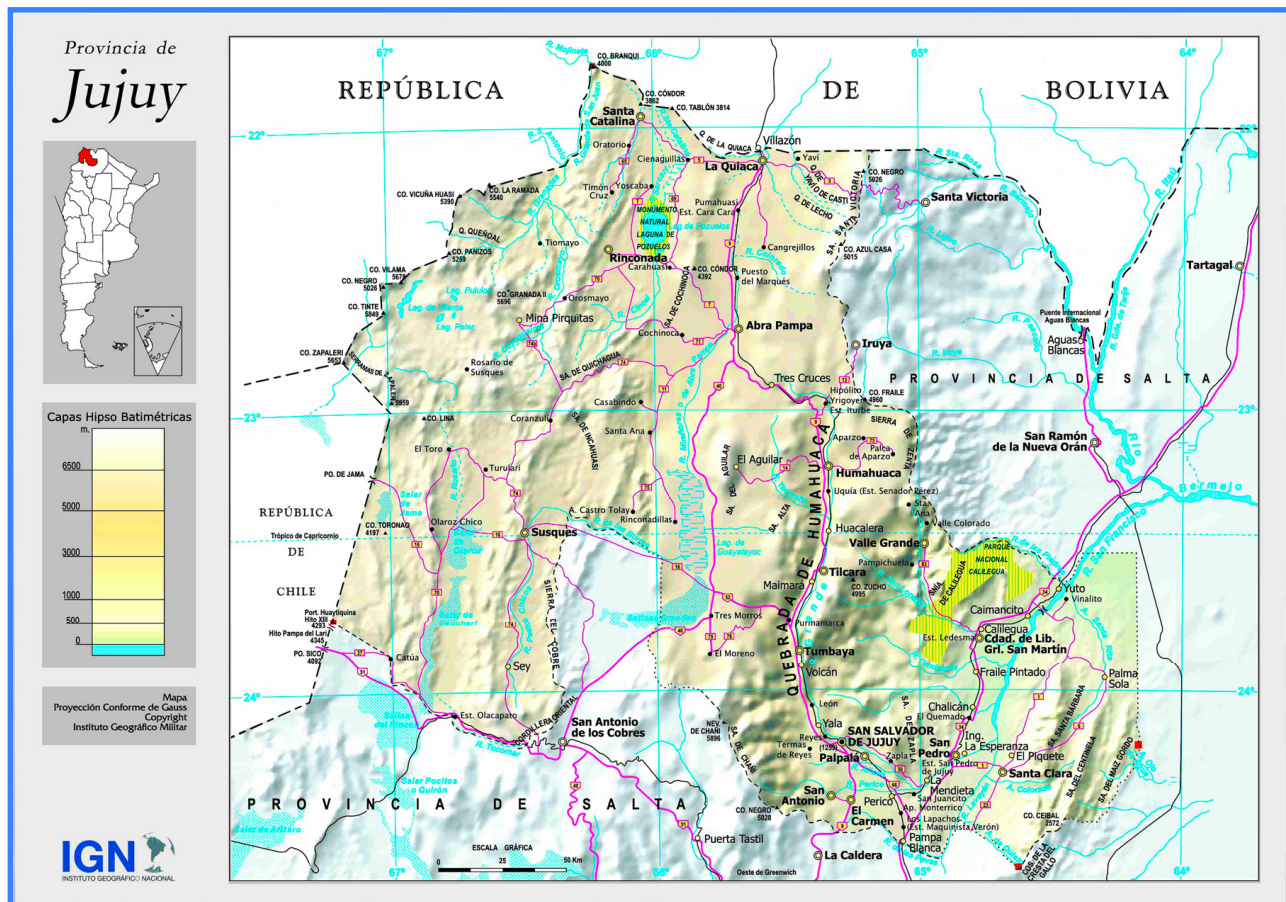
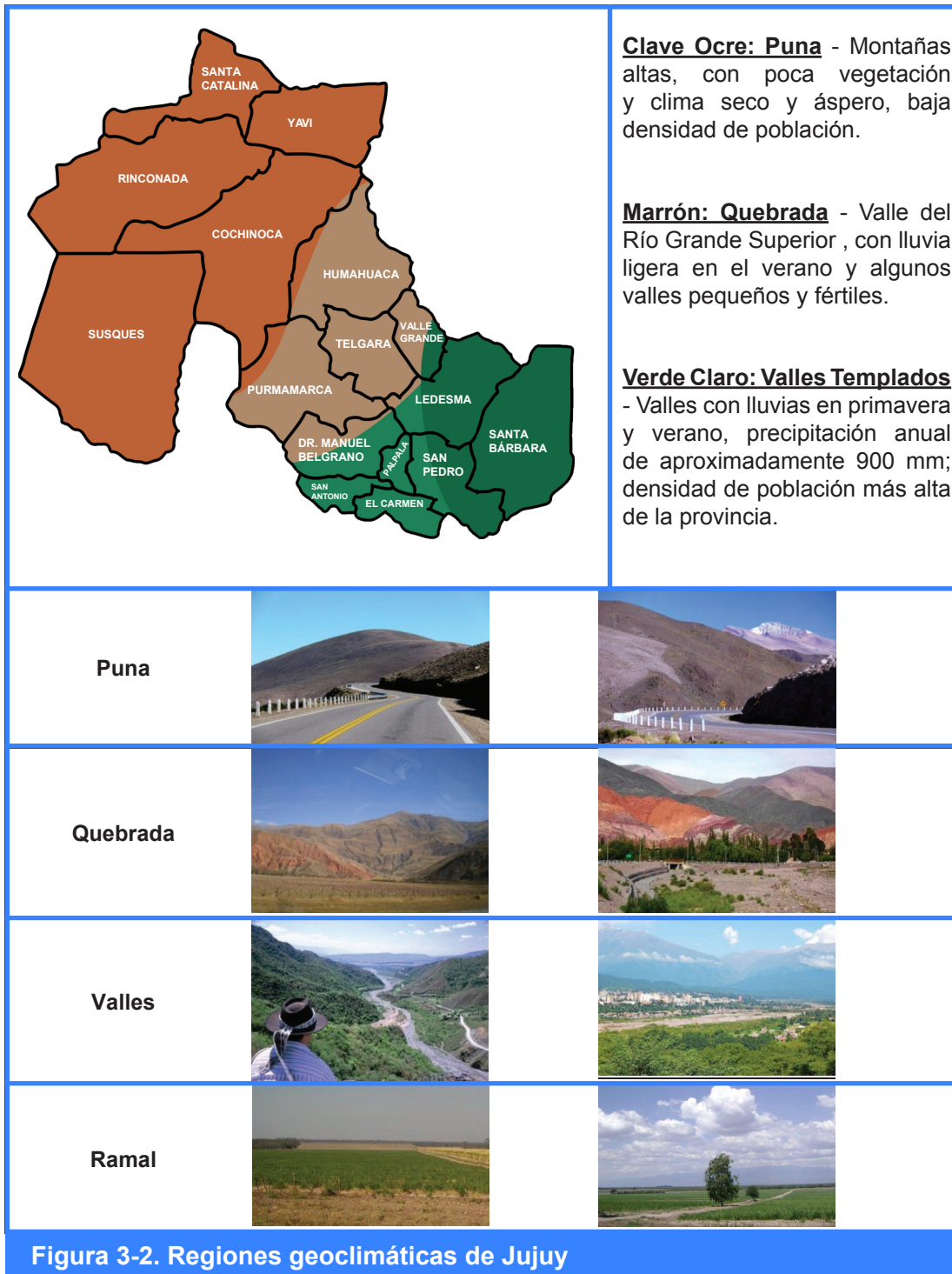


Figura 3-1. Mapa de la Provincia de Jujuy

3.2 SUBREGIONES GEOGRÁFICAS EN JUJUY

La **Figura 3-2** muestra 16 departamentos de la Provincia de Jujuy y la extensión y naturaleza de las cuatro zonas geo-climáticas de la provincia.



3.3 POBLACIÓN Y ACTIVIDAD ECONÓMICA

La población total de la provincia en el 2010 era de aproximadamente 673.000, con una densidad de población promedio de 12.7 habitantes por km². Datos demográficos en detalle se proveen en el Anexo 3-1. La región montañosa de Puna tiene una densidad de aproximadamente 1.4 personas / km² mientras el área de Valles tiene una densidad de más de 100 personas / km². La capital de la provincial es San Salvador de Jujuy, con una población de 265.000 personas. La tasa de crecimiento demográfico se ha reducido en las décadas recientes, de aproximadamente 2% en los 1980s a 1.7% en los 1990s a 1.0% en los años 2000s. El crecimiento demográfico en San Salvador de Jujuy ha sido un poco más alto que el de la provincia como un todo.

Desde su establecimiento en 1834, la Provincia de Jujuy ha pasado por un proceso de mejoramiento gradual socioeconómico. Para el fin del siglo XIX, la industria de caña de azúcar había alcanzado preminencia. Para comienzos del siglo XX el ferrocarril se había construido desde La Paz, Bolivia, a través de Jujuy hasta Buenos Aires. La industria pesada comenzó en 1945 cuando el primer molino moderno de acero en Argentina se construyó en Jujuy. En 1969 Jujuy se unió a la provincia vecina, rica y petrolera de Salta, con el descubrimiento del petróleo.



Figura 3-3. San Salvador de Jujuy

Hoy en día, la economía de Jujuy es moderadamente subdesarrollada, pero muy diversificada. En el 2006 su economía se estimó en US\$ 3 billones o US\$ 4.900 por habitante (más del 40% por debajo de la media nacional). La economía de Jujuy tiene una actividad agrícola importante, principalmente de caña de azúcar. El procesamiento de la caña de azúcar representa más de la mitad de la producción económica local provincial y el 30% de la producción nacional de azúcar. El segundo cultivo principal es el tabaco. Otros cultivos incluyen frijoles, cítricos, tomates y otros vegetales de consumo local. El ganado vacuno y cabras se crían en pequeña escala, principalmente para las industrias lácteas locales, y las llamas, vicuñas, guanacos son criados en un número significativo para lana. Las actividades industriales incluyen la minería para materiales de construcción, la extracción de petróleo en Caimancito, la producción de sal en las cuencas de sal de Salinas Grandes y la producción de papel.

3.4 ENFOQUE DEL CASO DE ESTUDIO

El enfoque general para la aplicación del caso de estudio del modelo Hydro-BID a los asuntos concernientes al manejo de los recursos hídricos en el Río Grande y el Río San Francisco Superior, se esquematiza en el diagrama en la **Figura 3-4**.

En resumen, después del trabajo inicial con las partes interesadas para definir los objetivos del estudio y realizar la recolección de los datos básicos y la evaluación, el trabajo se avanzó en varias ramificaciones:

- Disponibilidad de agua, usando el modelo Hydro-BID en tres pasos
- Análisis del clima actual y futuro
- Demanda de agua

Estos análisis dieron la información necesaria para calcular la demanda no satisfecha de agua, usando el modelo Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP, por sus siglas en inglés), asumiendo lo siguiente:

- Climas: un clima de referencia y tres proyecciones de climas futuros
- Opciones de adaptación: Una opción 0 (ninguna mejora en la eficiencia de agua) y tres opciones de adaptación, cada una con diferentes mejoras en la eficiencia del agua.

De los resultados de la demanda no satisfecha de agua, cada una de las opciones de adaptación fue evaluada usando dos criterios:

- Efectividad – reducción en la demanda de agua no satisfecha
- Eficiencia de Costo—costo por unidad de reducción de la demanda no satisfecha

A partir de estos tres últimos resultados, se formularon las conclusiones.

El resto de este caso de estudio sigue esta misma secuencia lógica.

Metodología para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Jujuy

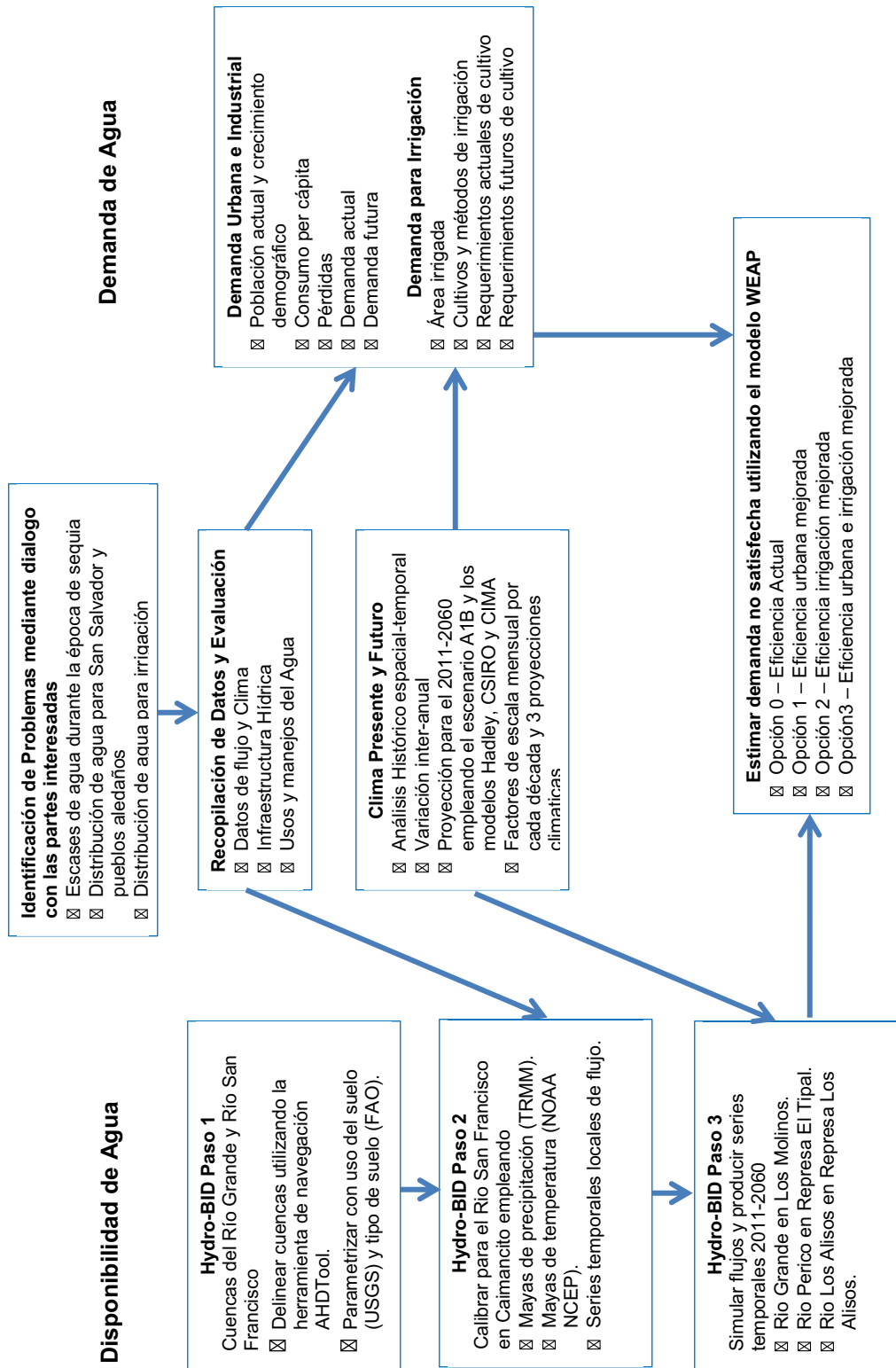


Figura 3-4. Enfoque para el manejo integrado de recursos hídricos de Jujuy

4. HIDROLOGÍA

4.1 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

El equipo generó datos sobre las cuencas de captación y caudales para el Río Grande y la parte superior del río San Francisco utilizando el modelo AHD, desarrollado por este proyecto. (Ver Nota Técnica 1 de esta serie.) La **Figura 4-1** muestra un mapa de la cuenca combinada del Río Grande y la parte superior del río San Francisco, que incluye los límites de la cuenca (líneas finas en azul) y las principales corrientes de agua (líneas gruesas en azul). La **Tabla 4-1** proporciona estadísticas de las cuencas.

No había datos de caudales diarios confiables disponibles en ninguna de las localidades aguas arriba de la población de Caimancito. Por lo tanto, era necesario el uso de datos de caudales en Caimancito para calibrar el modelo de la cuenca, a pesar de que el estudio se centró en la cuenca del Río Grande.

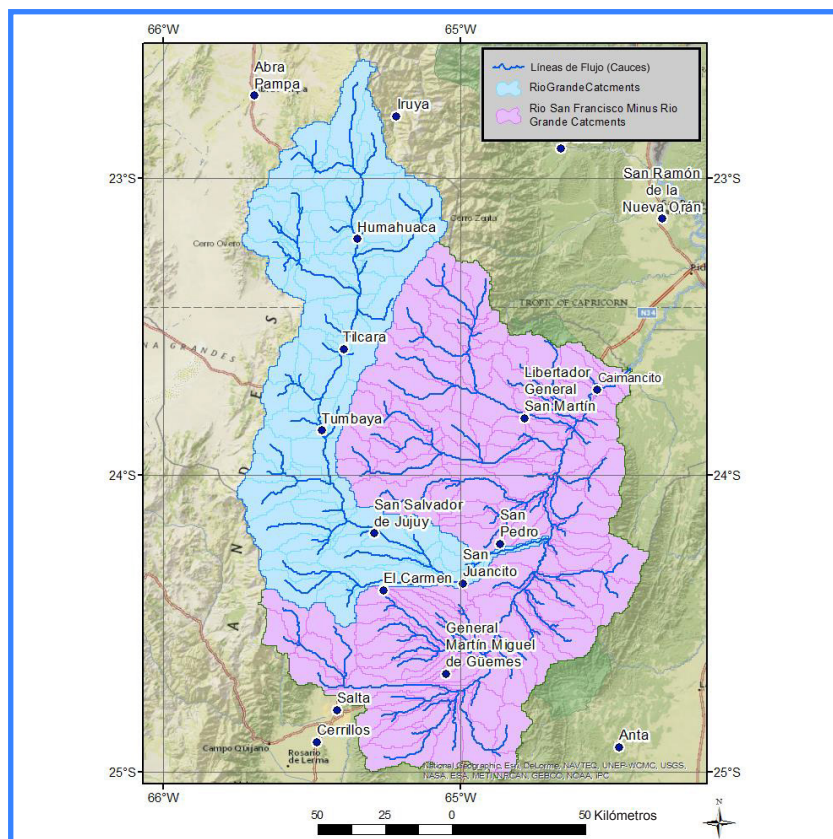


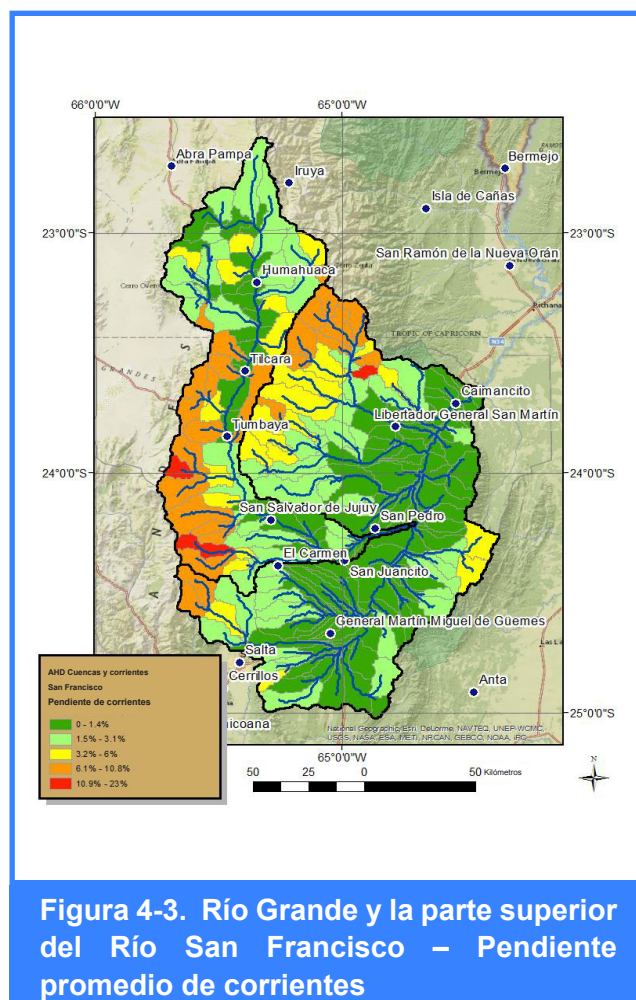
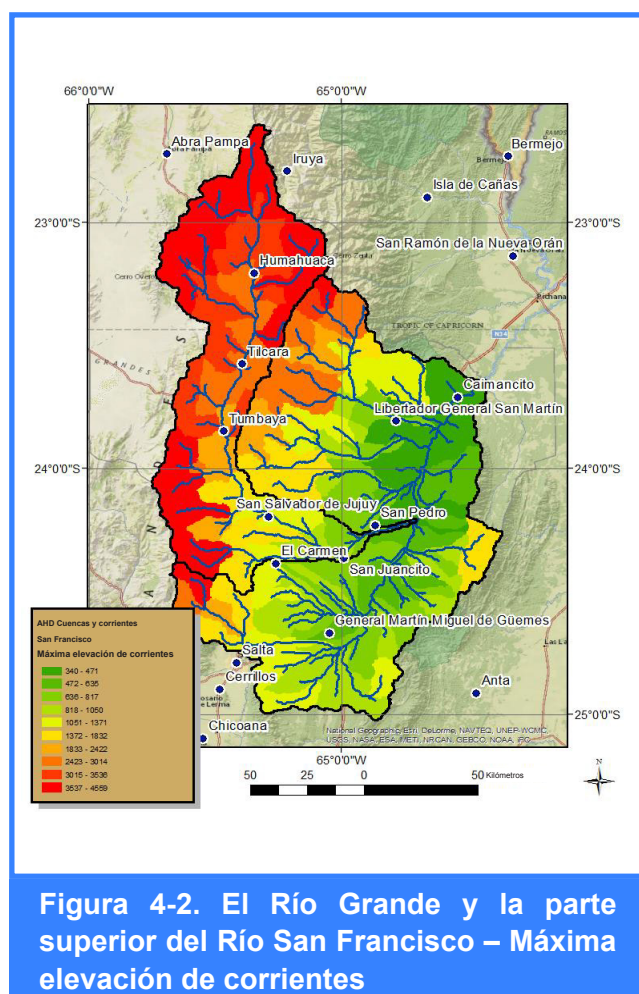
Figura 4-1. Las cuencas de captación del Río Grande y la parte superior del Río San Francisco

Tabla 4-1. Datos de la AHD sobre las cuencas del área del caso estudio

Cuenca o Subcuenca	No. de Cuencas	Cuenca Área, km ²	Corriente Longitud, km
Río Grande aguas arriba Tumbaya	69	6,700	673
Río Grande aguas abajo Tumbaya	89	8,439	913
Río Grande + San Francisco	249	22,070	2,590

La **figura 4-2** muestra la elevación máxima en cada cuenca, usando una escala de colores. La **Figura 4-3** muestra un mapa similar que indica la pendiente promedio del terreno en cada cuenca.

Las extensiones de la parte superior del Río Grande, así como el borde occidental de la sub-cuenca, están a elevaciones considerables, con montañas y valles de poca cobertura vegetal y que generan altas cargas de sedimentos. (Ver **Figura 4-4**). El río tiene un poco de flujo perenne, incluso en sus segmentos superiores, y el flujo activo se mueve dentro del cauce debido a los depósitos de sedimentos. En ciertas áreas los niveles de sedimentos son tan altos que las represas están completamente llenas de sedimentos, las obras de drenaje están bloqueadas y las carreteras y puentes se inundan durante los eventos de altas precipitaciones.



Por el norte y aguas arriba de San Salvador de Jujuy, el Río Grande empieza a dar una amplia vuelta hacia el este y otros tributarios se unen al ramal principal del Río Grande y el río se dirige directamente al este, pasando por San Juancito. Cerca de San Pedro, el Río Grande se une al Río Levayán para formar el Río San Francisco. Un punto clave en el Río Grande es la presa de Los Molinos, situada a unos 5 km aguas arriba de San Salvador de Jujuy. Allí, el agua es desviada: (1) para el suministro de agua potable a la capital provincial y (2) a un gran canal para sistemas de riego y pequeñas poblaciones hacia el sur. No hay desviaciones importantes aguas arriba de la represa de Los Molinos.



Figura 4-4. El cauce principal del Río Grande en Los Molinos

4.2 DATOS HISTÓRICOS DE CAUDALES Y TENDENCIAS

La **tabla 4-2** contiene una lista de los sitios y periodos de tiempo que corresponden a los registros de caudales para los tributarios y el canal principal del Río Grande y la parte superior del Río San Francisco. Esta data se agrupó de varias fuentes, incluyendo COREBE, DHJ, DPRH, e INTA. La **Figura 4-5** muestra un esquema de ríos y tributarios del Río Bermejo Superior, con caudales anuales en los sitios seleccionados, en 1970.

Tabla 4-2. Estaciones de aforo de caudales y datos

Lugar	Código	Cuenca	Río	Registro	Caudal Promedio según registros	Caudal Figura 4.5
Huajra	(AyEE)	Grande	Grande	1958-1966	1.6	2.6
Volcan	1112	Grande	Grande	1994-1998	NA	NA
Los Nogales	0018	Grande	Yala	1953-1967	2.6	2.7
Puente Carretero	0007	Grande	Guerrero	1945-1967	2.7	2.8
Antes del Guerrero	0014	Grande	Reyes	1945-1968	2.8	3.0
Puente Perez	0006	Grande	Grande	1945-1954	23.8	23.0
Pena Blanca	0005	Grande	Chico	1945-1969	0.6	0.6
Los Alisos	0010	Grande	Los Alisos	1958-1968	1.2	1.5
Tipal	0013	Grande	El Perico	1927-1972	8.5	8.5
San Juancito	0019	Grande	Grande	1967-1981	17.9	21.0
Bajada Del Pinto	0009	San Francisco	Lavayan	1942-1980	13.2	13.6
Arrayanal	0004	San Francisco	Candelaria	1967-1991	5.7	5.9
Pena Alta	0017	San Francisco	Valle Grande	1952-1991	10.5	10.5
Caimancito	0016	San Francisco	San Francisco	1947-2011	93.6	94.0

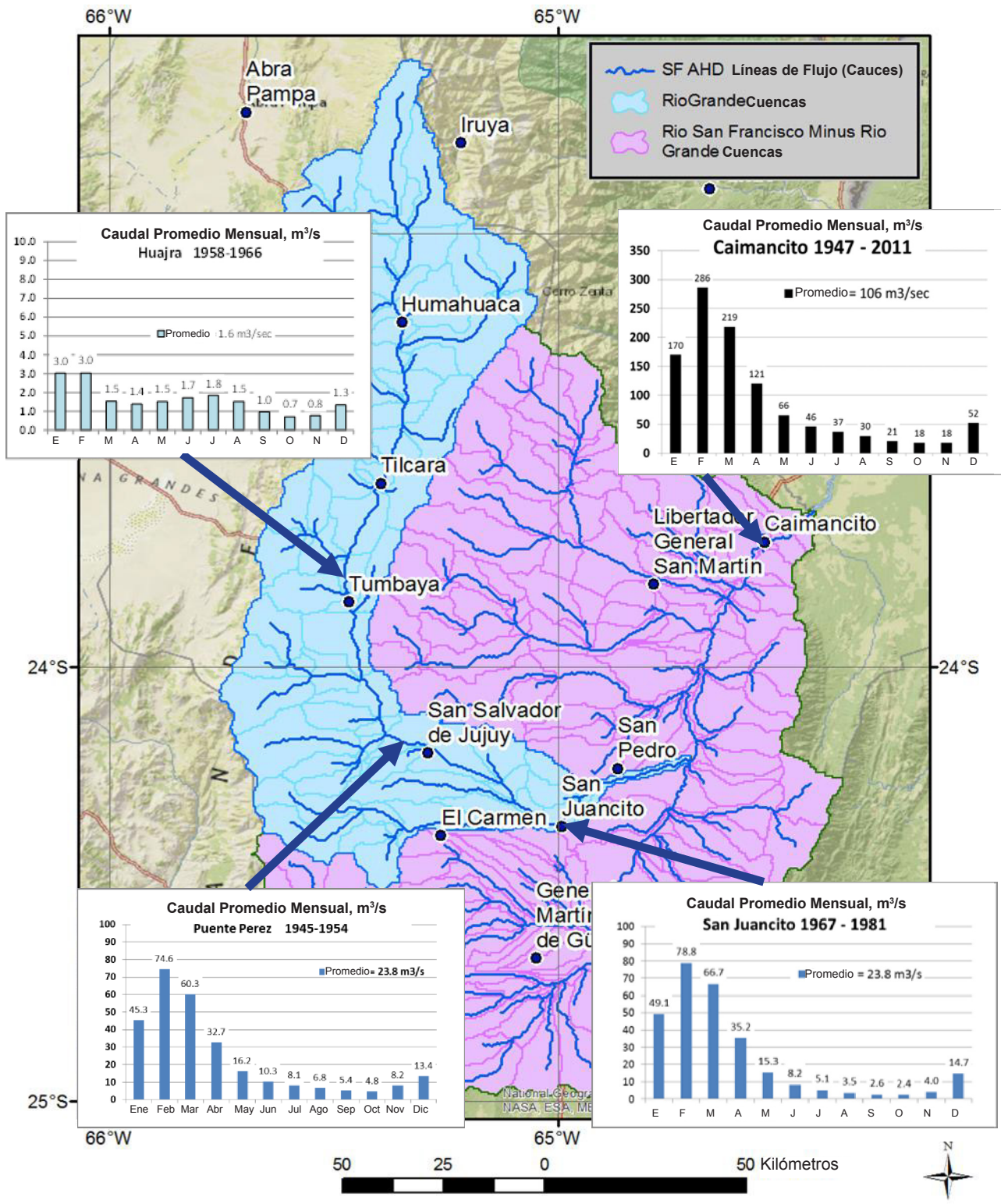
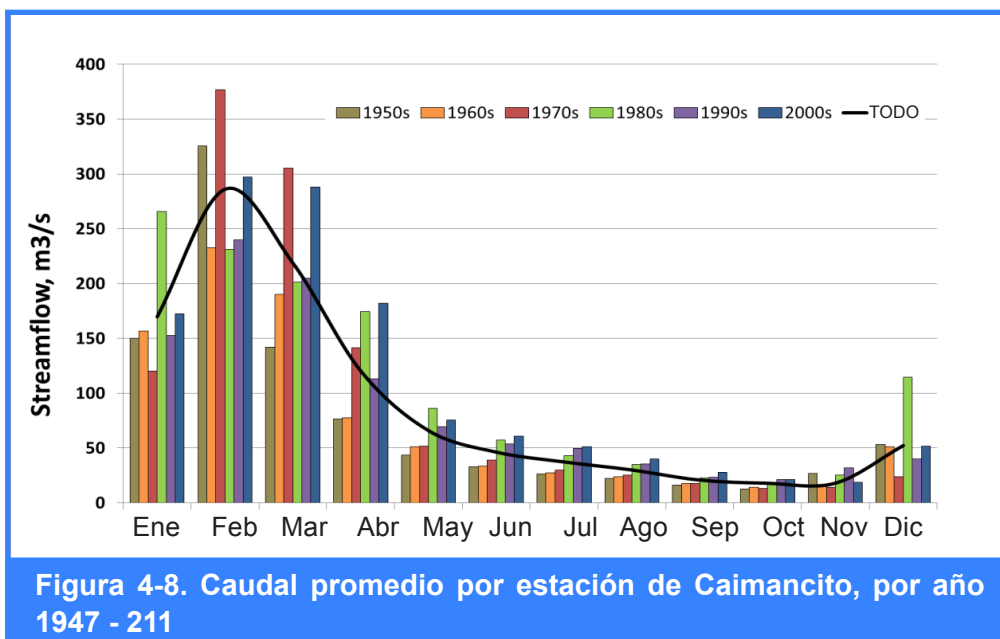
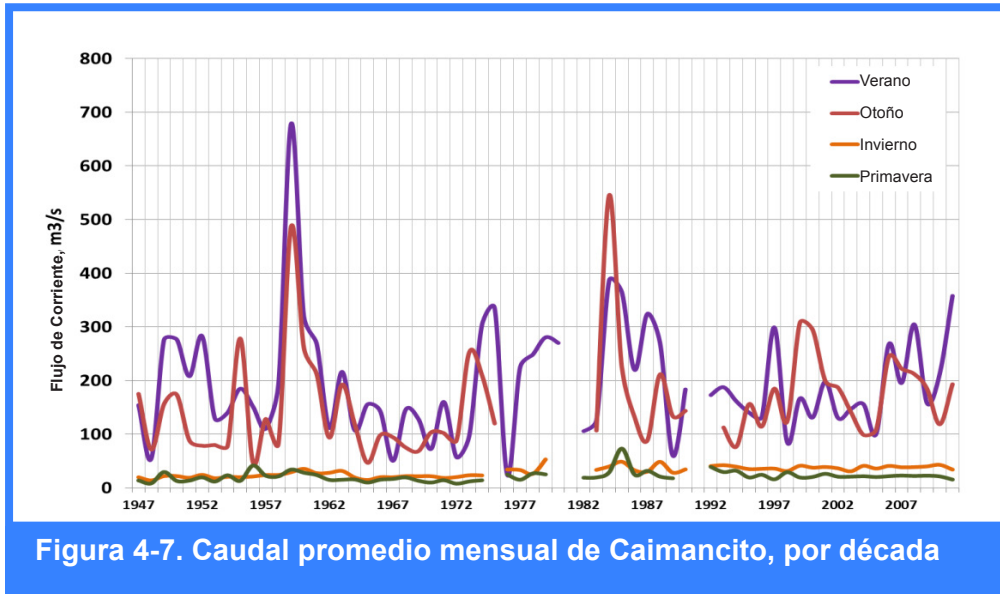


Figura 4-6. Caudales medios mensuales m³/s: observe escalas verticales diferentes en los gráficos de caudales, y los diferentes periodos de tiempo.

4.3 VARIACIÓN INTERANUAL Y VARIACIÓN DECADAL

El equipo analizó los registros de caudales mensuales y estacionales por año y por década para evaluar la variabilidad y detectar cualquier tendencia de largo plazo en los caudales. Esto sirvió como línea base antes de la aplicación de cualquier predicción futura. Los resultados, que se muestran en la **Figura 4-7** indican variaciones importantes de caudales en las estaciones de flujos altos, verano y otoño, pero mucha menos variación en los periodos de flujos bajos, primavera e invierno. No se pudo encontrar una tendencia clara en el tiempo.



La variación decadal (**Figura 4-8**) tampoco muestra una tendencia consistente. Hay alguna indicación de incrementos durante el invierno y el otoño, pero éstos no son estadísticamente importantes.

5. CLIMA ACTUAL Y FUTURO

El equipo de trabajo recolectó y analizó información histórica de precipitación y temperatura, de fuentes locales y de bases de datos internacionales para comprender mejor el clima actual e histórico del área del caso de estudio. El conocimiento de la línea base fue útil para los efectos de evaluar y seleccionar los modelos de predicción del clima futuro del área.

5.1 PRECIPITACIÓN

En general, hay una gran variación de la precipitación tanto en la dimensión de espacio como de tiempo. Dado lo montañoso del terreno y varios factores meteorológicos, la precipitación anual en un punto de la cuenca del Río Grande/Río San Francisco puede ser el doble o la mitad de otro punto solo a 5 km de distancia. A mayor altitud, las áreas más al norte tienen generalmente mucha menos precipitación, pero las variaciones espaciales son todavía grandes en las elevaciones menores. También, las variaciones de estación son grandes, con un invierno seco que tiene solo un pequeño porcentaje de precipitación anual. Además, la precipitación anual varía significativamente de año en año, y la variación es usualmente aún mayor en un determinado mes calendario. Estas variaciones hacen que las evaluaciones de la precipitación y el pronóstico sean procesos complejos, difíciles e imprecisos.

5.1.1 Fuentes Disponibles de Datos

Los registros de precipitaciones a nivel de superficie en la cuenca del Río Grande/Río San Francisco datan en algunos casos desde principios del siglo XX. Aproximadamente 30 sitios tienen registros que comienzan a mediados de la década de 1930, y muchos más lugares tienen registros a partir de los años 1970s. Las agencias responsables por establecer y manejar las estaciones incluyen las siguientes:

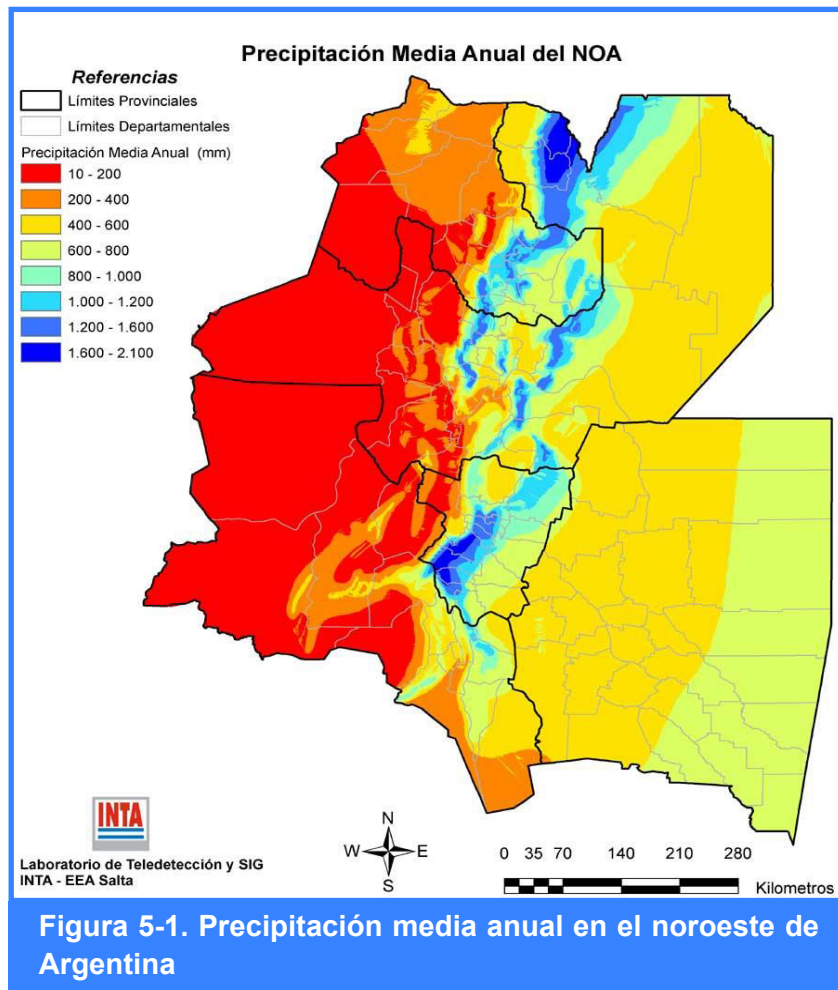
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN)
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
- Dirección de Hidrología de Jujuy (DHJ)
- Otras, incluyendo la compañía de ferrocarril que pasa por Jujuy

La oficina de INTA en Salta ha construido una base de datos de registros de precipitaciones, por año, con todas estas fuentes, para la región entera del noroeste de Argentina. Dicha oficina también ha producido mapas de precipitaciones de esta área del país, tales como la que mostramos en la **Figura 5-1**. Las áreas de precipitación alta (en azul) localizadas en Jujuy y otras provincias se benefician de las lluvias del verano al este de la cadena montañosa de Los Andes. El Anexo 5-1 muestra un mapa detallado con isohietas de la misma gran región para el periodo 1934-1990, elaborado por INTA. Un mapa más antiguo de isohietas perteneciente al estudio de recursos hídricos OEA 1974, también se incluye en el Anexo. Ambos mapas muestran claramente una variación espacial extrema de precipitación en el área del caso de estudio.

Solamente dos localidades tienen datos inmediatos disponibles de precipitaciones en **base diaria**:

- **El Perico** (Aeropuerto de Jujuy) cerca de la boca del Río Grande—1974–2011
Altitud: 799 m, Latitud: 24.39 S, Longitud: 65.10 E Fuente: SMN

- **Caimancito** en las extensiones más bajas del Río San Francisco—1947–2009
Altitud: 374 m, Latitud: 23.74 S, Longitud: 64.59 E Fuente: SMN



5.1.2 Síntesis de las Observaciones en la Línea Base Actual

Para lograr una comprensión completa de la variación espacial y temporal de la precipitación, el equipo de trabajo analizó la precipitación mensual de 31 estaciones en la base de datos INTA-Salta para el período 1961-1990, que se usa comúnmente como un período de referencia por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés). La **Figura 5-2** muestra una selección de gráficos de precipitación anual en varios puntos del área del proyecto. Los gráficos con barras más oscuras tienen una escala del eje-y más grande.

Los gráficos ilustran la tendencia general de incremento de las lluvias en las localidades del sur con elevaciones menores. Los datos de Yala y León muestran un área de alta precipitación en las colinas a unos 20 km al noroeste de San Salvador de Jujuy. Una cuidadosa revisión de los mapas de isohietas en el Anexo 5-1 confirma esta observación e indican que existe una “isla” de lluvia más intensa en esta área. Estas lluvias también alimentan varios ríos pequeños, más al sur, incluyendo el Río Los Alisos y el Río Perico y corrientes más pequeñas, incluso más al sur, que alimentan la represa grande de Las Maderas (vea la Figura 6-1, que muestra las distintas corrientes y las instalaciones de infraestructura de agua).

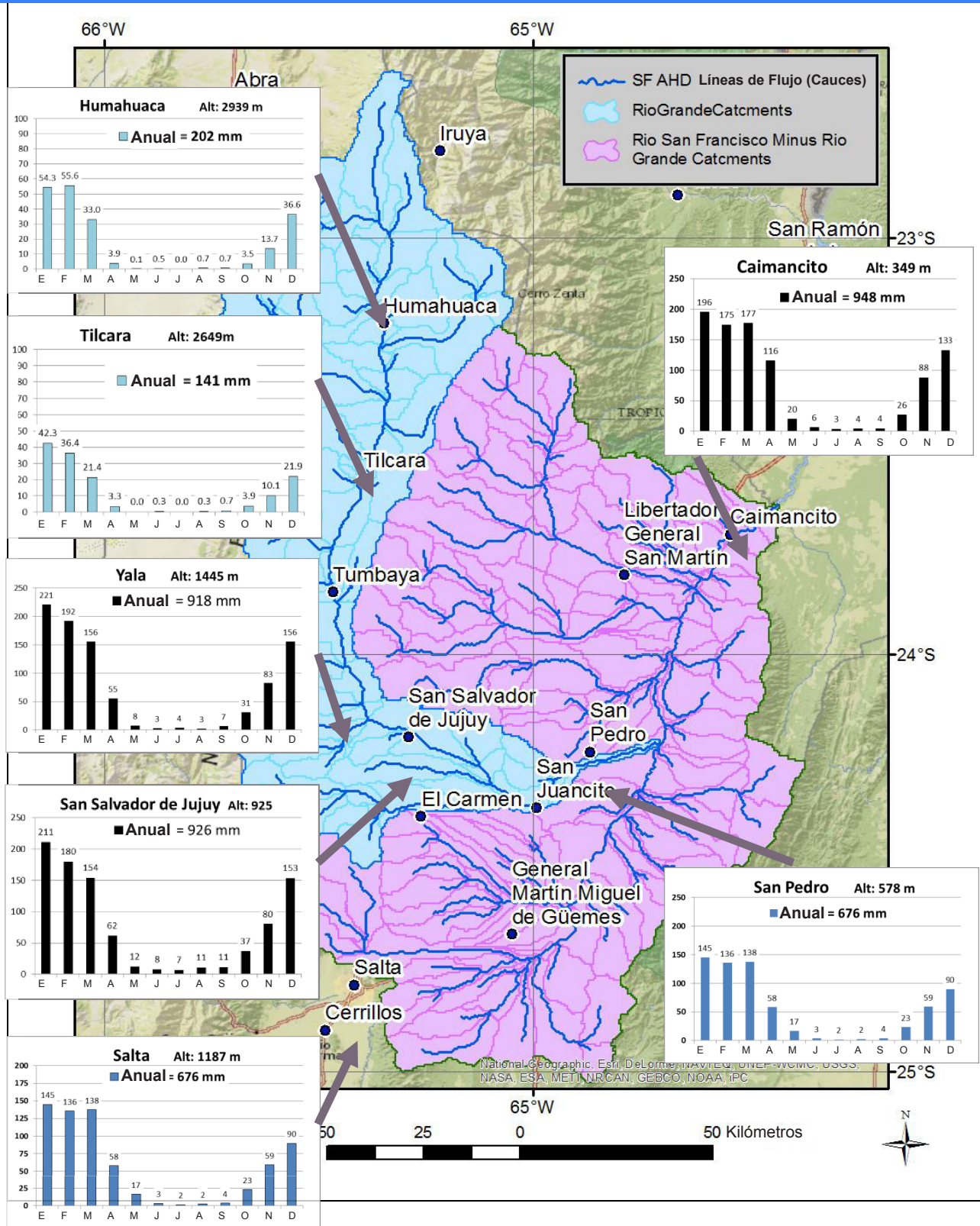


Figura 5-2. Mapa de precipitaciones medias anuales 1961-1990 , mm. Observar diferentes escalas verticales

5.1.3 Variación Interanual y Decadal

Como se muestra en la **Figura 5-3**, hay una variación significativa en la precipitación de año en año, lo cual puede ser causado por variaciones climáticas simples, retraso en la llegada o partida de la estación lluviosa, u otras variaciones climáticas de gran escala.

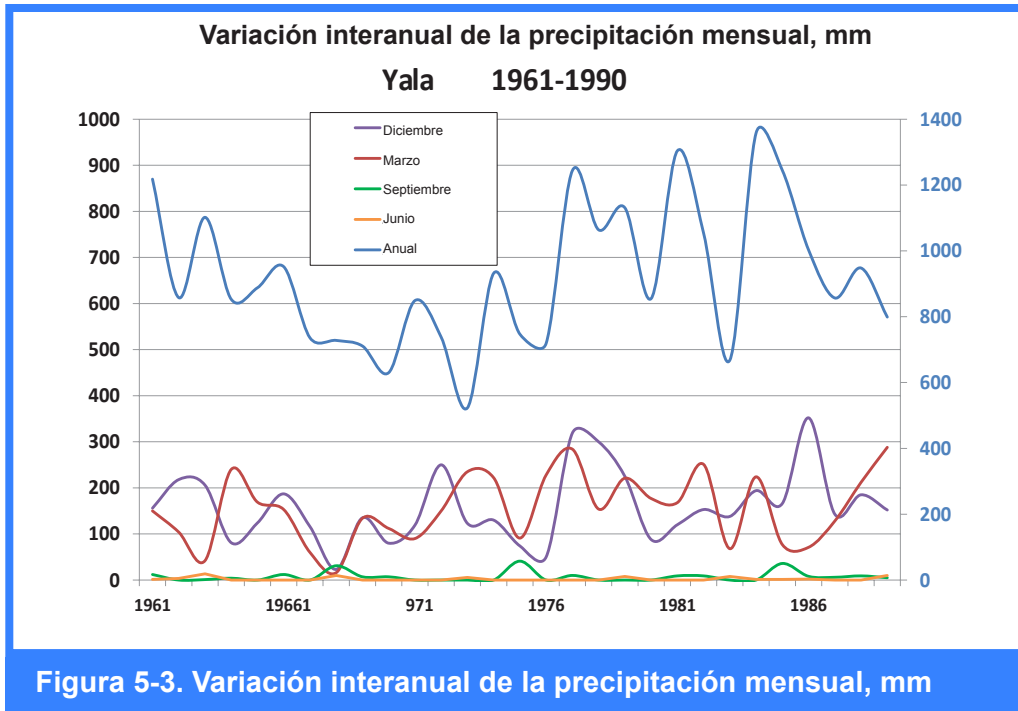


Figura 5-3. Variación interanual de la precipitación mensual, mm

El equipo de trabajo analizó este tema para identificar las tendencias importantes y también para establecer una línea base para comparar con la variación interanual esperada en climas futuros. El primer análisis buscó cualquier tendencia simple (ascendente o descendente) en la precipitación anual en meses específicos. No se presentaron tendencias claras. Aunque algunos sitios mostraron ligeros aumentos y otros mostraron ligeros descensos, el patrón general era una variación aparentemente aleatoria. Ninguna correlación clara se podía hacer a cualquier cambio asociado con los periodos de El Niño o de La Niña.

En segundo lugar, el equipo analizó la relación de la desviación estándar de la precipitación mensual con respecto a la media, para los 31 sitios, durante el período de 1961 a 1990. En general, los sitios con precipitación relativamente alta tenían relativamente bajos índices de desviación estándar de la media. En otras palabras, los lugares más lluviosos tienen menos variación (respecto a la media), pero los sitios más secos tienen más variación (respecto a la media). La **figura 5-4** muestra la relación de la desviación estándar de la media para los meses de Septiembre en los 30 sitios de 1961 a 1990. La curva muestra un dramático aumento en la variabilidad en las localidades con baja precipitación media, siendo que la desviación estándar excede la media en casi todos los casos.

El equipo también analizó la variación decadal. Una vez más, no se pudo detectar una tendencia clara ni estadísticamente significativa. La **Figura 5-5** muestra una comparación de las precipitaciones por década, por mes. Ciertamente existen notables variaciones de una década a otra, pero no hay una clara tendencia ascendente o descendente. En conclusión, la precipitación en el área del proyecto es muy variable, pero no parece haber ninguna tendencia histórica que podría servir para predecir cambios futuros.

**Variación de Precipitación Interanual - Río San Francisco
Septiembre 1961-1990**

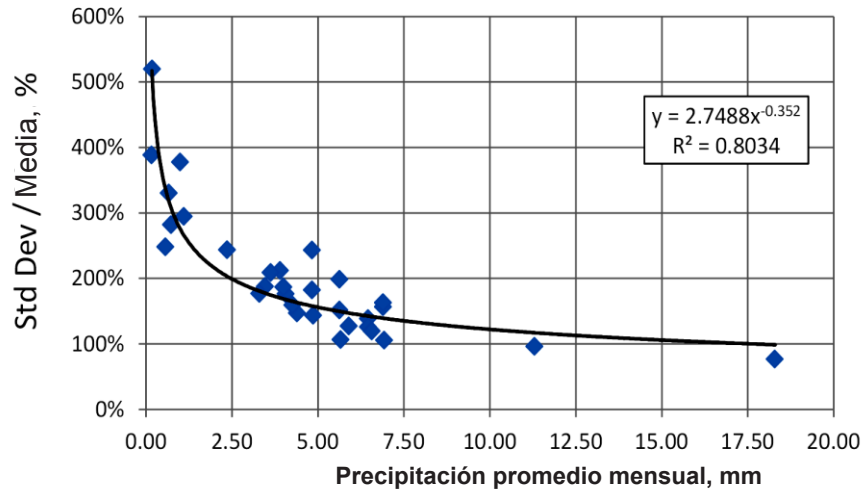


Figura 5-4 Precipitación en 31 estaciones en la cuenca del Río San Francisco

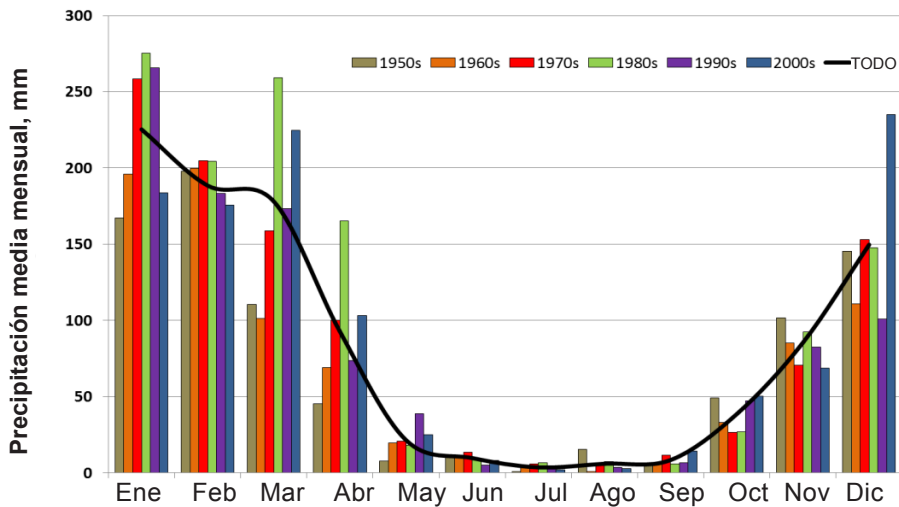


Figura 5-5. Precipitación media mensual de Caimancito, por década

5.2 TEMPERATURA

5.2.1 Datos Disponibles y Tendencias Básicas

En general, en el área del proyecto, la temperatura tiene mucha menos variación temporal y espacial que las precipitaciones. La altitud y la latitud son los principales factores que influyen en la temperatura. Sin embargo, las variaciones estacionales son importantes pero relativamente consistentes. Por lo tanto, la evaluación de la temperatura y el pronóstico son mucho menos complejos y difíciles que pronosticar la precipitación.

En parte debido a la regularidad relativa de la temperatura, no hay una disponibilidad inmediata de registros detallados de temperatura. El SMN y el INTA han recopilado los registros de temperatura desde 1930 y han creado mapas y un poco de información de base de datos. La **Figura 5-6** muestra los datos de temperatura promedio de junio y diciembre para la región entera del noroeste de Argentina.

Las únicas dos localidades con disponibilidad de temperaturas diarias son El Perico y Caimancito, cuyos parámetros se indican en la Sección 5.1.1. Las mismas estaciones cuentan con datos de precipitación diaria.

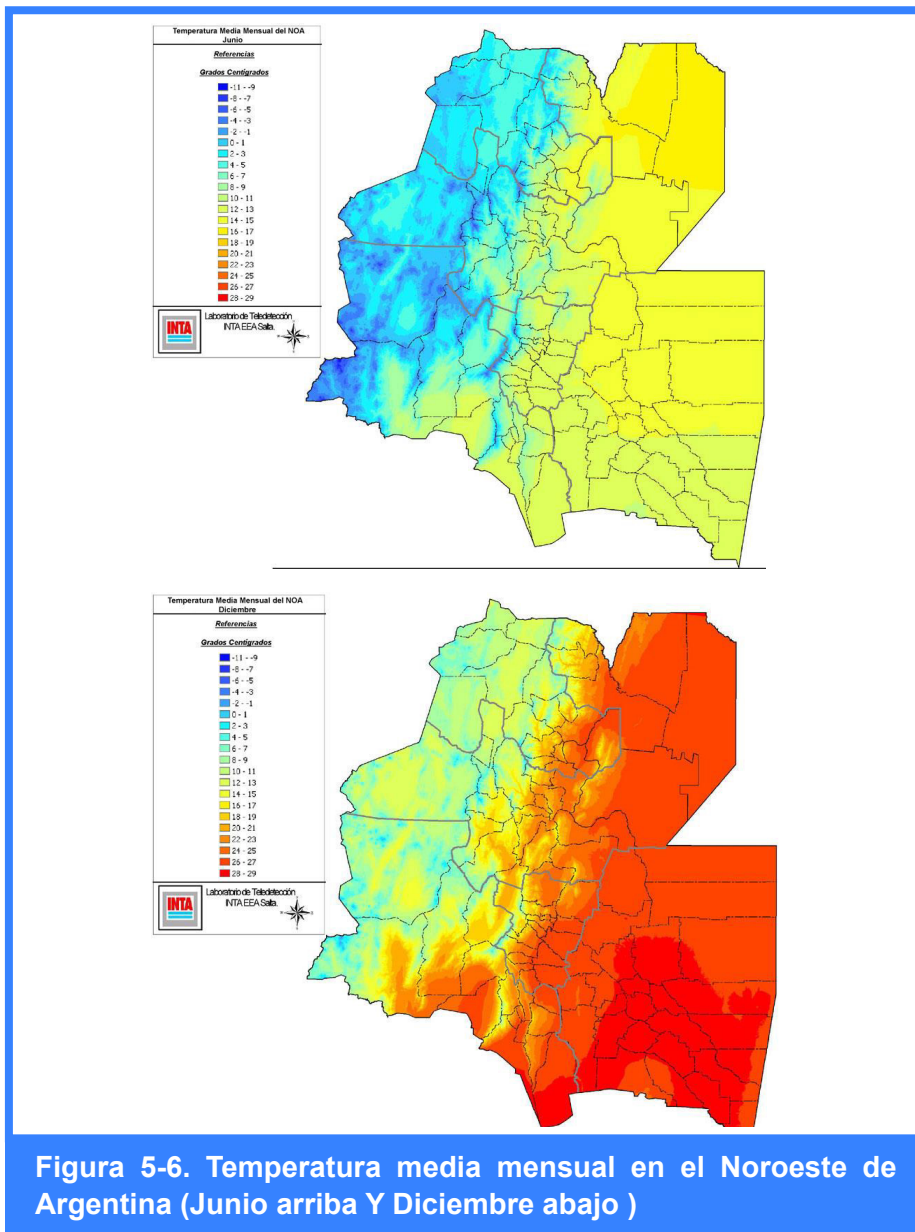


Figura 5-6. Temperatura media mensual en el Noroeste de Argentina (Junio arriba Y Diciembre abajo)

Para establecer una línea base, el equipo de trabajo analizó datos de temperatura de las 31 estaciones de la base de datos de INTA-Salta para el período 1961-1990. La Figura 5-7 muestra una selección de los gráficos anuales de temperatura en varios puntos del área del proyecto. Dichos gráficos ilustran la tendencia general de aumento de la temperatura en las localidades del sur de menor elevación.

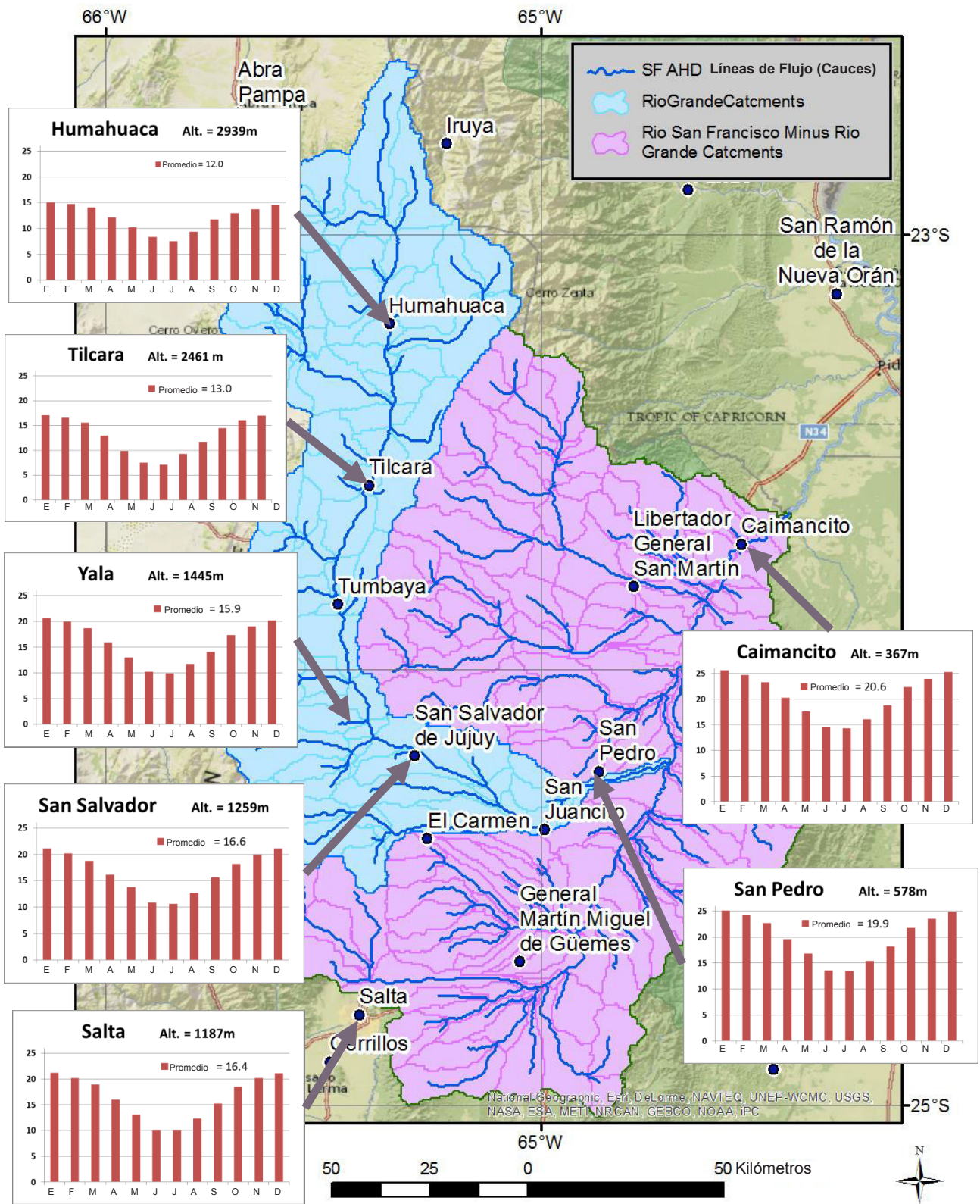
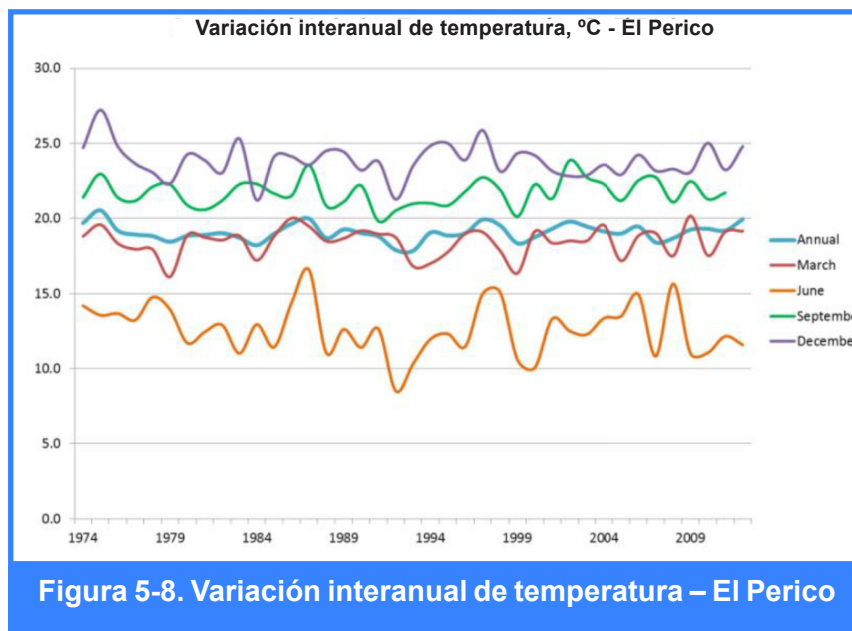


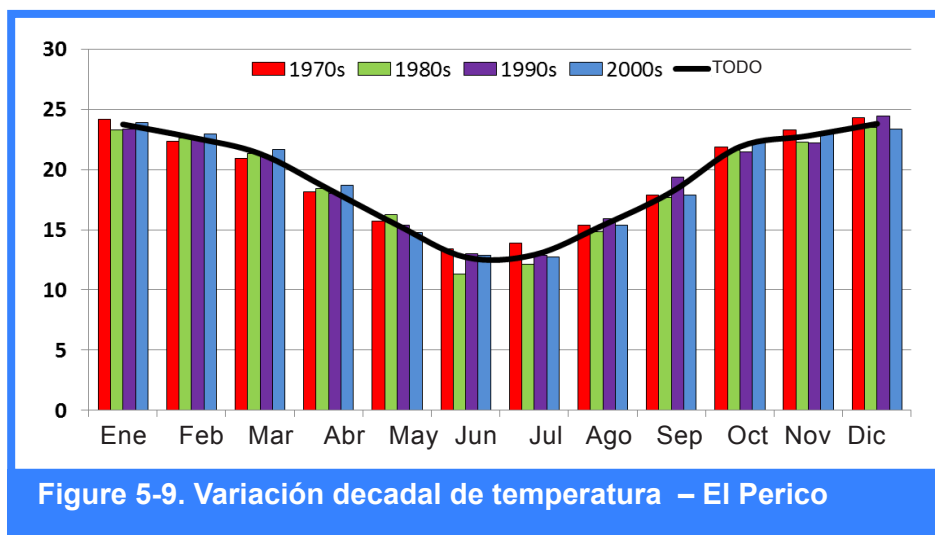
Figura 5-7. Mapa de la temperatura promedio mensual 1961-1990, °C

5.2.2 Variación de Temperatura Interanual y Decadal

En el área del proyecto, hay mucha menos variación en la temperatura de año en año en comparación con la precipitación o el caudal, como se ilustra en la **Figura 5-8**. La relación de desviación estándar interanual con respecto a la media es mucho menor que para la precipitación. Por ejemplo, en El Perico (lugar del aeropuerto de San Salvador de Jujuy, y cerca de San Juancito en el Río Grande), por un período de 30 años, la desviación estándar de la temperatura media anual fue de sólo el 3,1% de la media. En el mismo lugar, la desviación estándar con relación a la media fue del 28% para la precipitación y del 27% para el caudal. Los meses de invierno tuvieron un poco más de variación, pero de todas maneras solo alcanzó un 14%.



La **Figura 5-9** muestra la variación decadal de la temperatura en El Perico, demostrando fluctuaciones menores y ninguna tendencia observable. Hay evidencia de un incremento decadal general de temperatura en otras partes del norte de Argentina, pero esto no se hizo evidente en el área del caso de estudio.



5.3 MODELAJE BÁSICO DE CAMBIO CLIMÁTICO

5.3.1 Introducción

El modelaje del cambio climático es una ciencia inexacta, y diversos métodos evolucionan continuamente. Por lo tanto, la estimación de la temperatura y la precipitación futuras suelen ser abordadas teniendo en cuenta una variedad de enfoques, incluyendo: (1) diferentes escenarios de emisión, (2) los diferentes Modelos de Circulación Global (GCM, por sus siglas en inglés), (3) el uso de los modelos globales con resolución de cuadrícula de 100-200 km, y (4) los modelos regionales / con reducción de escala y resolución de cuadrícula de 50 km. Además, la mayoría del modelaje climático se realiza en la actualidad mediante metodologías del Panel Intergubernamental del Cambio Climático 4 (IPCC4, por sus siglas en inglés). Sin embargo, en este estudio también pudimos obtener los servicios del Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) para realizar predicciones sobre el clima usando la nueva generación de modelos climáticos, conocidos como *Coupled Model Inter-comparison Project Phase 5* (CMIP5) que formarán parte de la convención IPCC5.

Antes de considerar los resultados del CIMA, los párrafos que siguen resumen varios estudios anteriores sobre el cambio climático en la Argentina y en el complejo de la región andina. A modo de ejemplo, la **Figura 5-10** muestra los cambios esperados en temperatura y precipitaciones según la evaluación de SMN y CIMA utilizando un ensamble de 14 modelos de circulación general para la década del 2020 al 2029. Estos datos se expresan como un incremento absoluto de la temperatura en grados Celsius, y como un porcentaje de cambio en la precipitación, durante un período base de 1961-1990.

En general, los cambios esperados son bastante modestos para esta década no muy lejana. Sin embargo, se espera que el mayor incremento de temperatura suceda en el noroeste de Argentina, con un aumento previsto de la temperatura anual de alrededor de 1.1 a 1.2 grados C en el área del caso de estudio.

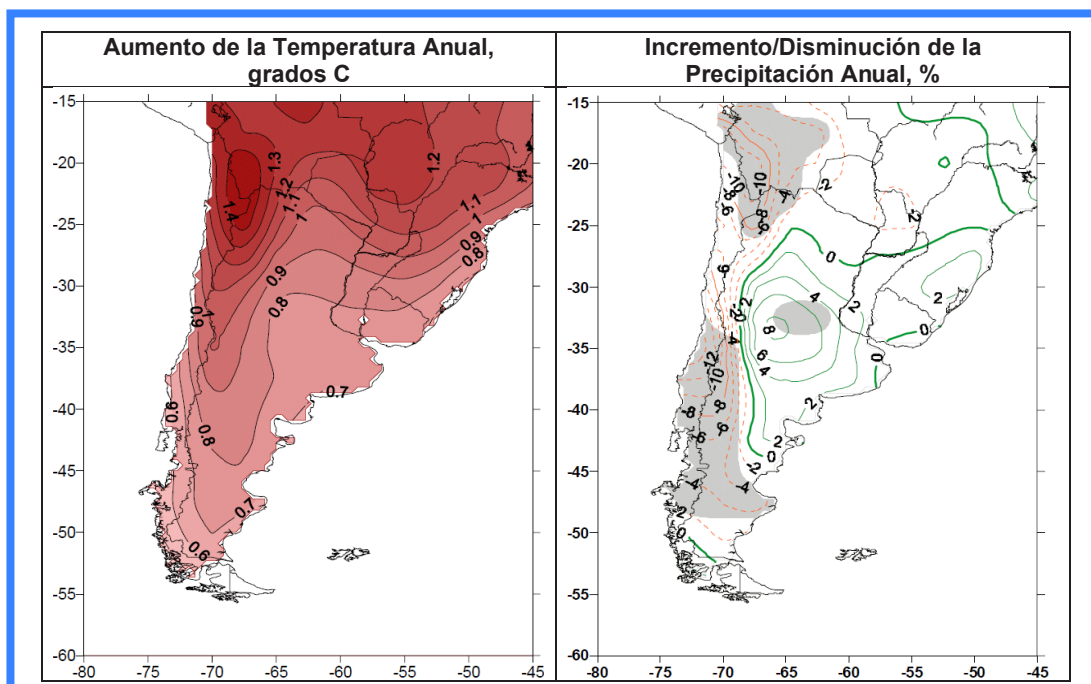


Figura 5-10. Cambio climático estimado en Argentina, 2020-2029

Se esperan incrementos de temperatura mucho menores en la región central argentina. Se pronostica que el noroeste va a experimentar un descenso en la precipitación anual, cerca del 2% en área del caso de estudio. La región central de Argentina puede llegar a experimentar incrementos notables en la precipitación anual.

5.3.2 Uso del Climate Wizard

Nuestro próximo paso fue usar la herramienta de Internet para proyección climática conocida como Climate Wizard (<http://www.climatewizard.org>) para proyectar cambios de temperatura y precipitación hasta el año 2060. Esta herramienta desarrollada por tres universidades y dos organizaciones no-gubernamentales (con el endoso del Banco Mundial), tiene muchas características útiles que permiten al usuario:

- Seleccionar un período de tiempo para análisis, puede ser histórico (utilizando la base de datos Climate Research Unit de la Universidad de East Anglia, Reino Unido) o futuro, para un rango de años dado hasta el 2100;
- Seleccionar un solo Modelo de Circulación Global o un ensamble de GCMs y uno o más escenarios de emisiones;
- Cargar archivos geográficos shape-files y obtener resultados en un formato de mapa cuadrículado;
- Obtener información gráfica de valores anuales de datos de salida/output sobre una escala multianual.

Utilizamos Climate Wizard para generar datos climáticos futuros para la subcuenca del Río Grande, y la parte superior del río San Francisco, con el escenario de emisiones moderado A1B y 2 GCMs:

- UK Met Office (UKMO) Hadley CM3.1—usado frecuentemente en Argentina en el pasado
- Commonwealth Scientific e Industrial Research Organization (CSIRO) MK3—Escenario “Seco” usado por el Banco Mundial

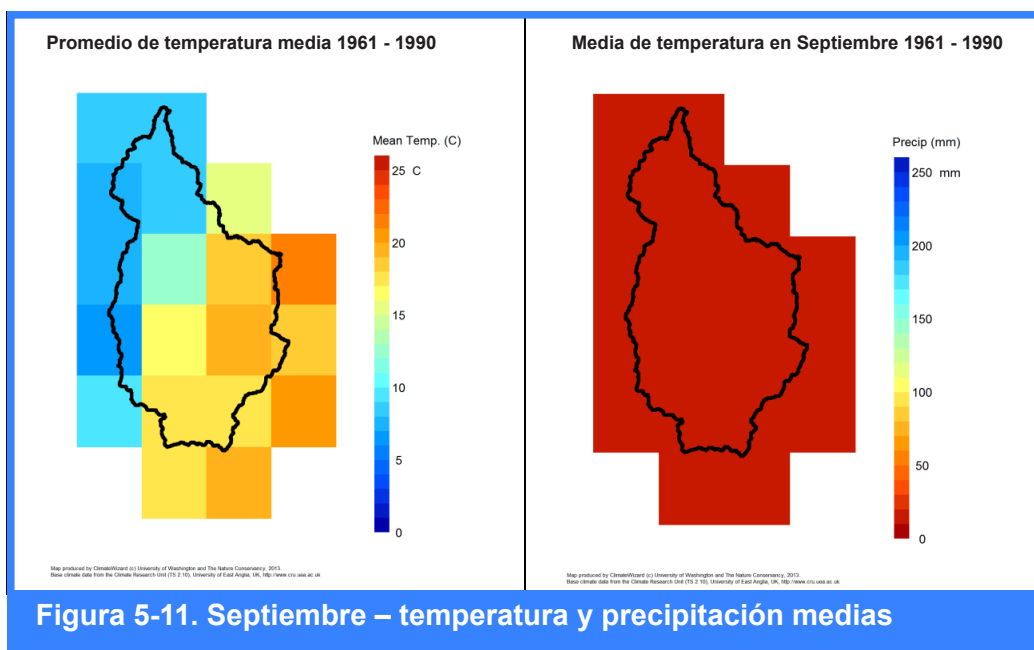


Figura 5-11. Septiembre – temperatura y precipitación medias

La **Figura 5-11** muestra una salida/output cuadriculada típica de Climate Wizard en el Río Grande y parte superior del Río San Francisco para el mes de septiembre en el período de referencia WMO de 1961-1990. Hay una clara variación de la temperatura dentro de la cuenca, pero la precipitación es baja en toda la zona. El equipo de trabajo hizo la comparación de los valores climáticos históricos reportados por Climate Wizard en el período 1961-1990, con los valores climáticos observados en la Sección 5.1 y 5.2, resultando una buena concordancia.

Luego, el equipo recopiló proyecciones mensuales de temperatura y precipitación para cada década desde 2001-2010 hasta 2051-2060. **La Figura 5-12** muestra una presentación simple de los resultados para un solo modelo climático, CSIRO MK3 A1B, y para datos estacionales, no mensuales. Hay una tendencia relativamente constante al aumento en temperaturas estacionales. Sin embargo, la precipitación es una situación mixta, con algunos aumentos en las precipitaciones en primavera y verano, pero poco cambio en el otoño y el invierno.

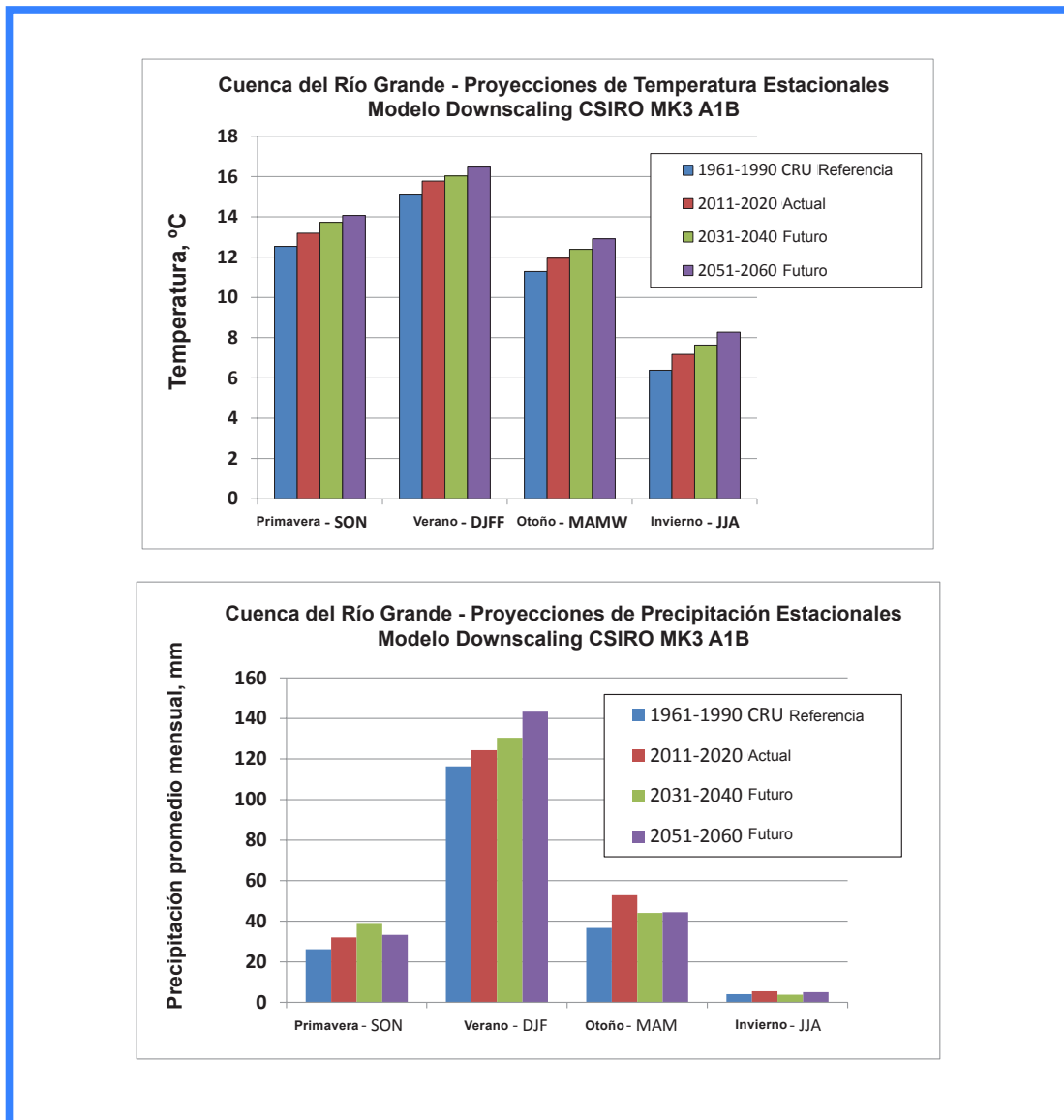


Figura 5-12. Cuenca del Río Grande – Proyecciones climáticas estacionales por década

El siguiente paso fue el desarrollo de factores de escala climáticos para ser utilizados en el modelo hidrológico. La **Tabla 5-1** muestra los factores de escala para la simulación CSIRO MK3 AIB de la cuenca del Río Grande. Los factores de escala de precipitación se usan como multiplicadores en los datos del 2001-2010, pero los factores de escala de temperatura se presentan como cambios de temperatura reales. Los factores de escala de precipitación reflejan un aumento inestable en la lluvia del verano y un descenso inestable en la lluvia del invierno. Los factores de escala de temperatura reflejan un aumento constante de la temperatura, sobre todo durante el invierno.

Tabla 5-1. Factores de escala para proyecciones climáticas CSIRO MK3 A1B

Multiplicador de precipitación de 2011 a 2060						Cambio de temperatura actual de 2011 a 2060, Grados °C					
Meses	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	Meses	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060
Ene	1.126	1.277	1.158	0.997	1.196	Ene	0.159	0.061	0.490	0.558	1.224
Feb	0.823	1.024	0.812	0.952	1.012	Feb	0.596	0.470	0.958	0.758	1.071
Mar	1.042	0.905	0.780	1.004	0.801	Mar	0.038	0.390	0.465	0.669	0.837
Abr	0.715	0.949	0.795	0.744	0.713	Abr	0.612	0.886	0.968	1.224	1.434
May	0.683	0.892	0.640	0.885	0.853	May	0.401	0.622	0.935	0.842	1.675
Jun	1.078	0.915	0.721	0.762	0.790	Jun	0.245	0.303	0.896	1.048	1.562
Jul	0.776	0.642	0.584	0.611	0.704	Jul	1.163	1.157	1.173	1.605	2.135
Ago	0.796	0.635	0.516	0.486	0.953	Ago	0.735	0.991	1.481	1.165	1.774
Sep	0.713	0.738	1.108	0.535	0.707	Sep	0.197	0.198	1.153	1.102	1.277
Oct	0.536	0.971	1.138	0.946	0.774	Oct	0.197	0.653	0.882	1.152	1.370
Nov	1.189	1.086	1.101	1.003	1.104	Nov	0.340	0.282	0.329	0.762	0.744
Dic	0.865	0.858	1.001	0.889	1.034	Dic	0.681	0.514	0.769	0.973	1.235

5.4 NUEVA GENERACIÓN DE MODELAJE CLIMÁTICO

5.4.1 Proyecciones Climáticas Utilizadas

CIMA, el grupo líder de modelaje Climático en Argentina, preparó para este estudio dos tipos de proyecciones climáticas:

1. CMIP5, la nueva generación de modelos climáticos – usando el escenario RCP (Representation Concentration Pathway)- RCP4.5 de nivel medio. Estas proyecciones pueden realizarse hasta el 2060. Los espacios de data de cuadrícula (grid) varían dependiendo del GCM utilizado, pero los espacios de cuadrícula (grid) están en el orden de 100–200 km. El CMIP5 con RCP 4.5 es apenas comparable con modelos GCM anteriores usados en el Reporte Especial del Escenario de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés), como se muestra en la **Figura 5-13**.

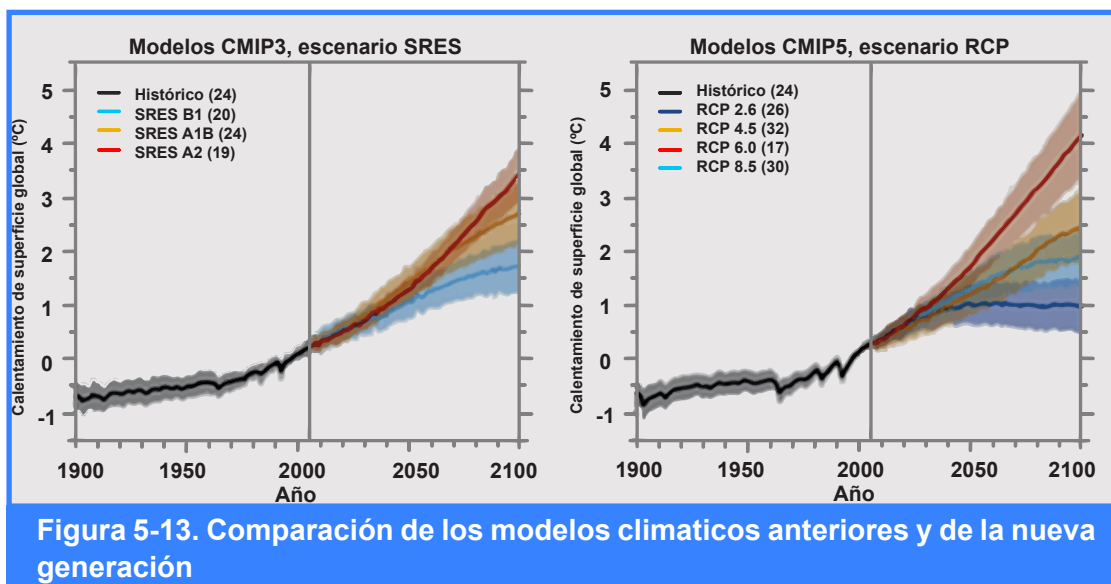


Figura 5-13. Comparación de los modelos climáticos anteriores y de la nueva generación

La **Tabla 5-2** muestra seis GCMs usadas por CIMA en su esfuerzo de modelaje del clima de las cuencas del Río Grande y Río San Francisco (22.5 grados–25 grados SUR y 64 grados–66 grados OESTE).

Tabla 5-2. GCMs usadas en el estudio CIMA

Modelo	Institución	Resolución Horizontal	Puntos de Cuadrícula (Grid) en el Área del Proyecto
ACCESS 1.0 (2011)	CSIRO, Bureau of Meteorology, AUSTRALIA	192 X 145 (1.25°x 1.875°)	9
CSIRO-Mk3.6.0 (2009)	CSIRO, AUSTRALIA	~1.875°x 1.875°	6
GFDL-CM3 (2011)	NOAA-GFDL, ESTADOS UNIDOS	~ 200 km	6
HadGEM2-ES (2009)	Met Office Hadley Centre, REINO UNIDO	1.25° X 1.875°	9
MPI-ESM-LR (2009)	Max Planck Institute for Meteorology, ALEMANIA	~1.8°	9
MIROC5 (2010)	Meteorological University of Tokyo, JAPON	1.40625° x1.40625°	16

2. Un modelo regional que usa el Modelo de Meso-escala de Quinta Generación de Penn State/ National Center for Atmospheric Research (MM5) para reducir la escala del Modelo de Circulación Global UKMO HadAM3H con el Escenario A1B SRES. Este modelo tiene una mayor resolución – con espacios de cuadrícula de 50 km, creando así 20 puntos de cuadrícula (grid) – pero que solo puede llevarse hasta el 2040.

5.4.2 Calibración del Modelo Climático CMIP5

El equipo del proyecto CIMA prosiguió a comparar las predicciones de temperatura y precipitación de cada uno de los seis GCMs con los registros históricos de largo plazo en tres sitios dentro o cerca del área del Proyecto.

1. Oran: 1960–2010 para temperatura y 1959–2010 para precipitación
2. Aeropuerto de Jujuy: 1968–2010 para temperatura y 1968–2010 para precipitación
3. Aeropuerto de Salta: 1926–2010 para temperatura y 1901–2010 para precipitación

Luego usaron el método de raíz- cuadrada de la media- para ajustar las predicciones y minimizar la diferencia entre las observaciones y las predicciones. Una vez hechas las correcciones, compararon los resultados de los seis GCMs y encontraron muy pocas diferencias entre ellos.

5.4.3 Resultados del Modelo CMIP5

La **Figura 5-14** muestra una comparación de los resultados de los seis GCMs calibrados. Tenga en cuenta que el eje vertical es una escala logarítmica, lo que permite que los valores de la estación seca (invierno) puedan ser examinados con más detalle. En general, la diferencia entre los seis GCMs es pequeña. De hecho, los científicos del CIMA recomiendan, el uso de un ensamble de los seis para obtener una buena proyección en este caso de estudio, por lo que hemos adoptado dicha recomendación. Estos resultados se agregan en forma de factores de escala para el clima futuro, como se muestra en la **Tabla 5-3**. Los cambios en la precipitación no muestran cambios decadales o estacionales consistentes. Pero **la temperatura muestra un aumento constante, especialmente en los meses secos del invierno**. La **Tabla 5-1** proporciona los factores de escala análogos para la proyección CSIRO MK3 AIB.

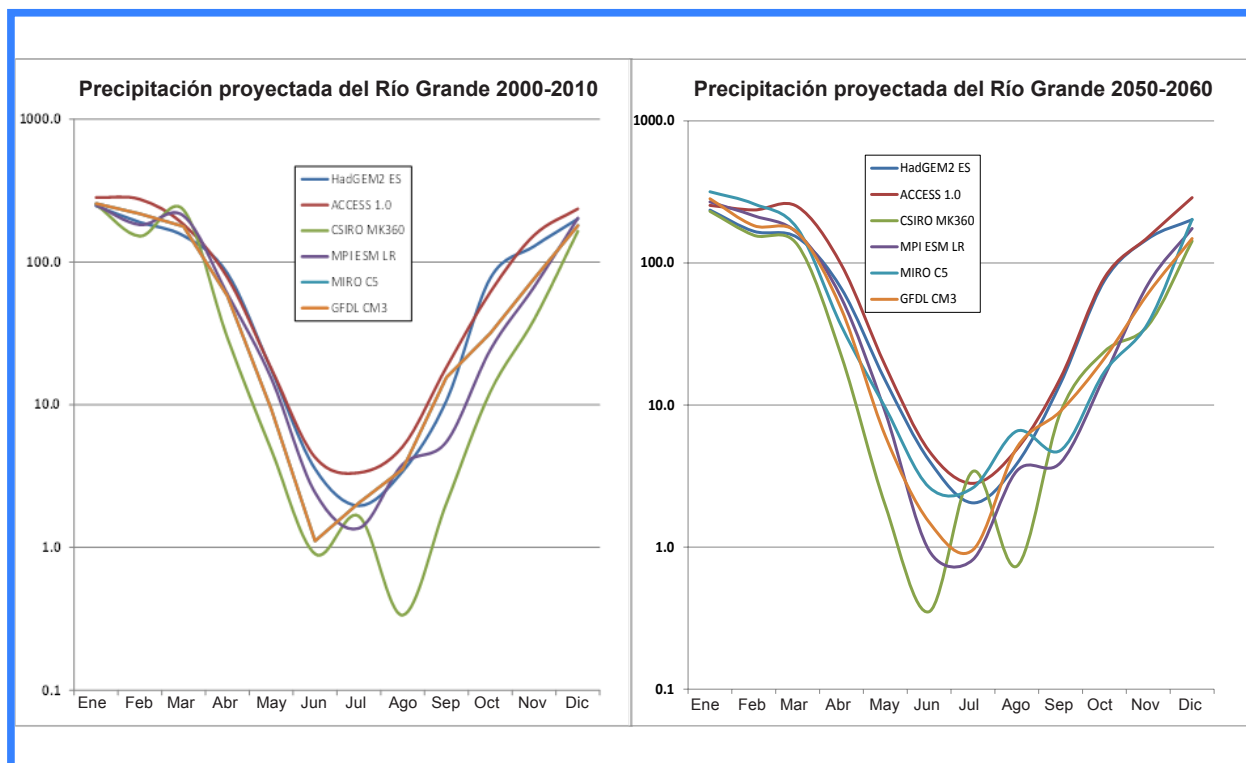


Figura 5-14. Resultados de los seis GCMs calibrados, preparados por CIMA. Observe escala logarítmica.

Tabla 5-3. Escalas de factores para el ensamblaje de proyecciones climáticas de CIMA

Ensamblaje de CIMA GCMs											
Precipitación (multiplicador)						Aumento de temperatura, Grados °c					
	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060		2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060
Ene	1.013	0.096	1.034	0.978	1.022	Ene	0.23	0.45	1.13	1.39	1.58
Feb	0.938	0.991	0.992	0.919	0.959	Feb	0.38	0.41	0.95	1.38	1.56
Mar	0.953	0.896	0.929	1.025	0.900	Mar	0.59	0.59	1.16	1.51	1.66
Abr	0.976	0.962	1.006	0.970	0.912	Abr	0.20	0.45	0.96	1.35	1.60
May	0.790	0.822	0.802	0.798	0.813	May	0.39	0.53	0.96	1.38	1.97
Jun	1.164	0.927	0.926	1.033	0.978	Jun	0.56	0.46	0.88	1.55	2.06
Jul	1.024	0.889	1.243	0.843	1.146	Jul	0.26	0.34	1.11	1.40	1.70
Ago	0.910	0.879	1.093	0.927	1.154	Ago	0.83	0.83	1.39	1.68	2.35
Sep	0.962	0.881	0.808	0.814	0.949	Sep	0.99	0.99	1.46	1.55	2.05
Oct	1.011	0.944	0.964	0.969	1.001	Oct	0.44	0.64	1.15	1.64	2.10
Nov	1.042	0.963	1.031	0.981	0.915	Nov	0.12	0.41	0.93	1.29	1.69
Dic	0.944	0.998	0.964	0.989	0.988	Dic	0.43	0.51	1.10	1.43	1.87

También comparamos los resultados del modelaje CMIP5 con los resultados de Climate Wizard. La **tabla 5-4** muestra una comparación de las proyecciones de precipitación del ensamblaje CIMA para los años 2051-2060, en comparación con los resultados de Climate Wizard para la misma década. En el verano, el ensamblaje CIMA muestra una precipitación significativamente mayor, mientras que en el invierno es ligeramente inferior.

Tabla 5-4. Comparación de las proyecciones de precipitación: 2051-2060

Precipitación 2051-2060													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
CIMA Ensemble Model	265	203	172	54.1	10	2.4	2.1	4.1	9.4	38.6	84.7	193	1039
Climate Wizard UKMO HadCM3	144	151	92.9	38.4	4.5	5.9	2.1	7.3	4.6	24.4	73.7	91.5	641
Climate Wizard CSIRO MK3	159	150	89.7	33.5	10.1	5.1	4.3	5.7	5.1	28.8	65.9	121	678

5.4.4 Resultados del Modelo Regional MM5

El equipo preparó resultados del modelo regional CIMA para los puntos de cuadrícula (grid) correspondientes al Río Grande y comparó los resultados con los resultados de Climate Wizard para los mismos puntos de cuadrícula (grid). Los resultados se muestran en la Tabla 5-5. El modelo regional CIMA predice precipitaciones considerablemente mayores en los meses de verano (diciembre a febrero). Aunque esta diferencia es motivo de preocupación, los datos más importantes son aquellos del invierno seco y las precipitaciones en primavera (mayo a agosto), que están relativamente cerca.

Tabla 5-5. Proyecciones de lluvia y temperatura de los tres modelos regionales

Precipitación 2011-2020			
Mes	CIMA Modelo Regional	Climate Wizard UKMO HadCM3	Climate Wizard CSIRO MK3
Ene	262.8	149.7	149.7
Feb	244.8	122.0	122.0
Mar	127.0	116.7	116.7
Abr	47.7	33.6	33.6
May	6.2	8.1	8.1
Jun	3.5	6.1	6.9
Jul	5.0	2.1	4.8
Ago	8.2	3.3	4.8
Sep	5.9	6.7	5.2
Oct	11.2	32.8	19.9
Nov	68.8	47.7	71.0
Dic	120.3	93.3	101.2
Total	911.4	631.9	643.8

Precipitación 2031-2040		
CIMA Regional Modelo	Climate Wizard UKMO HadCM3	Climate Wizard CSIRO MK3
224.1	180.4	154.0
264.8	108.1	120.3
153.3	129.9	87.4
42.7	35.3	37.3
5.4	8.0	7.5
5.4	4.0	4.6
9.1	3.2	3.6
10.2	5.9	3.1
8.2	4.8	8.1
35.0	20.6	42.3
69.4	68.0	65.7
123.0	94.2	117.1
950.5	662.4	651.0

Temperatura 2011-2020			
Mes	CIMA Modelo Regional	Climate Wizard UKMO HadCM3	Climate Wizard CSIRO MK3
Ene	16.6	16.3	15.9
Feb	15.9	15.0	15.2
Mar	14.9	14.8	14.5
Abr	13.1	12.3	12.2
May	10.1	9.2	9.1
Jun	7.1	7.1	6.6
Jul	6.6	6.5	6.4
Ago	8.0	9.0	8.5
Sep	10.7	11.8	11.4
Oct	13.4	13.7	13.0
Nov	15.6	14.9	15.2
Dic	16.3	16.5	16.3
Promedio	12.4	12.2	12.0

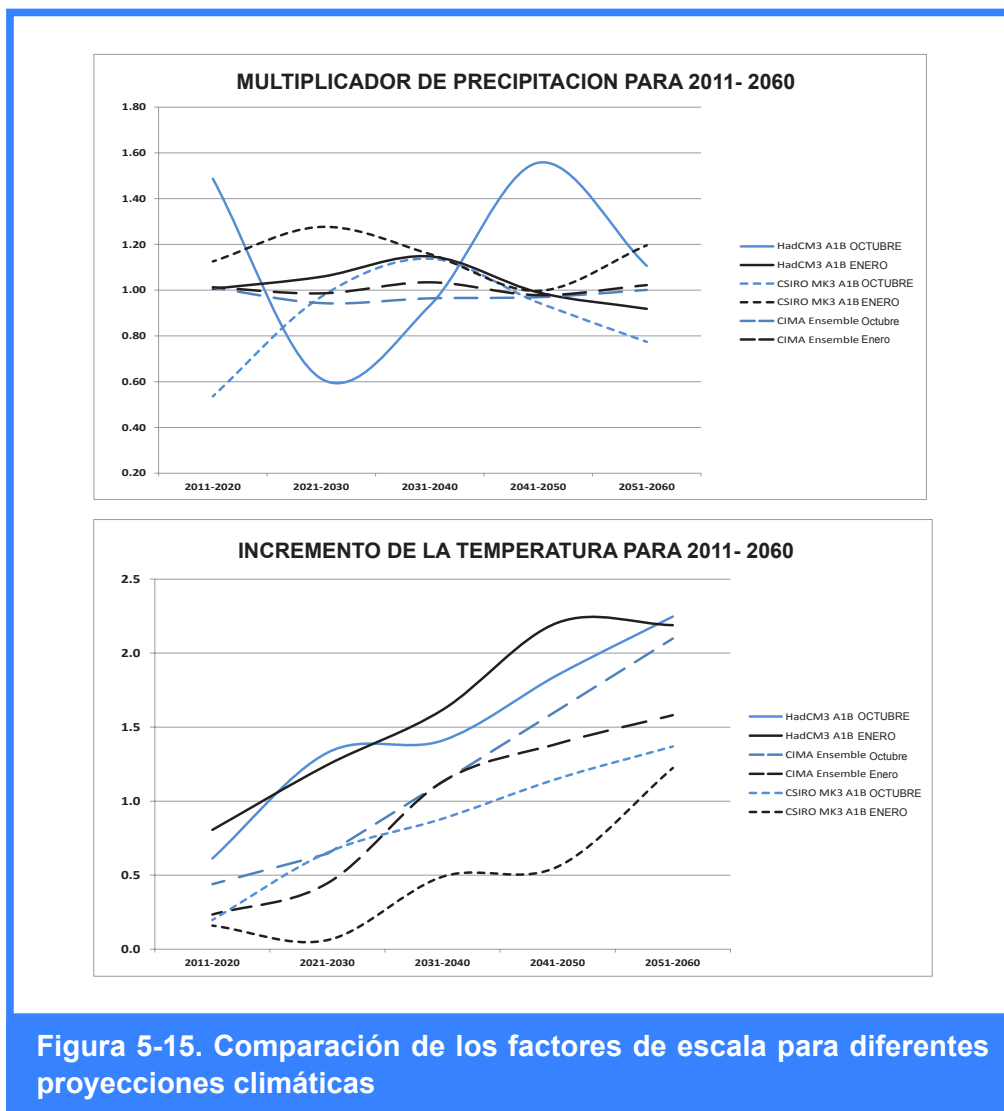
Temperatura 2031-2040		
CIMA Modelo Regional	Climate Wizard UKMO HadCM3	Climate Wizard CSIRO MK3
18.0	17.1	16.2
16.6	15.4	15.6
16.0	15.4	15.0
13.6	13.1	12.5
10.4	10.0	9.6
7.7	7.3	7.3
7.2	7.1	6.4
9.2	9.9	9.2
10.5	12.5	12.3
14.7	14.5	13.7
16.4	16.4	15.2
17.6	17.7	16.3
13.2	13.0	12.4

Nuestra decisión final fue la de no usar el modelo regional de CIMA porque solo puede proporcionar datos hasta el 2040, mientras que los resultados del Climate Wizard pueden abarcar el periodo deseado de análisis que termina en el 2060.

5.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE VARIAS PROYECCIONES DE CLIMA

Se realizó una comparación del ensamble de modelos de CIMA y las dos proyecciones del Climate Wizard para los factores de escala de temperatura y precipitación durante las décadas del 2011-2020 hasta 2051-2060. Para fines de simplicidad, la **Figura 5-15** muestra los datos de factor de escala para dos meses - enero (mediados del verano) y octubre (mediados de la primavera y fines de la estación seca).

Existe una clara tendencia al incremento de la temperatura y, como se vió anteriormente, las tendencias de la precipitación son inconsistentes. La información de la combinación de CIMA es claramente “más suave” y menos extrema, presumiblemente porque combina muchos modelos climáticos. Sin embargo, puede no reflejar la volatilidad interanual que puede esperarse en base a las tendencias pasadas. Debido a que no hay ninguna razón de peso para preferir un modelo sobre el otro, hemos continuado el análisis utilizando estas tres proyecciones climáticas.



6. INFRAESTRUCTURA Y DEMANDA DE AGUA

6.1 LA INFRAESTRUCTURA DE AGUA EXISTENTE

La **Figura 6-1** muestra un mapa de la infraestructura hídrica: represas, canales, poblaciones y áreas irrigadas dentro del área del caso de estudio. Véase el **Anexo 6-1** para una descripción específica de los componentes de la infraestructura.

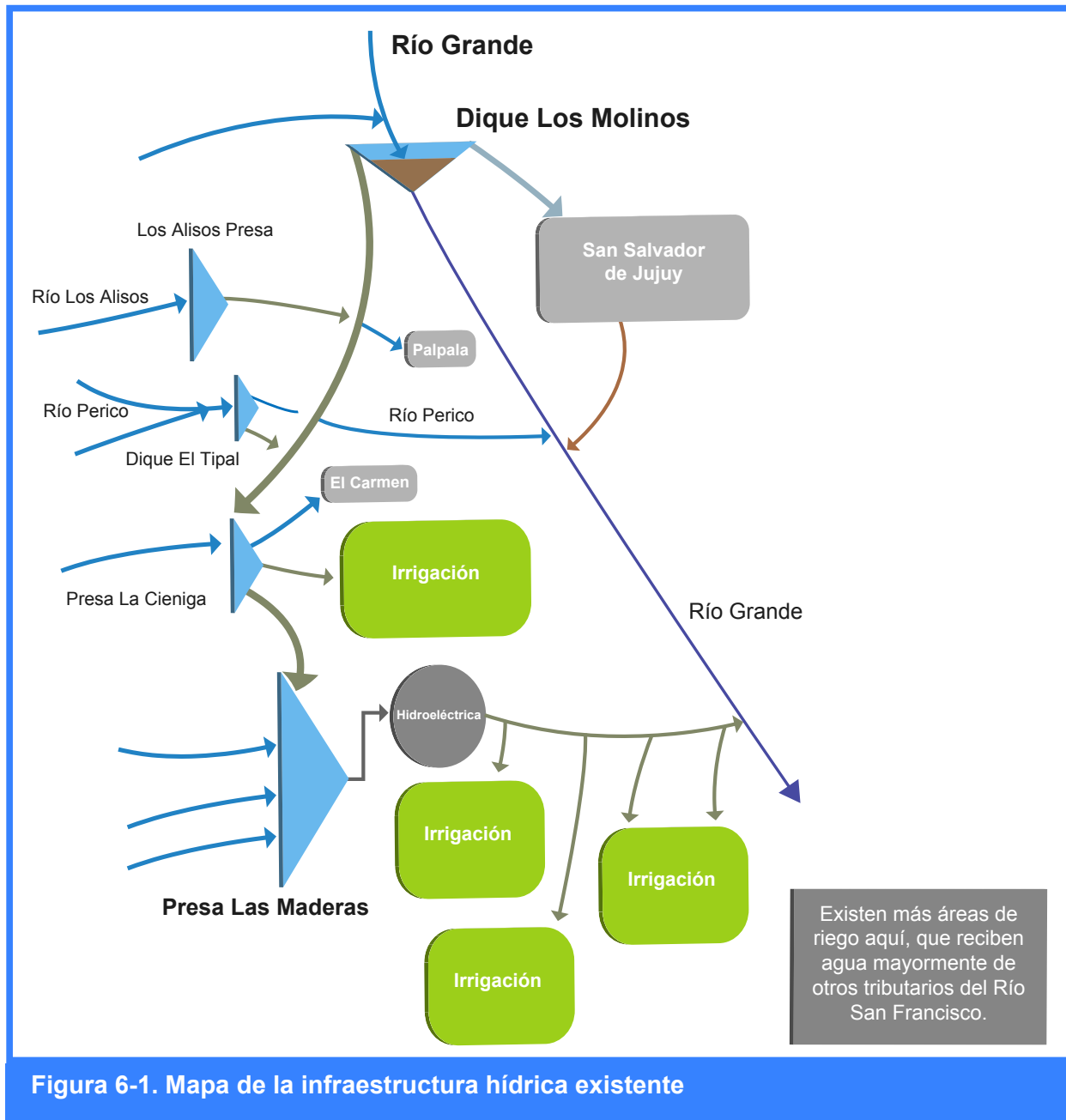


Figura 6-1. Mapa de la infraestructura hídrica existente

6.2 DEMANDA DE AGUA URBANA E INDUSTRIAL - ACTUAL Y FUTURA

San Salvador de Jujuy es servido por la planta de tratamiento Alta Reyes, situada en Los Molinos. Dicha planta, que actualmente representa la única fuente de abastecimiento, tiene una capacidad de 74,400 m³/día de acuerdo con el proveedor del servicio Aguas de los Andes. De acuerdo con una detallada investigación realizada por el consultor local, el suministro de agua real en el 2010 fue de 72.434 m³/día. Considerando una población de 265.249 en el 2010, corresponde un suministro de 273 litros per cápita diaria. No existe información disponible sobre la variación estacional del uso del agua. Sin embargo, la oferta de Alta Reyes no es suficiente para satisfacer la demanda total. El agua sólo se suministra durante un promedio de 10 horas por día, con mayor escasez durante los meses secos del invierno. La mayoría de los clientes de agua utilizan tanques de techo para cubrir los períodos de sequía de corto plazo.

Las otras poblaciones del área del Proyecto, incluyendo Palpalá, El Carmen, y San Antonio, reciben agua del canal de irrigación y de las instalaciones alimentadas por el Río Los Alisos, el Río Perico, y las represas en La Ciénaga y Las Maderas. El consumo total de las poblaciones, incluyendo las pérdidas, se estima en 85,216 m³/día para una población de 154.136 o una demanda per cápita de 553 litros. El consumo mayor en estas poblaciones más pequeñas se puede explicar por un suministro más abundante de agua, más fugas, y un consumo más alto para uso doméstico (debido al riego de predios menores, lo cual es de esperarse en poblados más pequeños y rurales).

Las condiciones de la infraestructura de distribución de agua, y los planes para mejorar y ampliar las instalaciones de agua, facilitan una comprensión más completa de la demanda actual y futura de agua. Una investigación local en San Salvador de Jujuy indica que las tuberías de distribución de agua son viejas, y son frecuentes las roturas de tuberías y las fugas (aproximadamente cinco fugas por kilómetro de línea de distribución por año). De esta manera, el consumo en los hogares de consumidores es muy inferior a las cifras anteriores a causa de las fugas. La reducción de las fugas podría ayudar significativamente alcanzar a satisfacer la demanda de agua potable local. El Plan de Desarrollo de la Provincia de Jujuy del 2008 (SP-PET) incluye un listado de proyectos de desarrollo de agua, incluyendo la expansión y optimización del sistema de distribución de agua de San Salvador de Jujuy (\$ 30 millones [Arg]) y la instalación / rehabilitación de micro y macro medidores de agua (\$ 17 millones [Arg]), y proyectos más pequeños en El Carmen, Perico y San Antonio. En base a numerosos estudios en muchas partes del mundo, el equipo de trabajo estima que estos proyectos podrían reducir las fugas de una estimado actual del 30% del suministro al 10% del suministro de agua.

Las autoridades de planificación locales también han estudiado la construcción de nuevas instalaciones de producción de agua para la ciudad de San Salvador de Jujuy. Un estudio del 2001 sobre la situación del suministro de agua en San Salvador de Jujuy señaló la escasez de agua y recomendó usar las cuencas de los ríos Reyes, Yala, Lozano, o León (Jong 2000). Estas pequeñas cuencas no están muy lejos de San Salvador de Jujuy, se encuentran en una zona boscosa (que proporciona agua de buena calidad), y tienen el terreno necesario para la construcción de una presa de almacenamiento de agua. La sección 4.2 anterior también señala que se trata de pequeñas áreas de alta precipitación. Sin embargo, estas cuencas se encuentran en zonas ecológicamente sensibles, por lo que el nuevo proyecto recomendado para fuente de agua no se prosiguió. El equipo tiene entendido que las autoridades de Jujuy recientemente han reconsiderado un proyecto de este tipo y actualmente están considerando seriamente construir una nueva presa e instalación de tratamiento del agua en la cuenca del río Yala, con una capacidad más o menos igual que la planta de agua en Alto Reyes. Indudablemente un proyecto de este tipo incrementaría el abastecimiento de agua y el consumo en San Salvador de

Jujuy. El proyecto también reduciría el flujo de agua al Río Grande, al desviar flujo de un tributario del Río Grande.

Tabla 6-1. Tasa de crecimiento demográfico, por zona			
Valles	Tasa de crecimiento de la población		
	80-91	91-01	01-10
El Carmen	3.20%	3.10%	1.50%
Dr. M. Belgrano	2.90%	2.60%	1.20%
Palpalá		1.00%	1.00%
San Antonio	-0.70%	3.20%	2.10%
Total	2.90%	2.50%	1.30%

Un elemento necesario para la proyección del abastecimiento urbano de agua es el crecimiento demográfico. Como se indica en la sección 3, el crecimiento de la población ha disminuido en el área del proyecto en las últimas décadas. El **Anexo 1-1** muestra las cifras de crecimiento de población de las últimas décadas para cada uno de los 16 departamentos de la provincia. Las tasas de crecimiento de población de los cuatro departamentos de la región de los Valles, entre ellos el Dr. M. Belgrano, donde se encuentra San Salvador de Jujuy, se muestran en la **Tabla 6-1**. Una cifra del 1,5% de tasa de crecimiento fue seleccionada para efectos del cálculo futuro de la demanda de agua urbana. También se asumió un valor constante del consumo de agua por persona. Como se muestra en la **Figura 6-2** la demanda de agua urbana en San Salvador y otras poblaciones son más o menos iguales, y ambas aumentan considerablemente durante el período de 2010 a 2060.

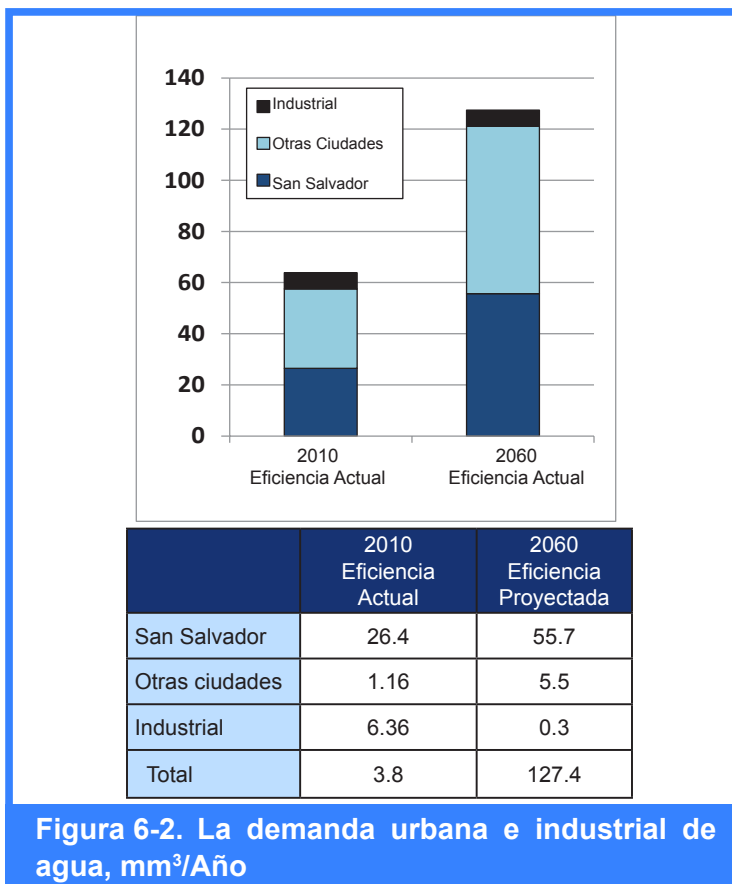


Figura 6-2. La demanda urbana e industrial de agua, mm³/Año

La estimación de la demanda actual y futura también debe tener en cuenta la modesta demanda de agua para usos industriales en el área del proyecto, al sur de San Salvador de Jujuy, cerca de El Carmen. El consultor local encuestó a fuentes locales de información para estimar que esta demanda es de aproximadamente 17.280 m³/día, y es relativamente estable a lo largo del año, alcanzando un total de 6,3 Mm³/año. La **Figura 6-2** muestra la demanda de agua urbana e industrial proyectada para el 2010 y 2060, asumiendo la eficiencia actual. La demanda total se duplica (aproximadamente) durante el período de 50 años.

Tabla 6-2. Área de riego por cultivo y departamento				
Área de Irrigación				
Departamento	Tabaco	Caña de Azúcar	Otras	Total
	Ha	Ha	Ha	Ha
Carmen (10)	12,393	1,646	150	14,189
Palpalá (9)	1,059	183	200	1,442
San Antonio (11)	539	0	65	604
Dr. M. Belgrano (8)	182	0	45	227
San Pedro (12)	66	17,383	25	17,474
Total	14,238	19,212	485	33,935

6.3 DEMANDA DE AGUA DE RIEGO – ACTUAL Y FUTURA

La demanda de agua de riego es uno de los elementos más importantes de este caso de estudio debido a que la demanda es alta y de importancia económica. El equipo trabajó con un consultor argentino y un consultor internacional para obtener un buen estimado de la demanda actual y futura de agua para riego, con una eficiencia actual y mejorada.

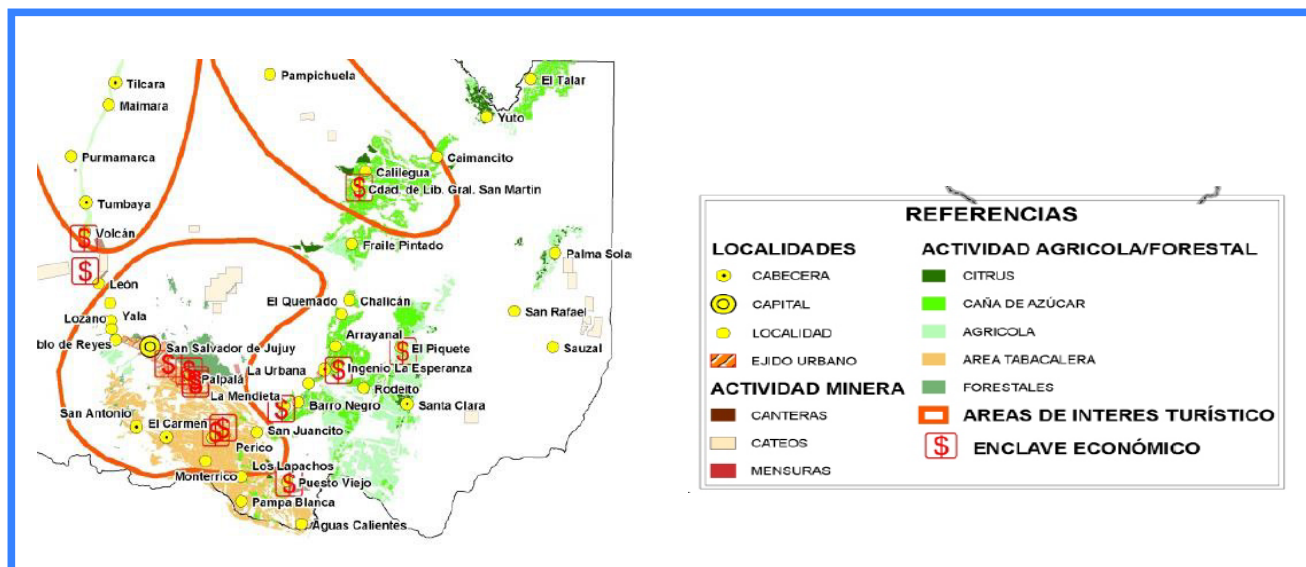


Figure 6-3. Mapa de cultivos de riego

6.3.1 Cultivos Irrigados y Práctica

Como se ilustra en la **Tabla 6-2** y la **Figura 6-3**, hay dos cultivos principales en el área del proyecto -tabaco y caña de azúcar. En base a entrevistas con funcionarios locales, el consultor local tabuló la superficie de cada cultivo bajo riego, por departamento administrativo. (Tabla 6-2); la Figura 6-3 muestra un mapa de los cultivos actuales (SP-PET). El riego en la sub-cuenca del Río Grande es en su mayoría para tabaco y la agricultura a pequeña escala, mientras que la demanda de agua en la cuenca de San Francisco es en su mayoría para caña de azúcar.

En base a entrevistas con funcionarios locales, el consultor local esbozó algunos problemas con la práctica actual de riego que tienen impacto en la demanda de agua:

- No todas las tierras de regadío están controladas o reguladas.
- Los registros de propiedad de la tierra son viejos y sin vigencia.
- En los casos regulados, se cobra sobre la base de la superficie de la tierra, no de cultivos, suelos, ubicación o consumo de agua, lo cual no incentiva el uso eficiente.
- En general, los pequeños agricultores utilizan la aplicación de surco por gravedad, y la eficiencia es baja. Hay unos pocos casos de mejoramiento del riego por surcos. Algunos de los productores de caña de azúcar más grandes han empezado a utilizar sistemas presurizados.
- Los principales canales de riego tienen una longitud total de unos 700 km, y unos 120 kilómetros están siendo considerados para rehabilitación.
- La baja eficiencia es considerado uno de los principales problemas del desarrollo agrícola en Jujuy. La eficiencia del riego en general, incluyendo la eficiencia de conducción y la eficiencia de la aplicación, se estima en alrededor del 37%, lo cual es bajo para los estándares internacionales.
- Recientemente han habido unas pruebas pilotos para introducir la irrigación por goteo para la agricultura de pequeña escala, pero éstas han alcanzado solo 1.200 ha.

6.3.2 Requerimientos de Agua para Cultivos

El equipo preparó estimados de los requerimientos de agua para cultivos sobre la base de una variedad de información de varias fuentes/herramientas:

- Datos y estudios sobre el clima, la agricultura y el riego en el noroeste de Argentina por el INTA
- Entrevistas con los proveedores de equipos de riego que trabajan en el noroeste de Argentina
- Entrevistas con la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH)
- Investigación de la literatura sobre las necesidades de riego de la caña de azúcar y tabaco en diversos lugares

Algunos parámetros estaban bien definidos, como las áreas de tierras de cultivos y parámetros climáticos básicos, pero otros parámetros son difíciles de estimar debido a la falta de datos o la inconsistencia de los datos de diferentes fuentes, incluyendo la evapotranspiración de referencia (ET_r) y el coeficiente de cultivo. Los estimados que siguen consisten en nuestros mejores estimados en este momento, sobre la base de los datos disponibles. El nivel de precisión de las estimaciones actuales es de aproximadamente 20%. El equipo de trabajo está convencido que hay necesidad de hacer más investigación sobre los requerimientos de agua para los cultivos.

Los detalles de los cálculos de los requisitos de riego de los cultivos en el Río Grande y el Río San Francisco se muestran en el **Anexo 6-3**. Los principales supuestos / inputs incluyen lo siguiente:

- Los datos climáticos actuales para toda el área agrícola, con base en los datos del aeropuerto de Jujuy en El Perico - que tiene un buen registro histórico de largo plazo y está cerca de las principales áreas de riego.
- Los datos de clima futuro, extrapolados con factores de escala del cambio climático para la proyección climática del ensamble de modelos de CIMA, se utilizaron para calcular la temperatura y la precipitación futuras, para calcular las ET_r futuras y las necesidades futuras de agua.
- El software CROPWAT 8.0, principalmente para estimar la ET_r y las metodologías estándar de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) para estimar los requerimientos de agua usando la precipitación efectiva.
- El uso de la **mediana** de precipitación en un periodo largo (1974-2011) en El Perico como base para el cálculo de la precipitación efectiva. El razonamiento para el uso de la mediana es el siguiente. Históricamente, en la estación seca, la distribución interanual de lluvia está sesgada con muchos años de poca lluvia y algunos años de muchas lluvias. La distribución resulta en una media muy superior a la mediana, la cual es la cantidad de lluvias más típica. El uso de la mediana será mejor para simular la situación típica del agua para cultivos.
- La eficiencia asumida de aplicación de riego actual general es de 37% (basado en entrevistas con funcionarios locales). La eficiencia de aplicación es la proporción de agua que se aplica a un campo y que realmente se hace disponible a las raíces de las plantas. No se incluyen las pérdidas por almacenamiento y transporte de agua.
- Ningún cambio real en el tipo de cultivos o el crecimiento en el área de riego durante el período 2010 a 2060. (Reconocemos que el cambio es posible, pero se redujo el análisis de este modo para examinar el impacto del cambio climático y las posibles opciones de adaptación.)

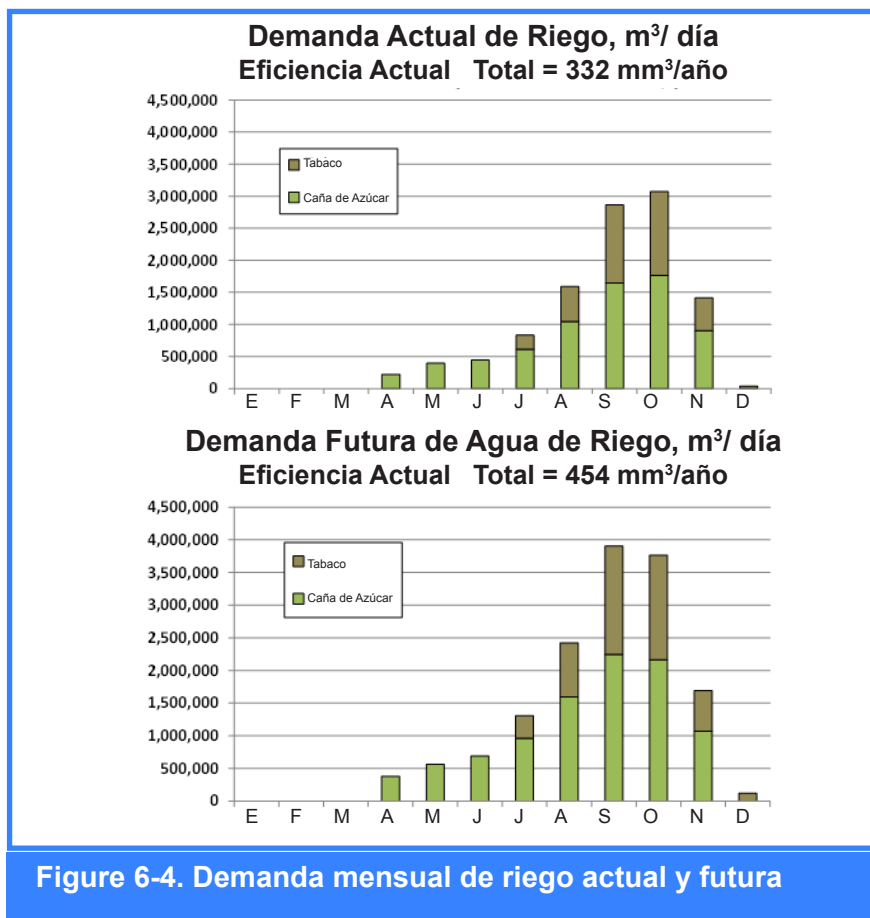


Figure 6-4. Demanda mensual de riego actual y futura

La **Figura 6-4** muestra la demanda actual y futura estimada mensual de agua de riego (en la fuente de agua) para la caña de azúcar y el tabaco. Hay un pico en la demanda en la estación seca que está obviamente relacionado con la temperatura mensual y las tendencias de la precipitación. Para ser más precisos, el repunte en la demanda de riego (septiembre - octubre) se produce al final, o justo después, de la estación seca. La caña de azúcar requiere de agua durante los meses de la estación seca, pero la demanda de riego del tabaco comienza más tarde. Cabe añadir que este perfil tiene un fuerte pico, debido a la limitada cantidad en la capacidad de almacenamiento, especialmente en el Río Grande.

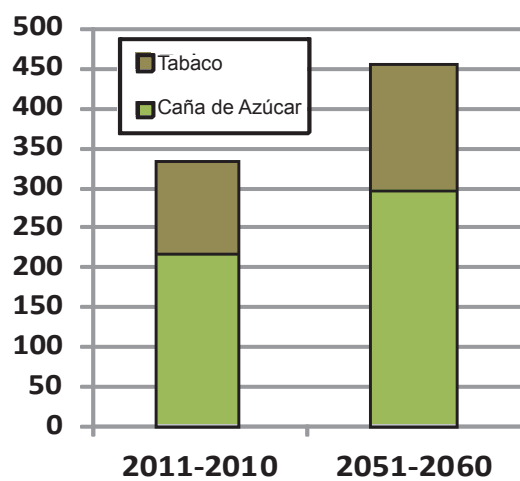
Los cálculos de las necesidades totales de agua son de aproximadamente 332 Mm³/año, que es muy cercana a la estimación preliminar de 340 Mm³/año desarrollado por el consultor local y agencias de recursos hídricos locales en Jujuy.

El requerimiento de agua de riego anual en 332 M m³/año es 5,2 veces la demanda urbana e industrial de agua de 63,8 Mm³/año, asumiendo la eficiencias actuales para ambas demandas. En el pico actual en octubre, la necesidad de agua de riego es de aproximadamente 3 Mm³/día, que es cerca de 17 veces la demanda urbana e industrial de agua de aproximadamente 175.000 m³/día.

La **Tabla 6-3** muestra la demanda total de agua de riego anual actual y futura, asumiendo una eficiencia de riego constante. Debido a los aumentos en la temperatura y una pequeña disminución de las lluvias, el requerimiento de riego se ha incrementado enormemente, de 332 Mm³/año a 454 Mm³/año.

Tabla 6-3. Demanda de riego actual y futura

Requerimiento anual de agua, mm ³ /año	2010 Eficiencia Actual	2060 Eficiencia proyectada
Caña de azúcar	215	96
Tabaco	117	158
Total	332	454



7. PARAMETRIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE RECURSOS HÍDRICOS

7.1 CONFIGURACIÓN (SET UP) DEL MODELO

El modelo Hydro-BID fue configurado para el Río Grande y la parte superior del Río San Francisco, que incluye 249 cuencas AHD y un área total de cuenca de 22.070 km². La cuenca es seleccionada para la calibración por las siguientes razones:

- Se dispone de datos recientes de caudales.
- El caudal se mide semanalmente; los datos podrían ser convertidos en promedios mensuales para la calibración.
- La influencia humana en la cuenca, como se observa en el hidrograma, es relativamente pequeña a nivel de cuencas de captación; por lo tanto, la calibración se puede hacer para un balance general de agua.
- La calibración no pudo realizarse solamente para el Río Grande debido a la falta de registros de flujos, confiables y recientes (como se explica en la Sección 4).

7.1.1 Datos de entrada (Input)

Tal como se ha expuesto en secciones anteriores, los datos de observación en sitios a lo largo de la cuenca son limitados y también cubren períodos anteriores a la década de 1980. Por lo tanto, hemos utilizado los datos de precipitación de la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)-Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)* (Kummerow et al 1998) para mantener consistencia. La cuenca AHD fue sobrepuesta sobre las cuadrículas del mapa de precipitación diaria a fin de obtener la precipitación promedio de la cuenca. Los datos diarios de precipitación indexada a nivel de cuenca se almacenan en la base de datos SQL (ver NT 2).

Para la temperatura, se utilizó la temperatura de reanálisis cubriendo la cuenca del Río San Francisco (Kalnay et al 1996) del Centro Nacional de Predicción Ambiental de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (NOAA NCEP). Se utilizaron los valores mínimo y máximo de temperatura diaria para calcular el mapa de la temperatura media diaria. La cuenca AHD fue sobrepuesta sobre la cuadrícula del mapa de la temperatura diaria para obtener los datos de temperatura promedio de la cuenca. Los datos diarios de temperatura indexada al nivel de cuenca se almacenan en la base de datos SQL (ver explicación en NT2). Los tipos de datos que se utilizan para la parametrización se encuentran en la lista de la **Tabla 7-1**.

Tipo de Datos	Resolución	Periodo Disponible	Fuente
Precipitación	Diaria, 25 km cuadrícula	2000–2011	TRMM–NASA
Temperatura	Diaria, 200 km cuadrícula	2000–2011	NOAA/NCEP
Cobertura terrestre	1 km cuadrícula	1992	USGS
Suelos	Polígonos	-	FAO

También utilizamos datos de uso de tierras con resolución de 1 (USGS)¹ y datos de suelos de la FAO para la parametrización de los números de curvas descritos en la NT2.

Para cada cuenca de captación AHD de la cuenca del Rio Grande, primero generamos la proporción de área de captación por tipo de cobertura terrestre. En segundo lugar, se determinó el grupo de suelo hidrológico dominante dentro de cada porción de la cuenca AHD. En tercer lugar, se determinó el número de curva para cada porción de la cuenca AHD, basado en el tipo de cobertura terrestre y el grupo hidrológico de suelo, utilizando la Tabla de Consulta del número de curva que se encuentra en el informe adjunto - NT2. Un ejemplo de este proceso para una sola cuenca de captación AHD se muestra en la **Tabla 7-2**. La cuenca tiene ocho tipos de cobertura terrestre con diferentes proporciones y con los grupos hidrológicos de suelos asociados (A y B). Para cada tipo de cobertura terrestre y su grupo de suelos, se proporciona el número de curva.

Tabla 7-2. Ejemplo de parametrización del número de curva para cuenca de captación AHD

NLCD ID Cobertura Terrestre	Tipo de Cobertura Terrestre	Área (km ²)	Porcentaje Área	Grupo Hidrológico	Numero de Curva
2	Tierras agrícolas secas y pastizales	92.67	43.79	B	75
5	Agricultura/Mosaico de Pastizales	0.90	0.43	B	64
6	Agricultura /Mosaicos de bosques claros	46.68	22.06	B	64
7	Pastizales	5.86	2.77	B	70
8	Bosque de Arbustos	39.35	18.59	B	57
10	Sabana	0.04	0.02	A	49
11	Bosque Deciduo	25.12	11.87	B	60
13	Bosque Siempreverde	1.00	0.47	B	60
Total Área		211.60			

Nlcd: National Land Cover Database Identification (Nlcdid)

7.2 CALIBRACIÓN DEL MODELO

Se hace la calibración de tres parámetros: multiplicador del número de curva, coeficiente de escorrentía, y los parámetros de infiltración (**Tabla 7-3**), con el fin de obtener un error razonable general de menos del 15%. La **Figura 7-1** muestra los resultados del modelo en forma de comparación de los flujos mensuales observados y simulados para el período de calibración. En general, el modelo simula bien el balance hídrico pero sobrestima los flujos altos del verano. La diferencia en el caudal total durante el decenio 2001-2010 fue de 14%. La correlación general entre la observada y la simulada fue de 85%.

¹ El uso de tierras y datos de la cobertura (globales) para América del Sur están disponibles en <http://landcover.usgs.gov/landcoverdata.php#sa>

Mediante el estudio de las estaciones del año, podemos ver que el hidrograma de recesión y los flujos bajos están bien simulados. Los períodos de bajo flujo son los más importantes para el modelaje de períodos de escasa agua. Cabe señalar que estos resultados (y los parámetros de calibración actuales) son suficientes para estudiar la importancia relativa de los impactos del cambio climático en el manejo de los recursos hídricos. Sin embargo, para mejorar el modelaje de la parte interior de la cuenca del Río Grande / San Francisco se requieren de mejores registros de caudales para las cuencas de menor tamaño y la recalibración del modelo. Los parámetros de calibración desarrollados aquí serán un buen punto de partida para un modelaje más refinado del interior de la cuenca del Río Grande / San Francisco.

Tabla 7-3. Parámetros calibrados

Parámetro del Modelo	Descripción	Valor del Parámetro
Velocidad de la Corriente	Velocidad promedio estimada de la corriente, m/s	*0.5
Numero de Curva	Multiplicador del número de curva inicial estimado	1.10
Contenido de Agua Disponible	Contenido de agua disponible: Este parámetro puede ser un solo valor aplicado a todas las cuencas o un multiplicador de los valores de las cuencas. (Los valores de las cuencas si están disponibles).	0.9
Coeficiente de recesión	Coeficiente de Recesión: Este parámetro puede ser un solo valor aplicado a todas las cuencas o un multiplicador de los valores de las cuencas. (Los valores de las cuencas no están disponibles).	0.01
Permeabilidad	Coeficiente de permeabilidad para determinar la percolación profunda desde la capa saturada. Este parámetro puede ser un solo valor aplicado a todas las cuencas o un multiplicador de los valores de las cuencas. (Los valores de las cuencas no están disponibles).	0.015
Porcentaje de la cobertura impermeable	Porcentaje estimado de la porción impermeable de la cuenca en %. Este parámetro puede ser un solo valor aplicado a todas las cuencas o un multiplicador de los valores de las cuencas. (Los valores de las cuencas no están disponibles).	*2%

Valores por defecto (los numeros en *itálicas y remarcados* son valores calibrados) Valores por defecto (los numeros en *itálicas y remarcados* son valores calibrados)

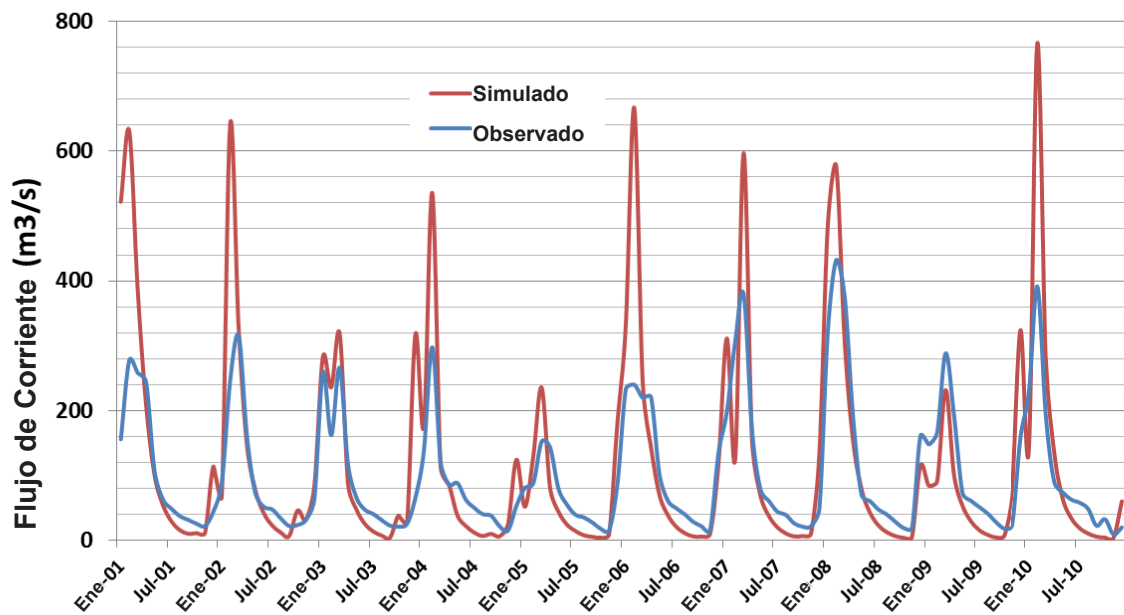


Figura 7-1. Flujos observados y simulados, Río San Francisco en Caimancito

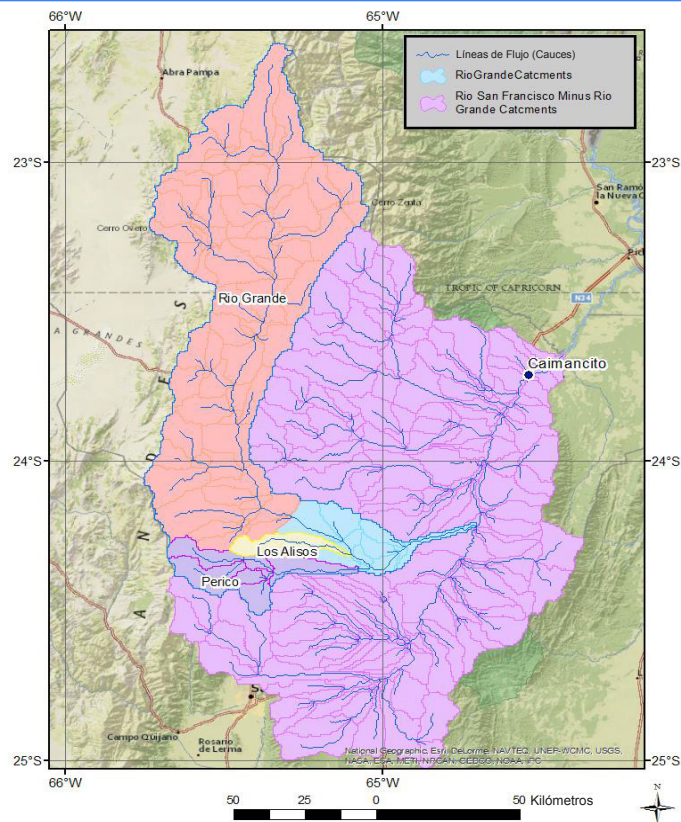


Figura 7-2. Subcuencas usadas para la simulación del flujo

7.3 RESULTADOS DEL MODELO

Flujo Simulado en las Subcuencas en el Caso de Estudio

Dada la complejidad geográfica de las subcuencas de los ríos y los diferentes usos del agua en este caso de estudio, necesitamos simular los flujos en las salidas/outlet de las tres subcuencas, que se muestran en la **Figura 7-2**:

1. Río Grande aguas arriba de la represa Los Molinos (69 cuencas AHD)
2. Río Los Alisos (1 cuenca)
3. Río Perico (7 cuencas)

Los flujos mensuales simulados en estos lugares se compararon con el flujo observado en años anteriores, mostrando tendencias similares en los flujos estacionales, como se ilustra en la **Figura 7-3**. Dada que hay una moderada variabilidad del flujo interanual en esta cuenca (como se explica en la Sección 4.3) se espera alguna diferencia en los caudales medios mensuales para diferentes períodos. A pesar de los diferentes periodos, los flujos simulados y los observados se corresponden bien en los meses secos del invierno. Se requiere de precisión en los resultados del modelo para la estación seca de invierno con el fin de analizar los periodos de escasez de agua, mientras que las diferencias en los meses húmedos del verano son mucho menos relevantes.

Sin embargo, proponemos que en el futuro recopilando datos completos por uno o dos años, se puedan obtener mejores parámetros regionales para los análisis futuros y detallados del recurso hídrico a nivel de subcuenca.

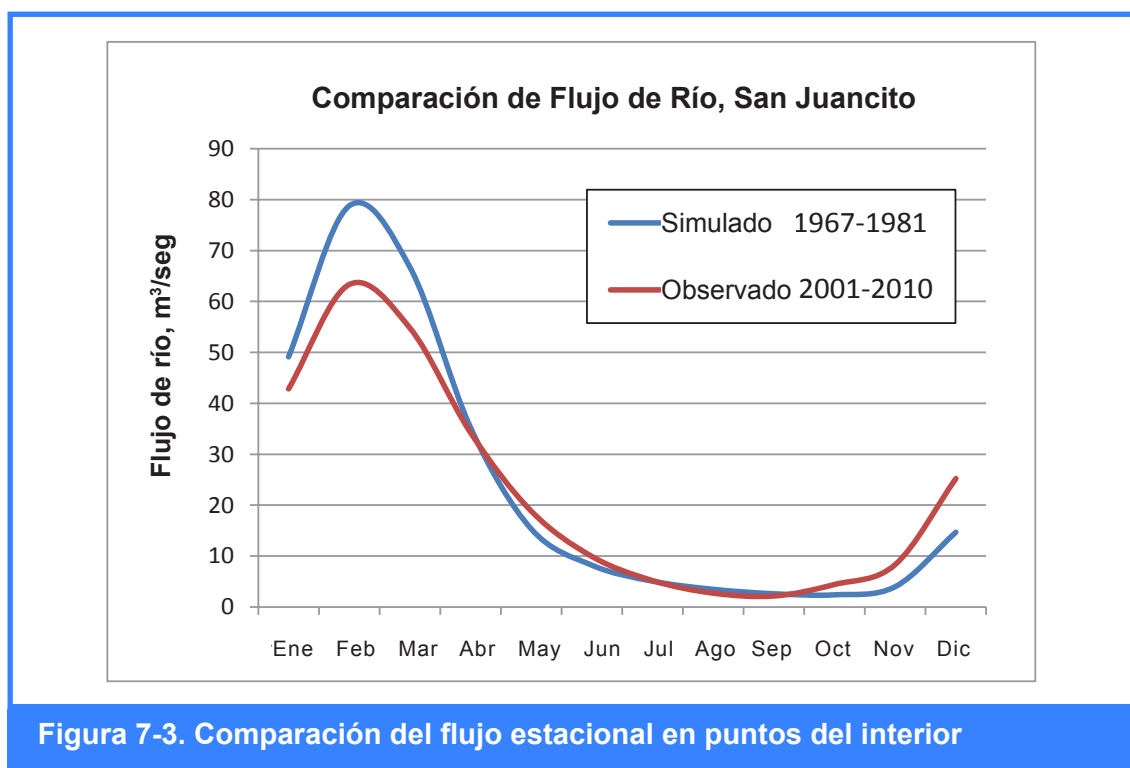


Figura 7-3. Comparación del flujo estacional en puntos del interior

De cualquier manera, ahora (en el presente) tenemos un modelo de caudales diarios, que describe cuánta agua está fluyendo, dónde y cuándo. Esto puede ayudar de inmediato en asuntos de manejo y asignación de recursos para recursos hídricos. También puede ayudar en otros asuntos relacionados a los recursos hídricos, como la selección de sitios para nuevas estaciones de flujo.

7.3.2 Año de Referencia y Simulaciones de Cambio Climático

El período 2000-2010 se considera como una década de referencia. Los cálculos para las décadas futuras se basan en la temperatura y la precipitación futura de varias proyecciones del clima, que se analizan en la Sección 5. Esto se logra moviendo la escala hacia arriba / abajo a través de múltiplos de la temperatura mensual y las bases de datos de precipitación mensual derivadas de resultados del Climate Wizard, y de las bases de datos (en cuadrículas) de temperatura y de precipitación provenientes de los modelos climáticos realizados por CIMA. Todos los resultados de los modelos climáticos se usan para alimentar al modelo de Hydro-BID y así calcular nuevos valores de caudales para el Río Grande y el Río San Francisco.

7.3.3 Caudales Fluviales Mensuales Futuros

Los flujos diarios simulados se promediaron para crear una serie de tiempo mensual para el período 2011-2060. Se generaron cuatro series de flujos mensuales para los ríos Grande, Perico y Los Alisos:

1. Referencia (el flujo del 2001–2010)
2. UKMO Hadley HadCM3.1
3. CSIRO MK
4. Ensamble de modelos de CIMA

La **Figura 7-4** muestra el flujo medio anual simulado para el Río Grande en Los Molinos. Los impactos en los flujos anuales son pequeños.

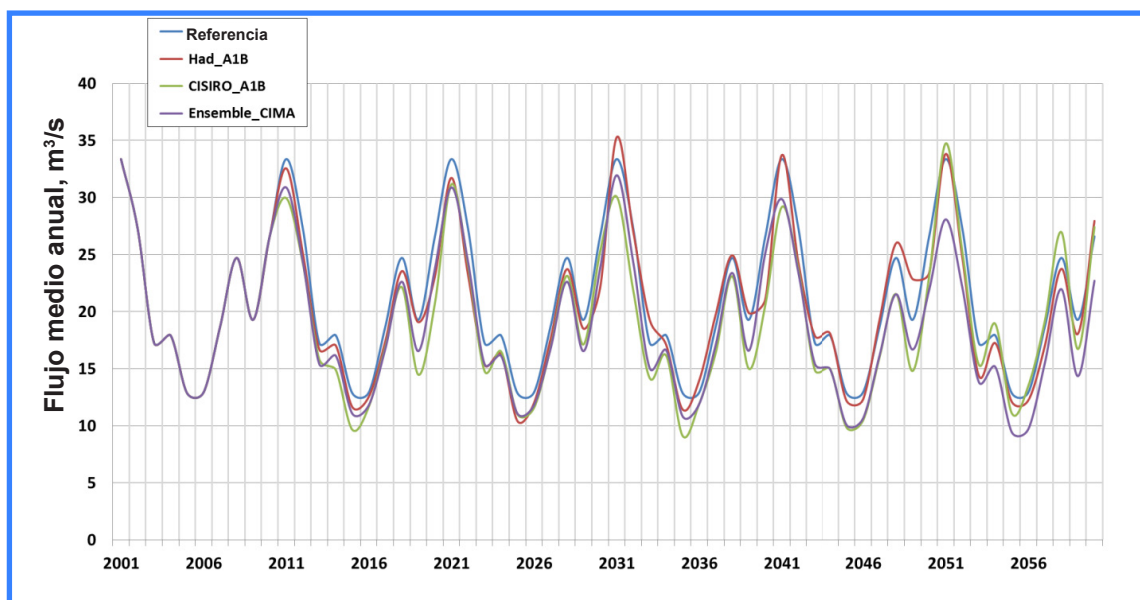


Figura 7-4. Flujo medio anual simulado del Río Grande en los molinos

8. MODELAJE PARA EL MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS

8.1 ANTECEDENTES

En el capítulo anterior, hemos descrito cómo, usando Hydro-BID, generamos una serie de tiempo de caudales bajo el clima actual y bajo proyecciones climáticas futuras. En este capítulo, explicamos el uso de estas series de tiempo para simular la disponibilidad de agua y las demandas insatisfechas. El área del caso de estudio consiste en múltiples tipos de demandas de agua: para las ciudades, el riego y la generación de energía hidroeléctrica (no de consumo). El sistema también incluye presas de derivación y embalses. Para los análisis de disponibilidad de agua y de la demanda insatisfecha, realizamos análisis de balances hídricos mensuales en los nodos de demanda y oferta utilizando el modelo WEAP de uso común. También se puede utilizar cualquier otro esquema de balance hídrico para los análisis de disponibilidad de agua.

La plataforma del software WEAP fue basada en el reconocimiento de la necesidad crítica de las herramientas de planificación y gestión de los recursos hídricos de integrar la compleja gama de factores hidrológicos, como la calidad del agua, con los aspectos económicos, y sociales que controlan la disponibilidad de agua y que influyen en las prioridades establecidas para su uso, y que los administradores de los recursos hídricos están cada vez más obligados a hacer (Biswas, 1981; Bouwer, 2000; Zalewski, 2002, Westphal et al 2003). La plataforma de modelaje WEAP permite la integración de la demanda pertinente y la información de la oferta, con capacidades de simulación hidrológica para facilitar el análisis de una serie de asuntos e incertidumbres definidas por el usuario, incluyendo las relacionadas con el clima, las condiciones de las cuencas hidrográficas, la demanda anticipada, las necesidades de los ecosistemas, cambios en los usos de suelos, tendencias regulatorias, los objetivos operacionales y la infraestructura. La flexibilidad de la plataforma del modelo, permite al usuario definir una amplia gama de sistemas, sectores y escalas para representar, desde cuencas únicas hasta cuencas hidrográficas enteras.² La oferta, demanda y la determinación de las prioridades de asignación de recursos se implementan a través de tablas de entrada de información y funciones “amigables para el usuario”, lo cual permite una transparencia en el proceso. Las interfaces gráficas que permiten la comparación de escenarios facilitan los diálogos entre diversas partes interesadas tanto de formación técnica como no-técnica.

8.2 EL MODELO WEAP DE LA PARTE INFERIOR DEL RÍO GRANDE Y USOS DEL AGUA

Para analizar la habilidad de caudales futuros de satisfacer múltiples demandas en diferentes localidades con diferentes variaciones estacionales, construimos un modelo WEAP para simular un “sistema” de abastecimiento completo de agua y su uso. La simulación fue realizada usando el flujo mensual del periodo 2011-2060. La representación esquemática de WEAP se muestra en la **Figura 8-1**.

8.2.1 Ríos

Las fuentes de abastecimientos de agua son de tres ríos modelados usando Hydro-BID:

1. El Río Grande en la derivación de Los Molinos
2. El Río Los Alisos en la presa de Los Alisos

² Sin embargo, el modelo WEAP está basado en balances hídricos y los resultados no se han validado con observaciones de campo.

3. El Río Perico en la presa El Típal

8.2.2 Presas de Derivación

Las presas de derivación son presas que no almacenan agua, pero permiten el desvío de agua de un canal principal a un sitio de demanda o hacia otra presa de almacenamiento. Se han identificado dos presas de derivación en el sistema: el de Los Molinos en el Río Grande y El Típal en el Río Perico. Estas dos presas de derivación se han designado como embalses con una capacidad de almacenamiento de cero.

La presa de Los Molinos sirve para desviar el agua al sistema de suministro de agua de la ciudad de San Salvador de Jujuy y al embalse de Las Maderas por vía de canales de conducción. El sistema de abastecimiento de agua de la ciudad tiene una prioridad más alta para el desvío. El agua disponible en el desvío se toma por primera vez para el suministro de agua de la ciudad, y el resto del agua se desvía hacia el canal principal de riego y abastecimiento de agua para otras ciudades. El desvío del agua de suministro de la ciudad está limitado a la tasa de consumo mensual en un mes determinado sobre una base de según- sea -necesario. Durante las temporadas de caudales altos, el flujo del río excede la demanda requerida por el sistema de suministro de la ciudad. La cantidad del exceso de flujo se desvía a los embalses del canal principal, que tiene una capacidad de 25 m³/s. Se permite que una cantidad mínima de agua (10 m³/día) sea desviada al Río Grande como flujo ecológico. El monto exacto que es requerido por el flujo ecológico no se ha determinado en este estudio.

La presa El Típal sirve para desviar el flujo del Río Perico al embalse Las Maderas por la vía de un canal de transmisión de 20m³/s que conecta con el canal principal. Nosotros hemos asumido que las tasas de flujo mensual por debajo de 20 m³/s son todas desviadas a Las Maderas. Los flujos de ríos en exceso de la capacidad de este canal se quedan en el río principal. Cabe destacar que la capacidad del canal principal se ha incrementado a 45 m³/s para acomodar el flujo adicional del Río Perico.

8.2.3 Embalses

Los embalses tienen el propósito de almacenar agua durante las temporadas de caudales altos y liberar agua durante la temporada de sequía. En este estudio, consideramos a los embalses de Las Maderas y La Ciénaga como un gran embalse de almacenamiento. Esta simplificación se hizo porque la fuente de los dos embalses proviene del canal principal y también sirven a la demanda de irrigación. Otra razón para tratar los dos embalses como si fueran uno es la carencia de detalles en relación a como el agua se divide en dos embalses desde el canal principal y la ausencia de horarios o programas de operaciones detallados. La suma de la capacidad de almacenamiento es de 321.3 millones m³. De manera conservadora asumimos que un almacenamiento activo de 85% del total está disponible para su uso durante el periodo de simulación. Esto se asume porque estos dos embalses al encontrarse ubicados fuera del curso principal de los ríos, reciben un aporte de sedimentos mucho menor. Sin embargo, es probable que el almacenamiento activo usado en el análisis sea mayor debido a la ubicación de las entradas de agua a la vía de conducción y por la necesidad de usar una parte del agua para la generación hidroeléctrica. Por lo tanto, recomendamos que las necesidades exactas de almacenamiento activo sean obtenidas y verificadas en el futuro para ajustar los datos de capacidad de almacenamiento en forma correspondiente.

El embalse de Los Alisos se ha modelado por separado, con un canal de conducción a ser “anexado” al embalse. La capacidad de almacenamiento para Los Alisos es de 18.6 millones m³ y asumimos un 70% de almacenamiento activo. El embalse Los Alisos está ubicado en el curso principal del río y por lo

tanto es susceptible a una tasa mayor de sedimentación. La capacidad de conducción para el embalse Los Alisos está limitada a 5 m³/s.

8.2.4 Nodos de Demanda de Agua

Las demandas de agua se agrupan en tres nodos:

1. Abastecimiento de agua para la ciudad de San Salvador de Jujuy
2. Abastecimiento de agua para poblaciones (Palpalá, El Carmen, y la demanda industrial)
3. Abastecimiento de agua para agricultura (riego)

Los nodos de demanda extraen agua sobre la base de las tasas mensuales de demanda, ya sea de la presa de derivación o de embalses. El agua suministrada a un nodo de demanda está limitada por la disponibilidad de agua y por la prioridad asignada a dicha demanda.

En este proyecto, la demanda de agua de energía hidroeléctrica no se modela explícitamente debido a la limitada información sobre la operación de los embalses y también porque el sistema de generación de energía hidroeléctrica se considera una demanda de no-consumo de agua (el agua que se utiliza para generar energía hidroeléctrica se devuelve al sistema de riego).

8.2.5 Escenarios

Un escenario de simulación WEAP representa una situación de la disponibilidad de agua bajo una oferta y demandas de agua definidas. Después de configurar el modelo WEAP, se pueden explorar varios escenarios que representan las condiciones actuales y la intervención humana futura y los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. En la siguiente sección presentamos los análisis de disponibilidad de agua en condiciones actuales y varios escenarios.

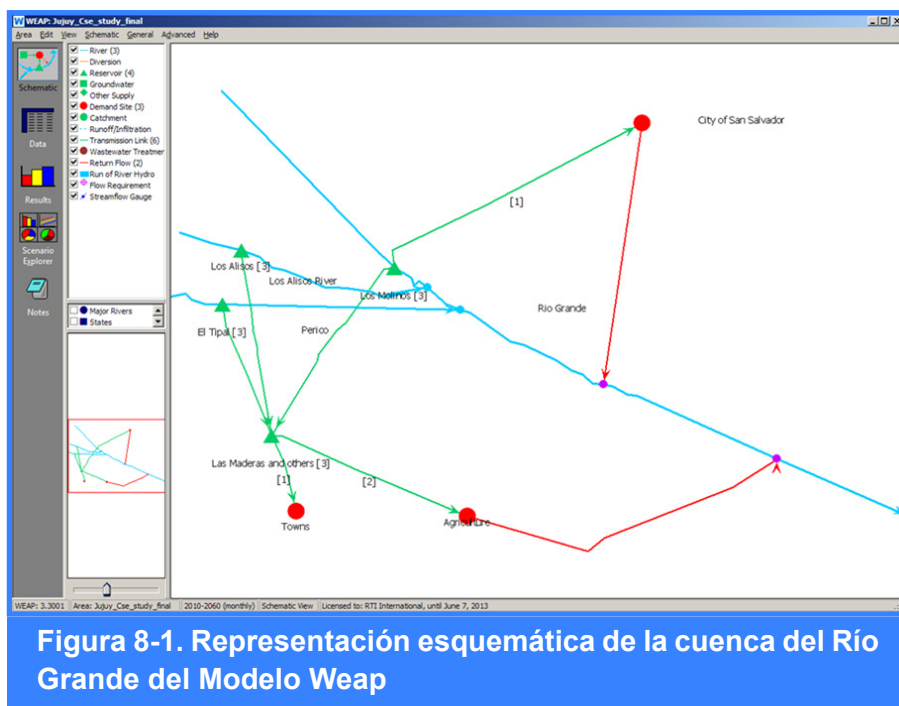
8.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN WEAP

8.3.1 Escenarios usados

El escenario de referencia proporciona una proyección de línea base de referencia de la futura demanda y oferta de agua bajo el supuesto de que no se realicen cambios que mejoren la eficiencia del agua urbana o del riego durante el período 2011-2060. La proyección de línea base de las condiciones futuras se basa en los siguientes supuestos:

1. La población de las ciudades y pueblos crecen a una tasa del 1.5%.
2. La eficiencia del suministro de agua de la ciudad se estima en 70% (pérdidas físicas de agua = 30%).
3. El área de riego se mantiene constante.
4. La eficiencia global de riego es 37%.
5. El patrón de cultivos (porcentaje) sigue siendo el mismo.

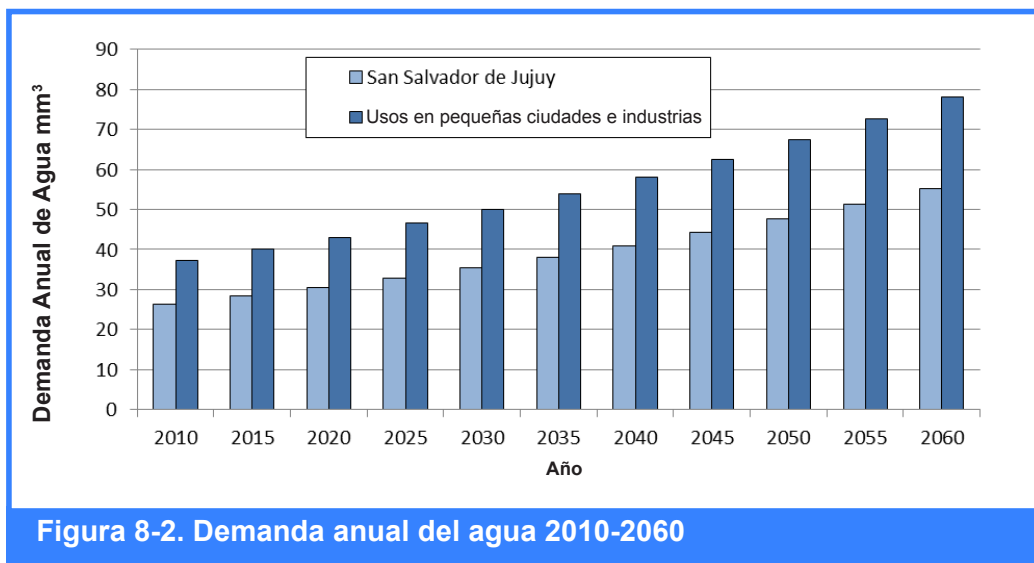
6. La condición climática permanece igual que en 2001-2010.



También corrimos el modelo WEAP para tres proyecciones de cambio Climatico. Los caudales son generados por el modelo Hydro-BID, forzados por resultados (outputs) de cambio climatico. Estas proyecciones son (1) UKMO Hadley, (2) CSIRO, y (3) CIMA como se definen en la Sección 5.

8.3.2 Resultados para San Salvador de Jujuy

La Figura 8-2 muestra que la demanda de suministro de agua en San Salvador de Jujuy se duplica de 26 millones $m^3/año$ en el 2011 a 56 millones $m^3/año$ en el 2060. Además, la demanda de agua en poblaciones vecinas (Palpalá y El Carmen) se incrementan de 37.2 millones de m^3 a 72.6 millones m^3 . La demanda de riego se incrementa en forma lineal desde la situación actual hasta la futura.



El suministro de agua para San Salvador de Jujuy se ve directamente afectado por los flujos mensuales en el Río Grande a causa de la desviación directa o porque no hay almacenamiento.

La **Figura 8-3** muestra, para todos los escenarios, incluyendo el caso de referencia, una demanda insatisfecha anual constante para San Salvador de Jujuy, durante las últimas etapas de la temporada seca, e incluso en el primer mes después de comenzar las lluvias (agosto, septiembre, octubre y noviembre). La **Figura 8-4** muestra una creciente demanda insatisfecha anual para San Salvador de Jujuy por década. Los resultados muestran claramente el aumento de la demanda insatisfecha debido al cambio climático en comparación con el clima de referencia.

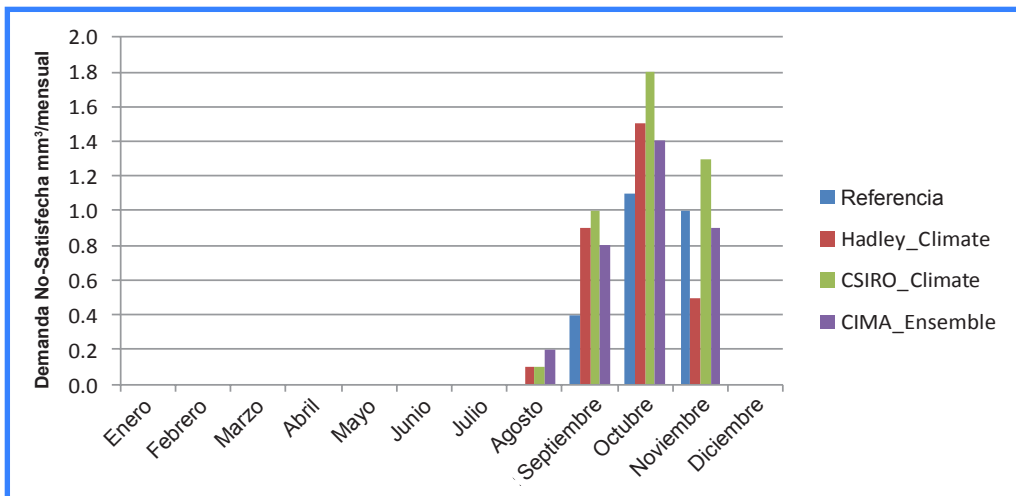


Figura 8-3. Demanda no-satisfecha mensual para San Salvador de Jujuy, 2011-2060

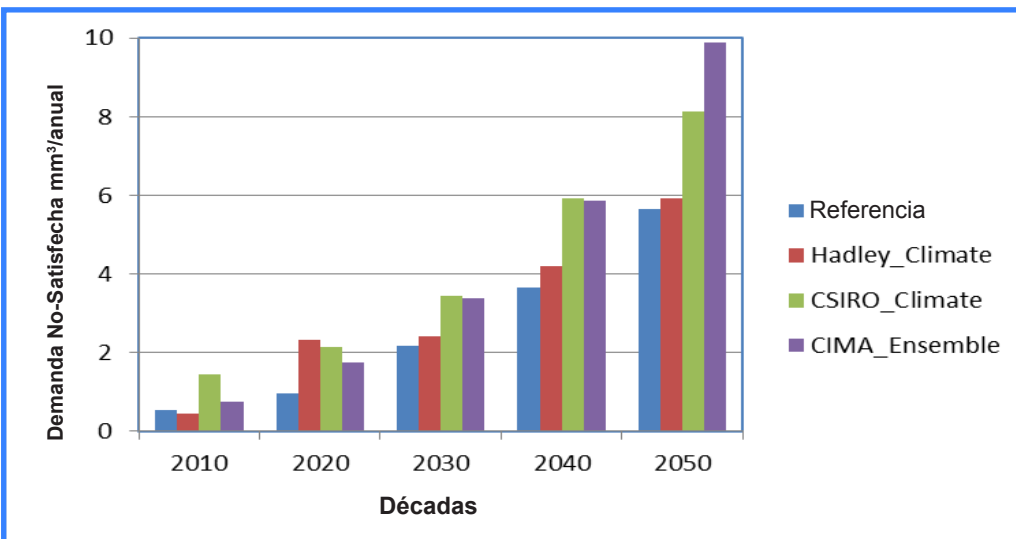


Figura 8-4. Demanda no-satisfecha anual para San Salvador de Jujuy, por década

Por otra parte, la **Figura 8-5** muestra el porcentaje de tiempo en que las demandas mensuales están cubiertas durante los meses de escasez. Para San Salvador de Jujuy, la demanda de agua está cubierta en el caso de referencia en 60%, 31% y 35% para septiembre, octubre y noviembre, respectivamente. Con el cambio climático baja considerablemente a un 30% y un 40% en septiembre, un 8% -25% en octubre, y el 25% -32% en noviembre.

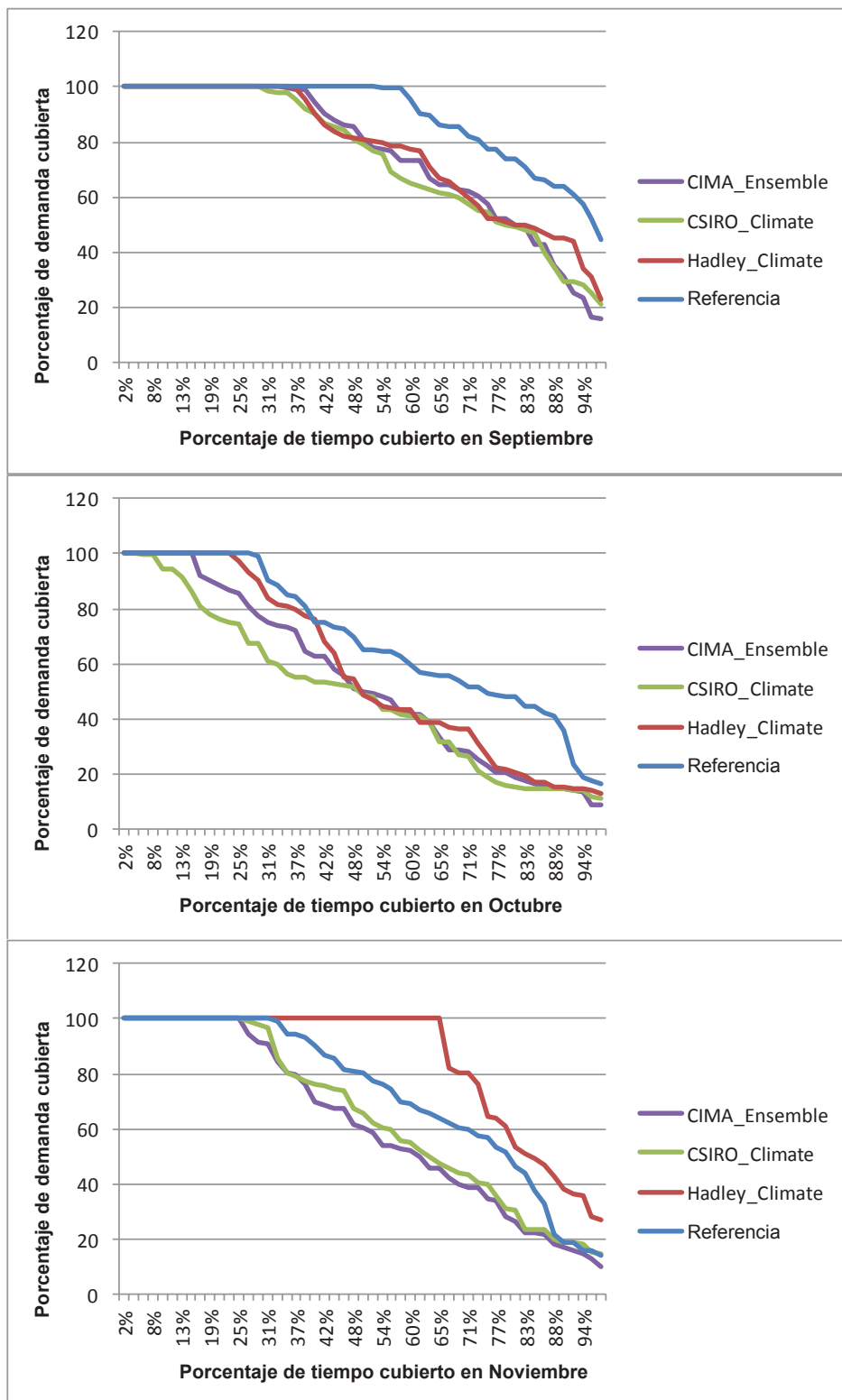


Figura 8-5. Demanda cubierta durante los meses secos para San Salvador de Jujuy

8.3.3 Resultados para las Poblaciones Vecinas

En el modelo WEAP, se supone que las poblaciones vecinas (Palpalá y El Carmen) obtienen agua de los embalses combinados. Debido a esta suposición, las demandas insatisfechas de las poblaciones parecen ser menores en relación con el aumento de la demanda global de agua. La escasez de agua para las poblaciones vecinas se produce de septiembre a noviembre, como se muestra en la **Figura 8-6**. Las demandas insatisfechas anuales bajo diferentes escenarios climáticos son similares, excepto en la década del 2050; los resultados de la proyección del modelo CIMA muestran una mayor demanda insatisfecha en comparación con otras proyecciones del cambio climático (**Figura 8-7**).

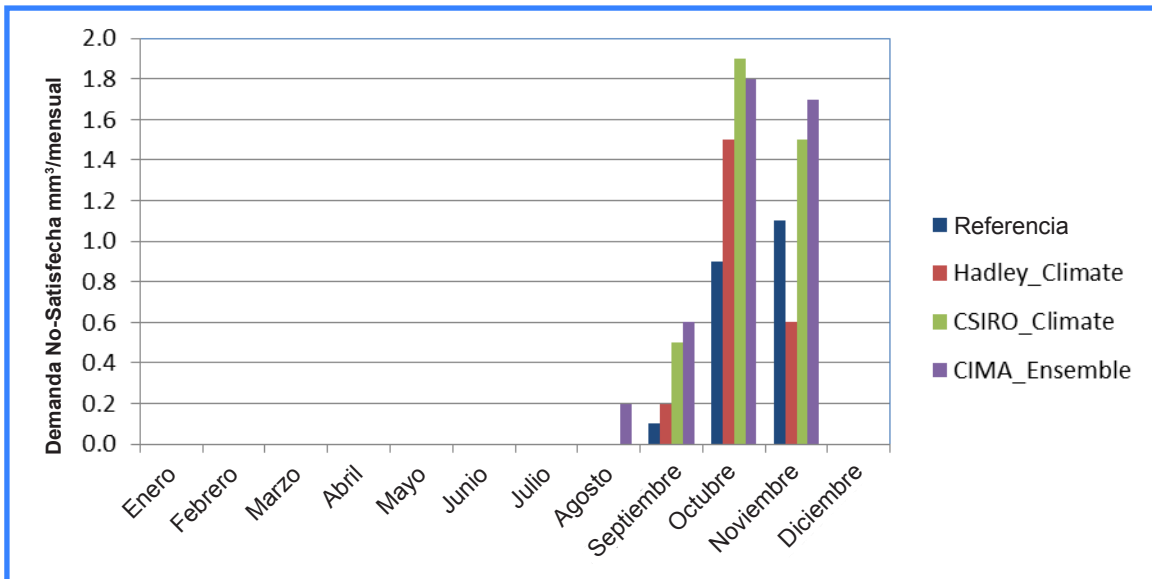


Figura 8-6. Demanda no satisfecha mensual para las poblaciones vecinas, 2011-2060

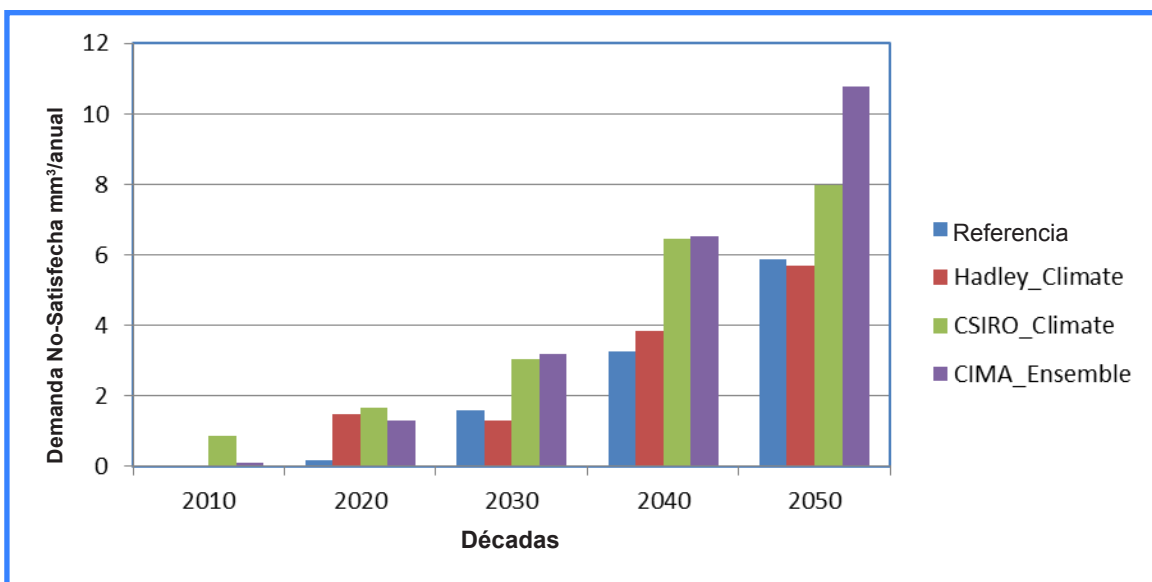


Figura 8-7. Demanda no satisfecha anual para las poblaciones vecinas, por década

8.3.4 Resultados para Riego

Bajo la práctica actual de riego, los resultados del modelo muestran que existe una gran demanda insatisfecha durante los meses de septiembre a noviembre. La escala de las **Figuras 8-8 y 8-9** es mucho mayor que las figuras que representan la demanda insatisfecha para fines urbanos e industriales.

En general, las demandas insatisfechas promedio son similares para diferentes escenarios climáticos (Figura 8.8), debido a que la demanda de riego se guía principalmente por el aumento de la temperatura, la cual no varía mucho entre las distintas predicciones climáticas. La **Figura 8-9** muestra que la demanda insatisfecha anual crece rápidamente - de cuatro a cinco veces - 2010-2050.

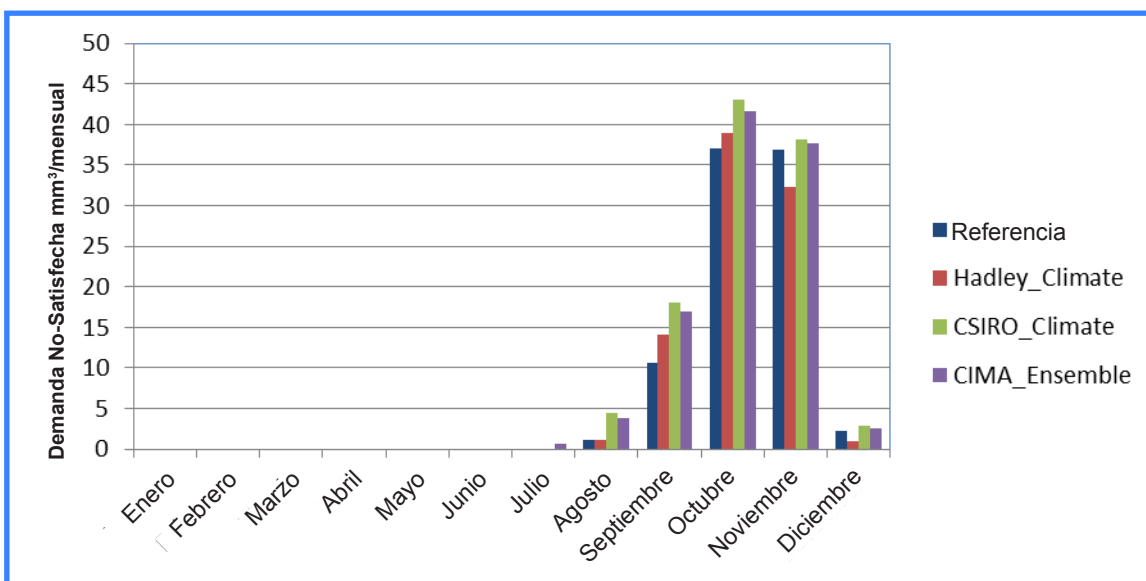


Figura 8-8. Demanda de riego no-satisfecha

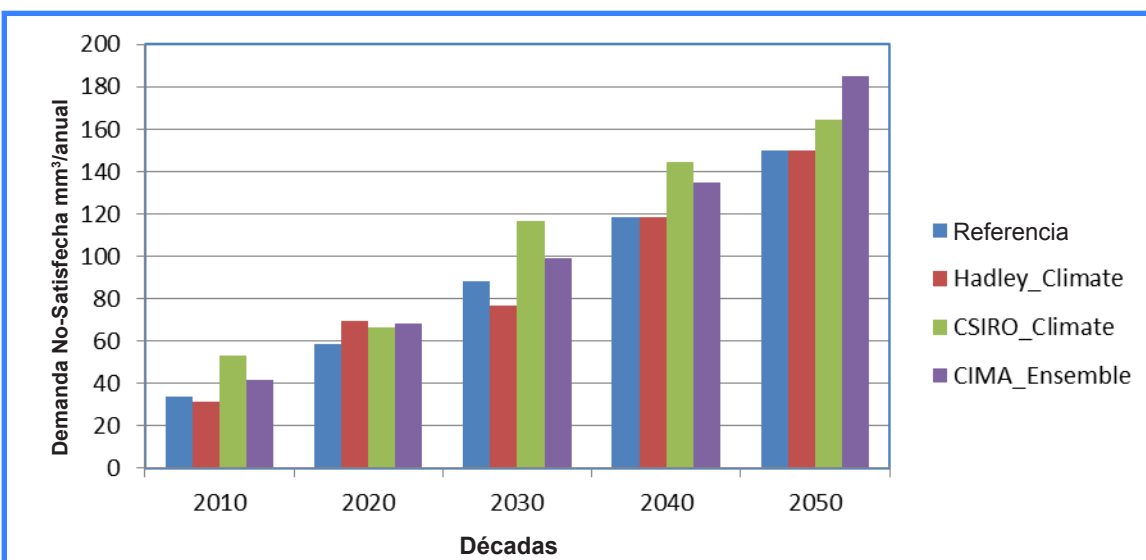


Figura 8-9. Demanda de riego no-satisfecha anual, por década

9. EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES DE ADAPTACIÓN SELECCIONADAS

9.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OPCIONES SELECCIONADAS

En esta sección, se analiza la demanda insatisfecha del 2011-2060, para el escenario de referencia, las 3 proyecciones climáticas seleccionadas y para una variedad de opciones de adaptación. Esta es una extensión de la información presentada en el capítulo 8, que esbozó el uso y los resultados de la aplicación del modelo WEAP. El resultado clave de aquel trabajo es que habrá una importante demanda insatisfecha-del orden de los 200 millones m³/año –si no hay cambios en la eficiencia de uso del agua. En esta sección, se presentan los resultados utilizando el mismo modelo WEAP, pero con tres opciones de adaptación, cada uno en forma de mejoras en la eficiencia en la entrega de agua. Las opciones se resumen brevemente a continuación.

Opción 0—Eficiencia Actual

El modelaje de esta opción se hizo en la Sección 8- ninguna mejora en la eficiencia, fugas en los sistemas de abastecimiento urbanos permanecen en 30 %, la eficiencia en el riego permanece en 37%. La cantidad de tierras de regadío y distribución de cultivos permanece igual, la demanda de agua urbana e industrial crece estrictamente en base al crecimiento demográfico (1.5%).

Opción 1—Mejoras en la Eficiencia de Agua Urbana

Bajo esta opción, se hacen mejoras a la infraestructura de agua, tal como se describe en la Sección 6.2. La tasa de fugas del sistema de distribución de San Salvador de Jujuy y pueblos vecinos, se reduce del 30% al 10% del suministro de agua, ahorrándose una modesta cantidad de agua. Al igual que antes, el consumo de agua por persona es constante, pero se supone una tasa de crecimiento demográfico del 1,5%. Además, el ahorro de agua en los pueblos vecinos se “transfieren” al uso de riego en las inmediaciones, lo que reduce la demanda insatisfecha de riego.

En esta opción, existen interacciones entre aguas urbanas e industriales y agua de riego. Más específicamente, si el ahorro de agua proveniente de la mejora en la eficiencia del uso del agua urbana e industrial produce un “excedente”, este exceso de agua puede servir para disminuir las demandas de riego no satisfechas.

Opción 2—Mejoras en la Eficiencia de Riego

Bajo esta opción, se realizaron mejoras en la eficiencia de aplicación del riego, como se indica en la sección 6.3. Se supone que la eficiencia global de riego aumentará de 37% a 55%, lo cual sería asociado a un aumento de la eficiencia de la aplicación del riego, por un cambio de riego por surcos a riego superficial por goteo, y no a alguna mejora en la eficiencia de conducir/transportar el agua.

Se utilizan interacciones similares entre aguas urbanas e industriales y el agua de riego en el modelado WEAP para esta opción. Si el ahorro de agua de riego mejorado produce una demanda insatisfecha de cero en el riego, entonces, cualquier ahorro de agua restante puede contribuir a la reducción de la demanda no satisfecha en el suministro de agua urbana. Sin embargo, esto sólo es válido para los poblados vecinos y no para San Salvador de Jujuy, ya que San Salvador de Jujuy esta aguas arriba de las tierras de regadío y no tiene un embalse de almacenamiento.

Opción 3—Mejora en la Eficiencia Urbana y Riego

Esta opción conlleva una combinación de las Opciones 1 y 2. Las interacciones entre las dos demandas pueden suceder en cualquier dirección.

9.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA OPCION 1: EFICIENCIA MEJORADA EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA URBANA E INDUSTRIAL

9.2.1 San Salvador de Jujuy

La mejora de la eficiencia del suministro de agua muestra una disminución de la demanda insatisfecha. La **Figura 9-1** muestra que, aunque todavía hay escasez en el suministro de agua durante la estación seca, la demanda insatisfecha promedio se reduce en comparación con la opción 0, que se muestra en la **Figura 8-3**. La misma escala vertical se utiliza en ambos gráficos. En general, la **Figura 9-2** muestra que la demanda insatisfecha anual de San Salvador de Jujuy en la Opción 1 se reduce a la mitad en comparación con la opción 0 (Figura 8-4). La **Figura 9-3** muestra también una mejora en el porcentaje de la demanda satisfecha durante la estación seca.

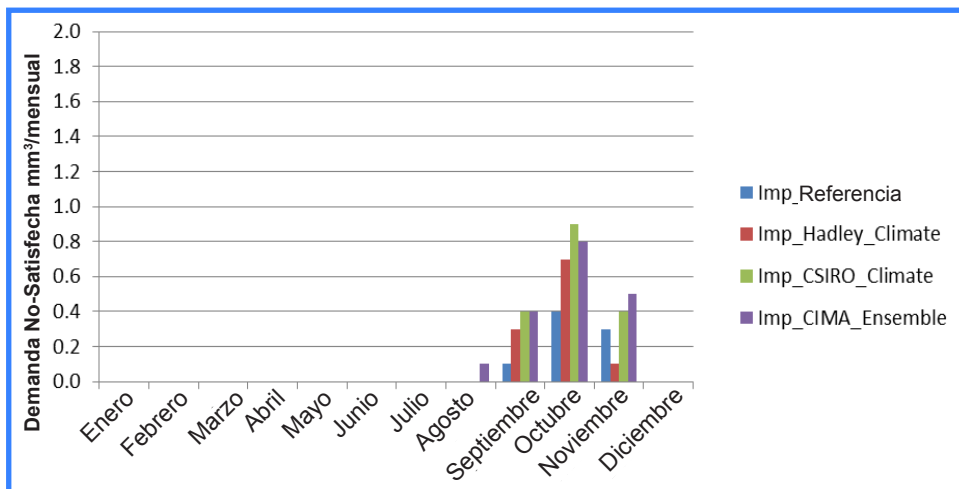


Figura 9-1. Demanda no-satisfecha mensual para San Salvador, eficiencia mejorada

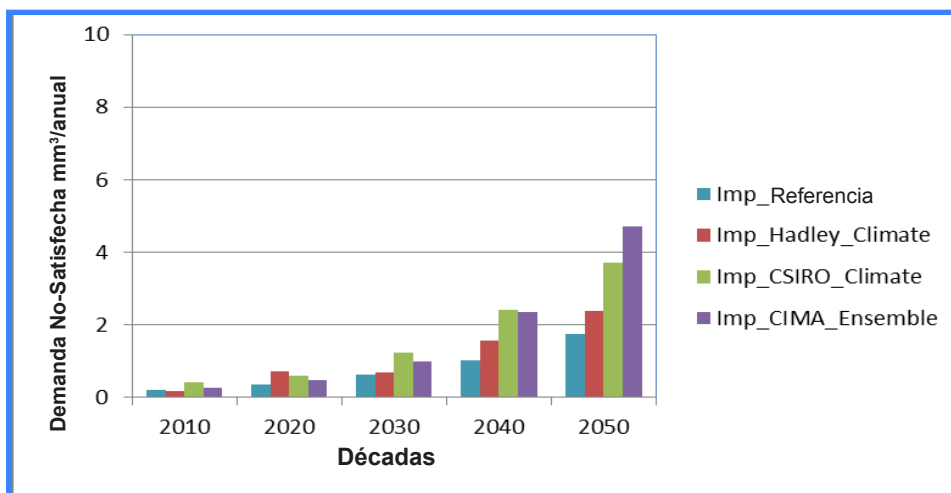


Figura 9-2. Demanda no-satisfecha anual para San Salvador, eficiencia mejorada

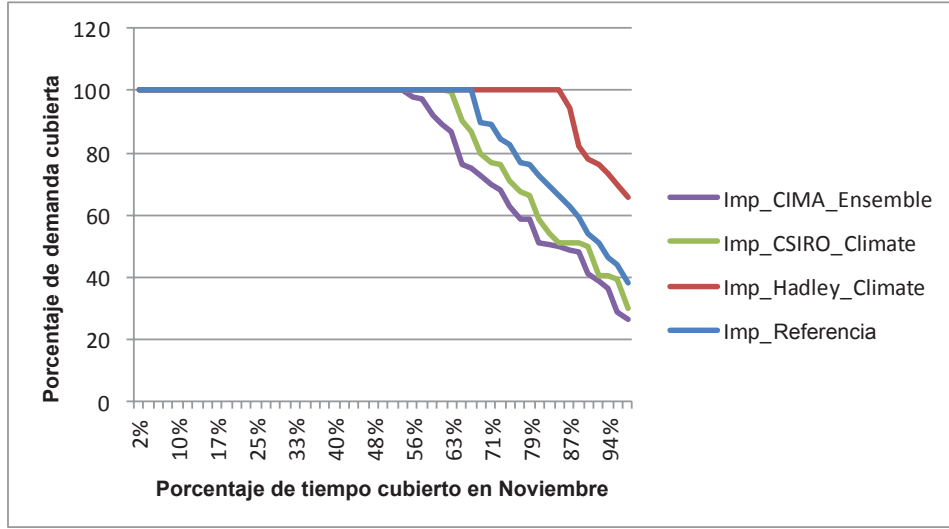
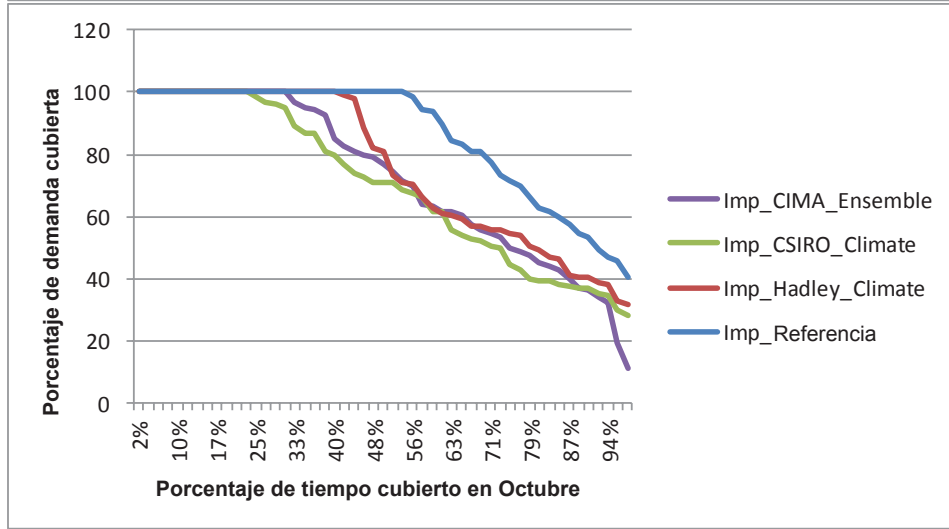
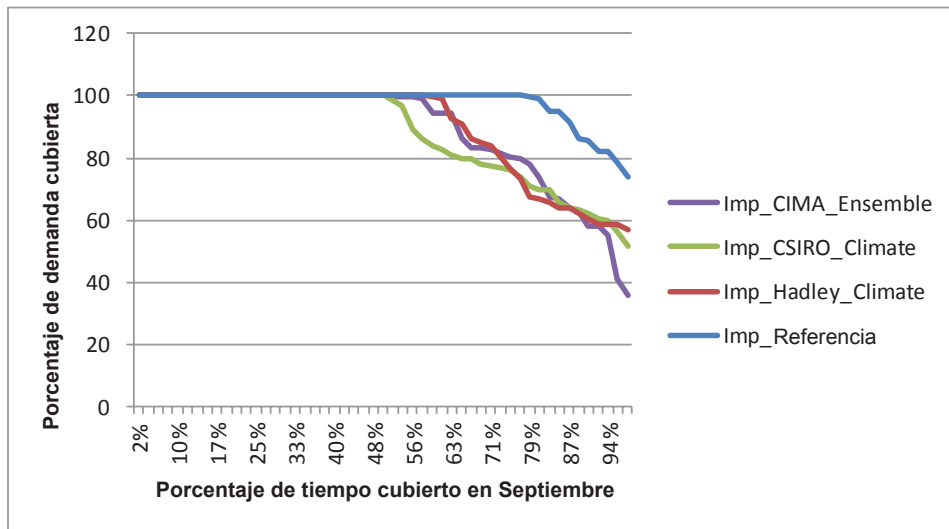


Figura 9-3. Demanda cubierta durante los meses de escases de agua, San Salvador

9.2.2 Poblaciones Vecinas

La mejora de la eficiencia del suministro de agua muestra una disminución de la demanda insatisfecha. La **Figura 9-4** muestra que, aunque todavía hay escasez en el suministro de agua durante la estación seca, la demanda insatisfecha promedio se reduce en comparación con la opción 0 (estado actual). En general, la **Figura 9-5** muestra que la demanda insatisfecha anual para las ciudades bajo la Opción 1 se reduce a la mitad en comparación con la opción en la que no se producen cambios en la eficiencia (**Figura 8-7**).

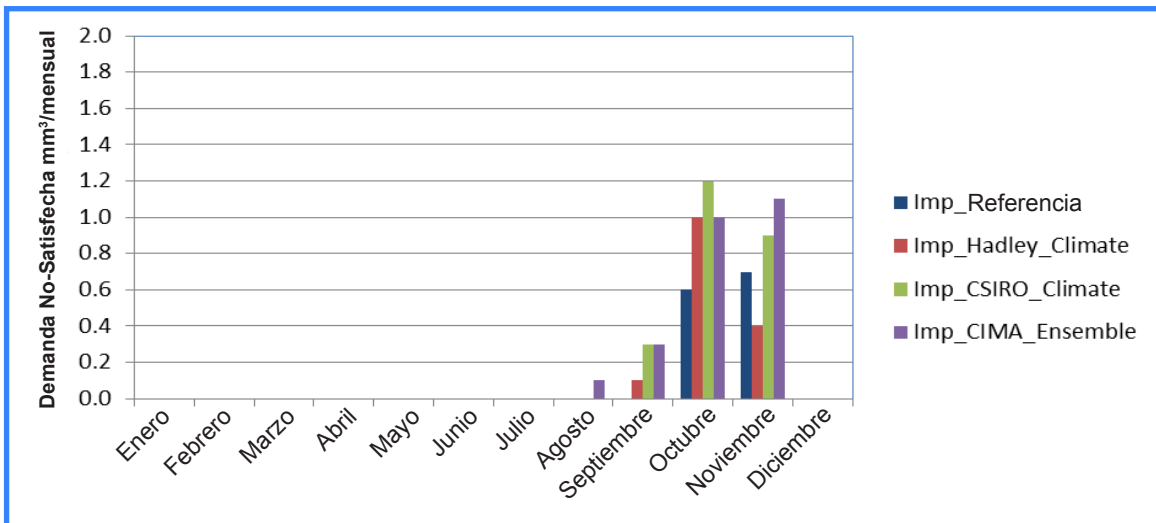


Figura 9-4. Demanda no-satisfecha mensual para poblaciones, infraestructura mejorada

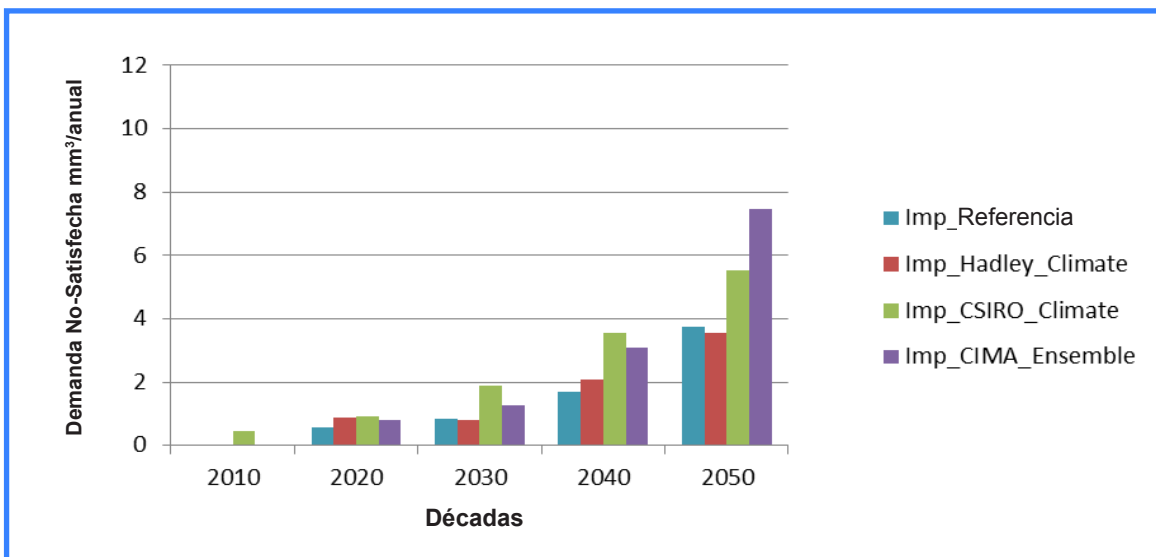


Figura 9-5 Demanda no-satisfecha anual para poblaciones, infraestructura mejorada

9.2.3 Resultados en Riego: Ahorros en Uso Urbano e Industrial usado para Riego

La mejora de la eficiencia de la distribución del agua en San Salvador de Jujuy y las poblaciones vecinas disminuye la demanda insatisfecha y también, potencialmente, ahorra agua para el riego. Las figuras 9-5 y 9-6 muestran que hay pequeñas disminuciones de la demanda insatisfecha promedio mensual para el riego, en comparación a las figuras 8-8 y 8-9. Una vez más se utilizan las mismas escalas en ambos pares de gráficos. En general, la demanda insatisfecha anual para el riego en la Opción 1 (mejora de la eficiencia del suministro de agua) es ligeramente inferior a la demanda insatisfecha en la Opción 0 (sin cambio en la eficiencia).

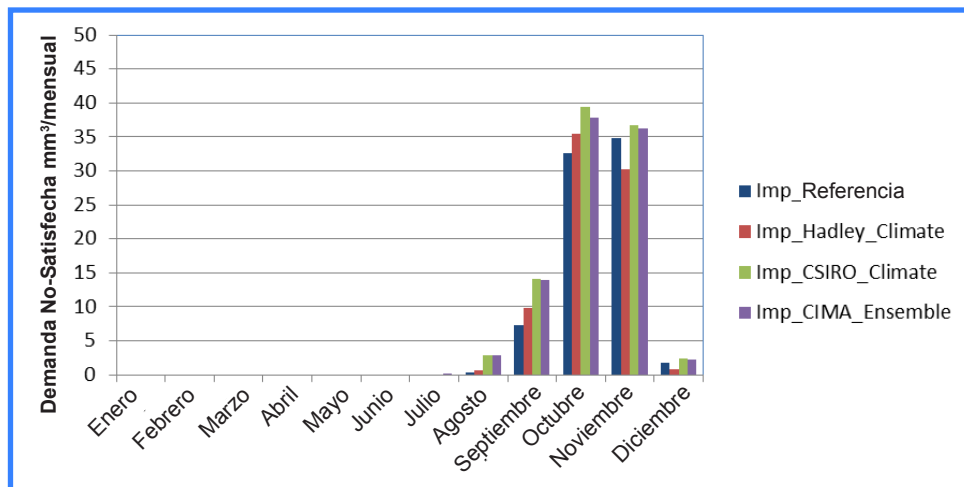


Figura 9-6. Demanda de riego no-satisfecha mensual, Infraestructura Mejorada

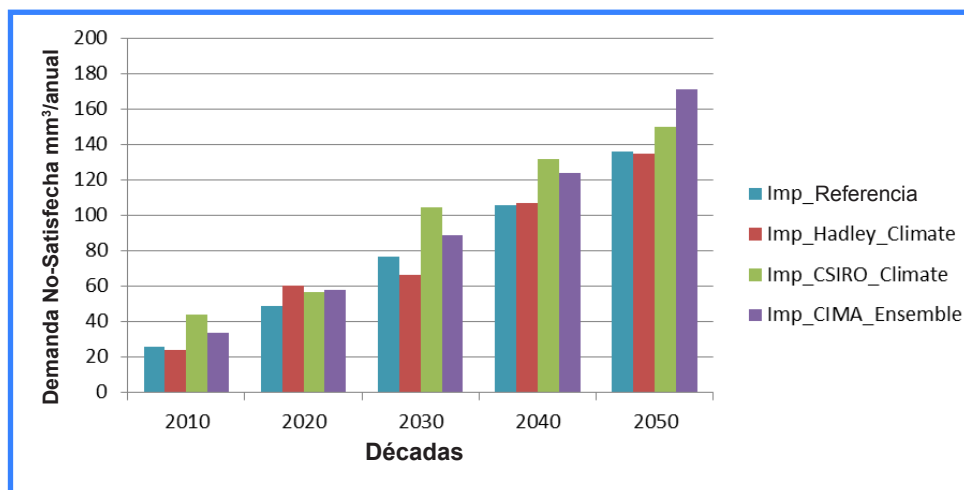


Figura 9-7. Demanda de riego no-satisfecha anual, infraestructura mejorada

9.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA OPCIÓN 2: MEJORA EN LA EFICIENCIA DE RIEGO.

El aumento en la eficiencia de riego y suministro de agua para San Salvador de Jujuy no está afectado por las medidas que se toman aguas abajo de la derivación.

9.3.1 Resultados para las Poblaciones Vecinas

La mejora de la eficiencia del riego debería aumentar la disponibilidad para las poblaciones vecinas. Esta hipótesis se ve confirmada por los resultados de los modelos en las **figuras 9-8 y 9-9**, que muestran que la demanda insatisfecha es muy pequeña en las poblaciones con mejoras en la práctica de riego en comparación con la eficiencia de riego bajo la situación actual. (**Figuras 8-6 y 8-7**).

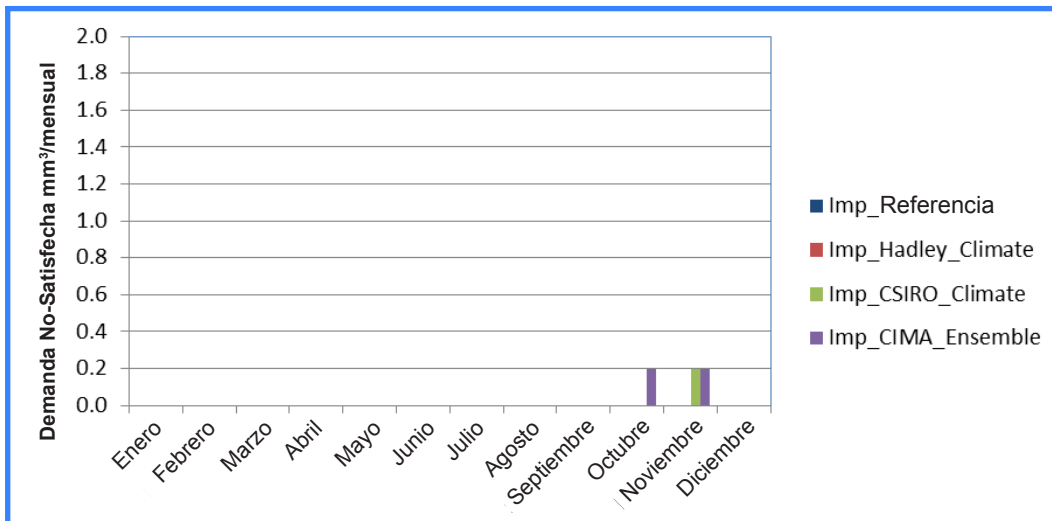


Figura 9-8. Demanda no-satisfecha mensual para poblaciones, eficiencia de riego mejorada

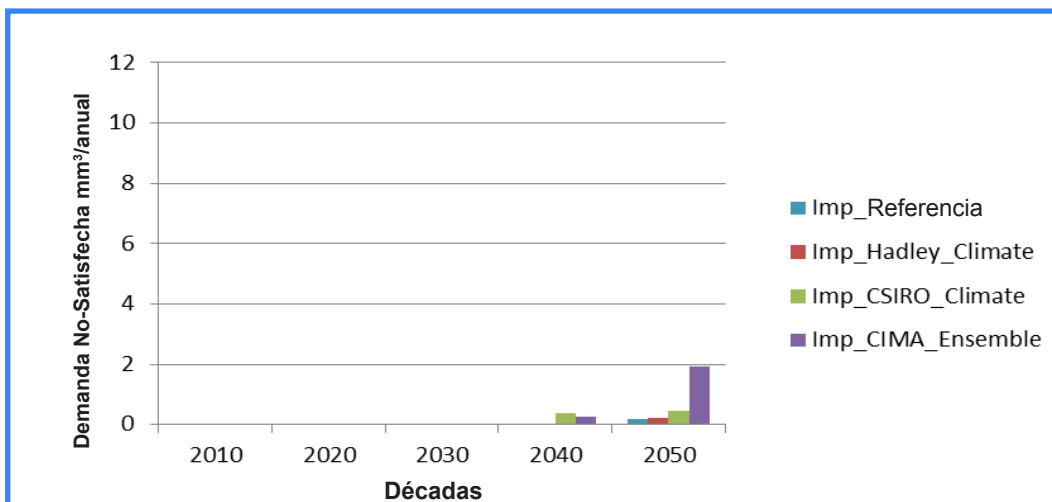


Figura 9-9. Demanda no-satisfecha anual para poblaciones, eficiencia de riego mejorada

9.3.2 Resultados de Riego

Además de mejorar la disponibilidad de agua para los pueblos vecinos, la mejora de la eficiencia de riego aumenta claramente la cantidad de agua disponible para el riego. La **Figura 9-10** muestra que la demanda insatisfecha de riego bajo prácticas mejoradas de riego es muy pequeña en comparación con la **Figura 8-8**. La **figura 9-11** muestra que el suministro de agua para el riego será suficiente para el área actual de cultivo hasta el año 2040.

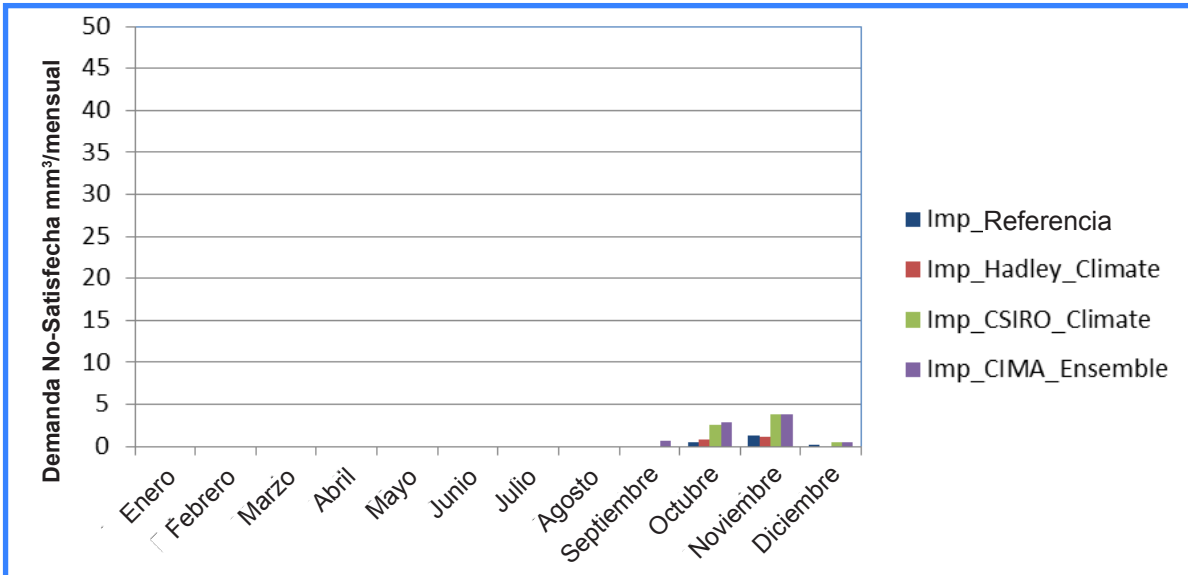


Figura 9-10. Demanda de riego no-satisfecha mensual, eficiencia de riego mejorada

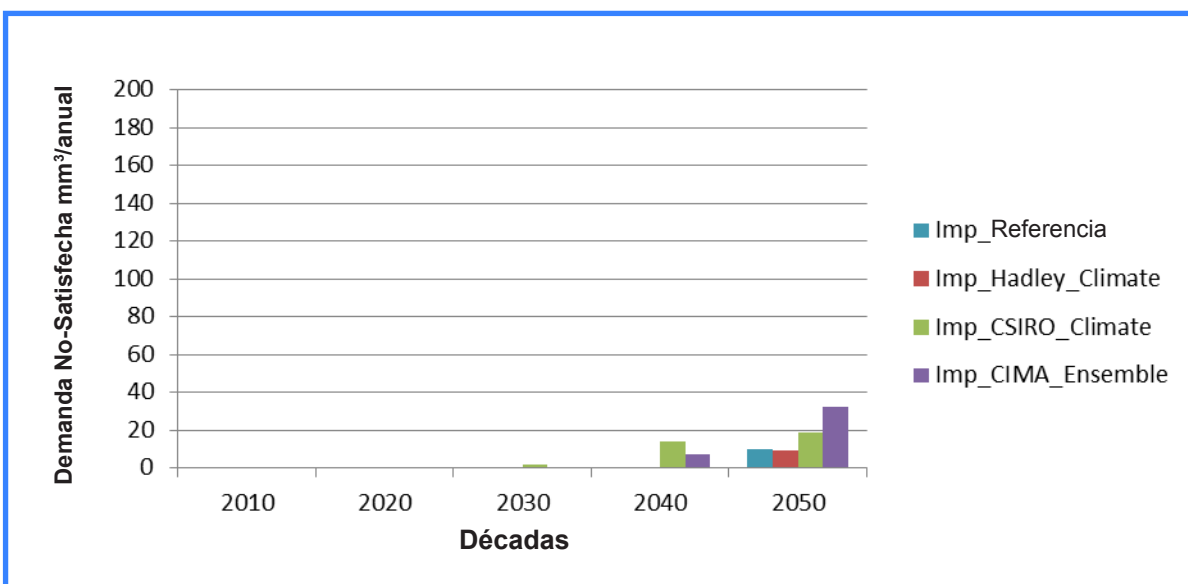


Figura 9-11. Demanda de riego no-satisfecha anual, eficiencia de riego mejorada

9.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA OPCIÓN 3: OPCIÓN 1 Y OPCIÓN 2 COMBINADAS

Los elementos claves de esta opción incluyen fugas reducidas de agua urbana y una eficiencia mejorada de riego. Como se afirmó antes, el suministro de agua para San Salvador de Jujuy no se puede beneficiar de cambios en la eficiencia de riego que ocurran aguas abajo.

9.4.1 Resultados en las Poblaciones

Mejorando la eficiencia de riego y la estructura del suministro de agua incrementa claramente el agua disponible para las poblaciones vecinas. Las **Figuras 9-12** y **9-13** muestran que la demanda no-satisfecha para las poblaciones bajo esta opción es muy pequeña comparada con las **Figuras 8-6** y **8-7**.

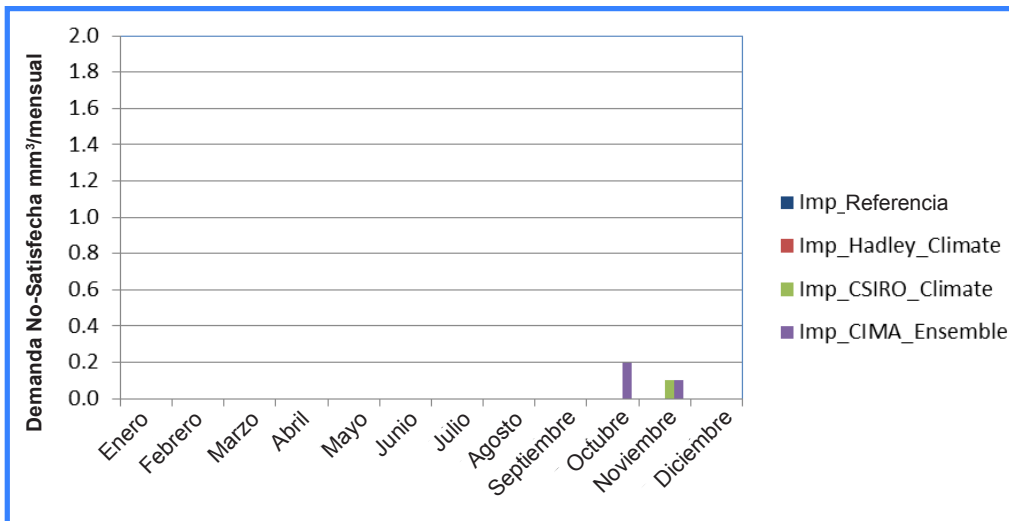


Figura 9-12. Demanda no-satisfecha mensual para poblaciones, infraestructura y eficiencia mejorada

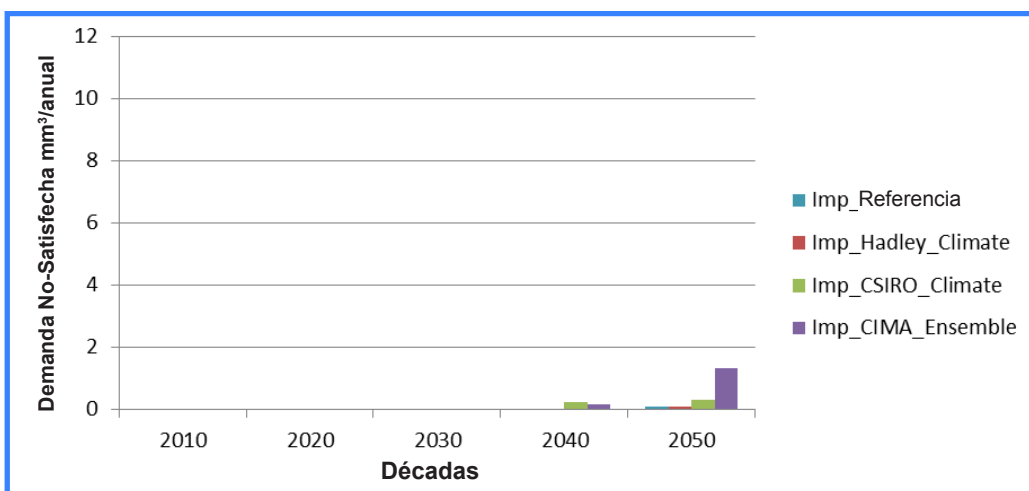


Figura 9-13. Demanda no-satisfecha anual para poblaciones, infraestructura y eficiencia mejorada

9.4.2 Resultados de Riego

Las mejoras en la eficiencia de riego sumadas a las mejoras en la infraestructura de suministro de agua incrementan la cantidad de agua disponible para las poblaciones vecinas y para el riego. La **Figura 9-14** muestra que la demanda no-satisfecha de riego bajo esta opción es muy pequeña comparada con la **Figura 8-8**. La **Figura 9-15** muestra que el suministro de agua de riego cuando tanto la eficiencia de riego como la de los sistemas de suministro han mejorado, será suficiente para el área actual de cultivo hasta el 2050.

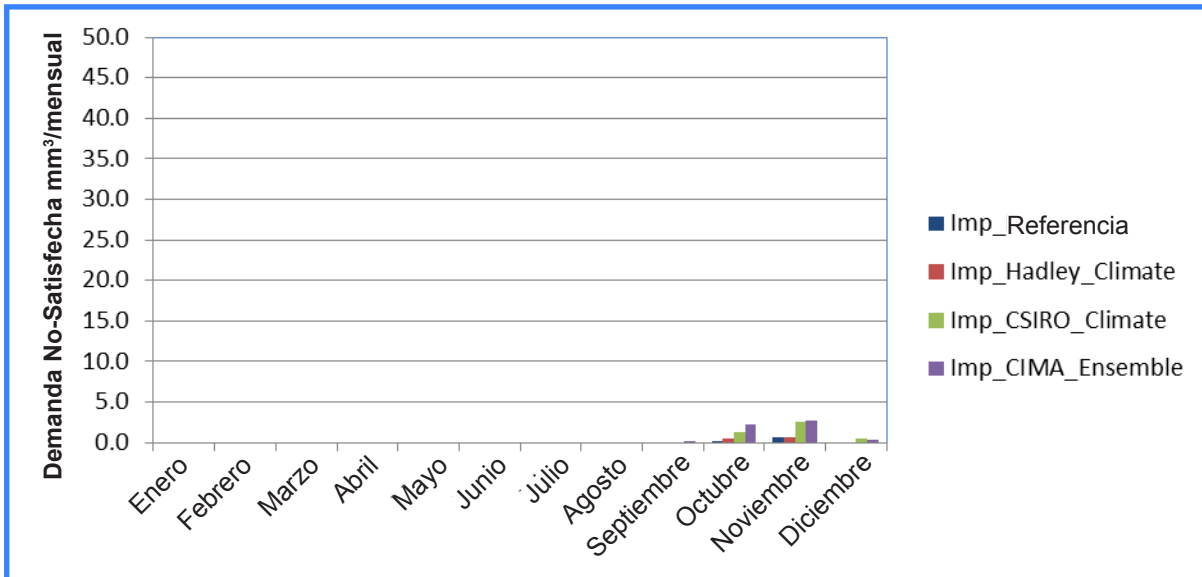


Figura 9-14. Demanda no-satisfecha, infraestructura y eficiencia mejoradas

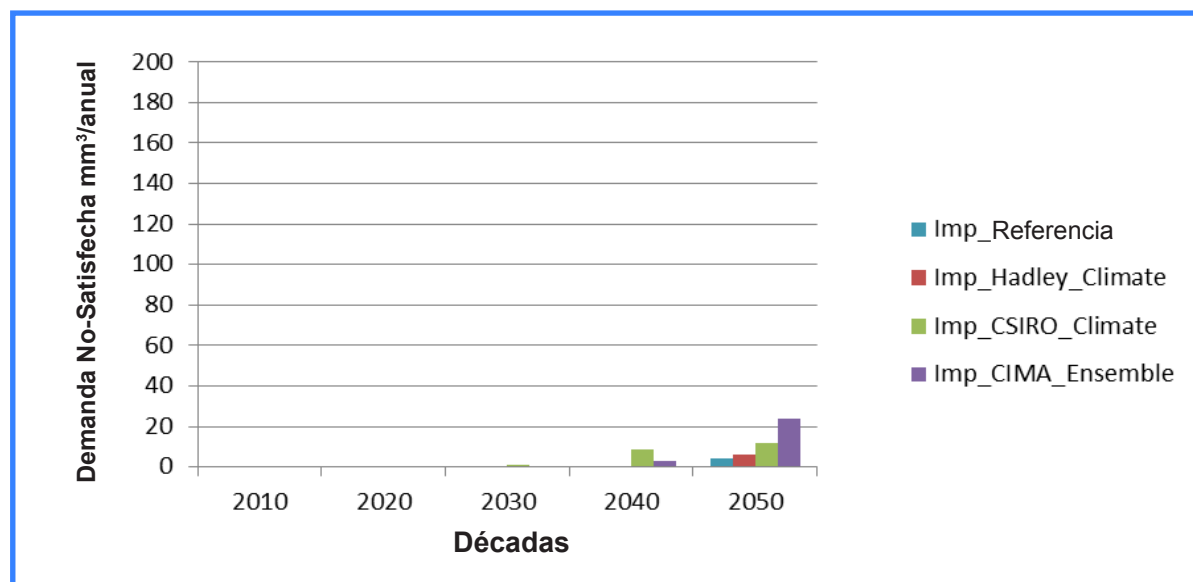


Figura 9-15. Demanda no-satisfecha, infraestructura y eficiencia mejorada

9.5 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL MODELAJE

La **Tabla 9-1** proporciona las demandas no-satisfechas de agua para San Salvador de Jujuy, las poblaciones vecinas, y el riego para dos décadas, para diferentes proyecciones climáticas y opciones de adaptación.

Tabla 9-1. Demandas de agua no-satisfechas, por uso de agua, año y opción de adaptación

Total de demanda de agua no-satisfecha								
Uso del agua y periodo de tiempo	Opción 0				Opción mejorada			
	Referencia	Hadley Climate	CSIRO Climate	CIMA Ensemble	Referencia	Hadley Climate	CSIRO Climate	CIMA Ensemble
San Salvador Opción 0 y 1								
2011-2020	0.53	0.45	1.45	0.75	0.19	0.16	0.42	0.25
2051-2060	5.64	5.91	8.12	9.88	1.73	2.39	3.71	4.71
Poblaciones vecinas Opción 0 y 1								
2011-2020	0.00	0.00	0.85	0.08	0.00	0.00	0.45	0.00
2051-2060	6.48	5.67	7.99	10.76	3.73	3.57	5.52	7.46
Poblaciones vecinas Opción 0 y 2								
2011-2020	0.00	0.00	0.85	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
2051-2060	6.48	5.67	7.99	10.76	0.17	0.20	0.44	1.93
Poblaciones vecinas Opción 0 y 3								
2011-2020	0.00	0.00	0.85	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
2051-2060	6.48	5.67	7.99	10.76	0.08	0.10	0.32	1.32
Riego Opción 0 y 1								
2011-2020	33.78	31.23	52.76	41.62	26.07	24.18	44.15	33.85
2051-2060	149.76	150.09	164.11	184.85	135.69	134.73	149.88	170.82
Riego Opción 0 y 2								
2011-2020	33.78	31.23	52.76	41.62	0.00	0.00	0.00	0.00
2051-2060	149.76	150.09	164.11	184.85	9.64	9.40	18.63	32.35
Riego Opción 0 y 3								
2011-2020	33.78	31.23	52.76	41.62	0.00	0.00	0.00	0.00
2051-2060	149.76	150.09	164.11	184.85	3.91	5.83	12.09	23.93

9.6 EL RENDIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN SELECCIONADAS

9.6.1 Análisis de la Demanda No-satisfecha y Ahorros de Agua

La **Tabla 9-2** proporciona un resumen/comparación de la demanda no-satisfecha y de los ahorros para las cuatro proyecciones climáticas, para el principio y el fin del periodo de análisis del 2011 al 2060, con base en los detalles de la **Tabla 9-1**. Obviamente, el mejoramiento de la eficiencia reduce la demanda

no-satisfecha sustancialmente, especialmente con eficiencia en el riego, pero aún queda en cada escenario alguna porción de demanda no-satisfecha.

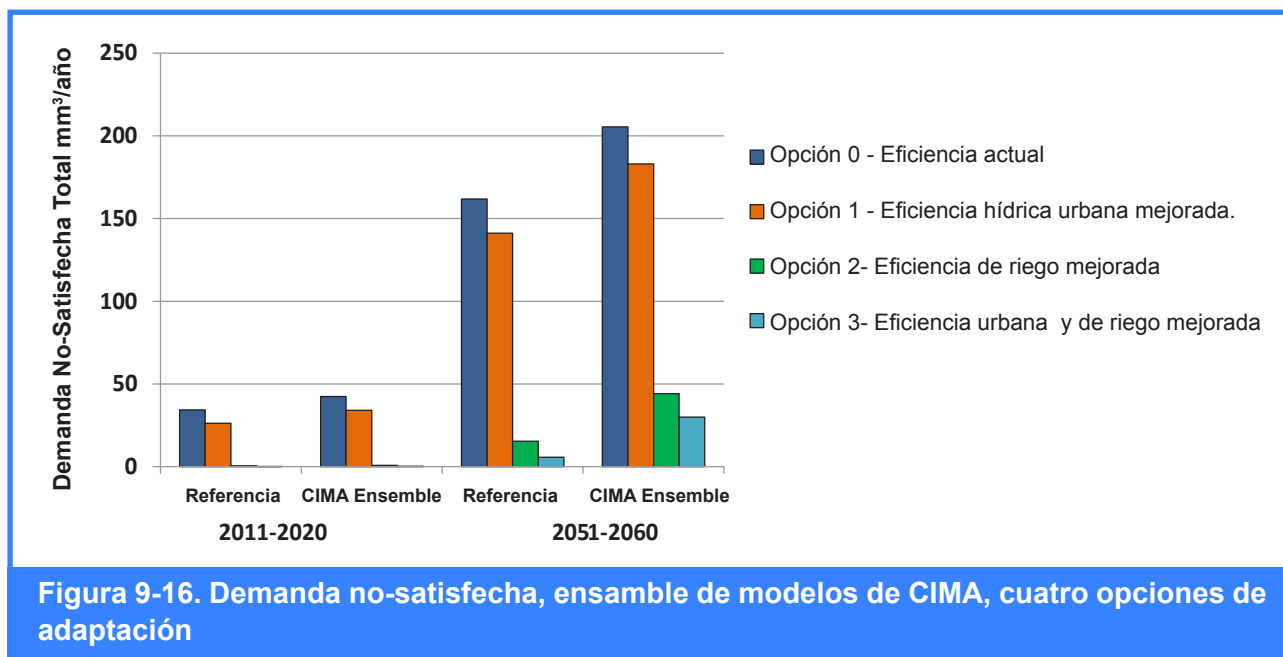
Tabla 9-2. La demanda no-satisfecha, cuatro proyecciones climáticas, cuatro opciones de adaptación								
Total demanda de agua no satisfecha (mm³/año)	2011-2020				2051-2060			
Proyección climática	Referencia	Hadley	CSIRO	CIMA	Referencia	Hadley	CSIRO	CIMA
Opción 0- Eficiencia actual	34.3	31.7	55.1	42.5	162	162	180	205
Opción 1- Mejora de la eficiencia hídrica urbana	26.3	24.3	45	34.1	141	141	159	183
Opción 2- Mejora de la eficiencia en riego	0.53	0.45	1.45	0.75	15.5	15.5	27.2	44.2
Opción 3- Mejora en la eficiencia hídrica urbana y de riego	0.19	0.16	0.42	0.25	5.7	8.3	16.1	30
Ahorro en la demanda insatisfecha (mm³/año)								
	2011-2020				2051-2060			
Proyección climática	Referencia	Hadley	CSIRO	CIMA	Referencia	Hadley	CSIRO	CIMA
Ahorro de la Opción 1	8.1	7.3	10	8.3	21	21	21	22
Ahorro de la Opción 2	34	31	54	42	146	146	153	161
Ahorro de la Opción 3	34	32	55	42	156	153	164	176

Los resultados principales se resumen a continuación:

- En las circunstancias actuales, la demanda no-satisfecha es de aproximadamente 34.3 millones de m³/año.
- Para el 2060, de no ocurrir algún tipo de mejora en la eficiencia del uso del agua por los usuarios urbanos y de riego, la demanda no-satisfecha se elevará a aproximadamente 162-205 millones m³/año, en función de cual proyección climática se aplique.
- Una mejora en la eficiencia del uso del agua urbana (Opción 1) reducirá la demanda no-satisfecha modestamente durante el período de estudio, lo que limita su incremento a aproximadamente 141-183 millones m³/año.
- Una mejora en la eficiencia de la aplicación del uso de agua de riego (Opción 2) tiene un impacto substancial, lo que limita el incremento en la demanda no-satisfecha a aproximadamente 16-44 millones m³/año.
- La mejora en las eficiencias urbana y de riego (Opción 3) causa un impacto adicional, lo que limita el incremento de la demanda no-satisfecha a 6-30 millones m³/año.

- En consecuencia, es de importancia esencial el mejoramiento de la eficiencia del uso de agua de riego, solo para mantener la demanda no-satisfecha en los niveles actuales aproximadamente por los próximos 50 años. Para aliviar la demanda no-satisfecha en San Salvador de Jujuy, será necesario tomar medidas adicionales, tales como asegurar una fuente de agua adicional y desarrollar capacidad de almacenamiento.

La **Figura 9-16** ilustra estos resultados en un formato gráfico, solo usando la proyección climática de la combinación CIMA, que predice el más alto nivel de demanda no-satisfecha.



9.6.2 Efectividad y Costo-eficiencia de las Opciones de Adaptación Seleccionadas

En esta sección, se analiza la efectividad y la costo-eficiencia de las tres medidas de adaptación asociadas con la mejora de la eficiencia. Para los propósitos de este caso de estudio definimos la efectividad y costo-eficiencia de la siguiente manera:

- **La efectividad** de una opción es el grado en que la demanda no-satisfecha se reduce mediante el uso de esa opción. Este es el medio más básico de medición de la efectividad, pero hay otros posibles.
- **Costo-eficiencia** es el valor presente de los costos de todas las intervenciones (gastos de capital y de mantenimiento) relacionados con esa opción, en el período 2011-2060, dividido por la reducción total de la demanda no-satisfecha asociada a esa opción.

Por ejemplo, como se muestra en la Tabla 9-2 arriba, la efectividad de la Opción 1 en la referencia del clima, para la década 2051–2060, es la reducción de la demanda no-satisfecha de 162 millones m³/año a 141 millones m³/año, que es una reducción de 21 millones m³/año, o aproximadamente 13%. Bajo la proyección de la combinación CIMA, la efectividad cae de 205 millones m³/año a 183 millones m³/año, que es una reducción de 23 millones m³/año, o aproximadamente 11%.

Otra medida de efectividad es la frecuencia de los periodos de escasez de agua. Como se muestra en la **Figura 8-5**, (describiendo la Opción 0) y asumiendo varias proyecciones de cambio climático, los usuarios de agua potable en San Salvador de Jujuy podrían esperar por lo menos 20% de la demanda cubierta durante 75 % del tiempo en octubre. En otras palabras, bajo el cambio climático el agua estará muy restringida en octubre. En contraste, de acuerdo con la **Figura 9-5**, si se aplicara la Opción 1, los residentes de San Salvador de Jujuy podrían esperar por lo menos un **50%** de la demanda cubierta en octubre, lo cual es una mejora significativa. Una nueva fuente de agua puede ayudar a llenar esta brecha.

La efectividad de riego en reducir la demanda no-satisfecha es bastante grande. Si usamos el mismo ejemplo anterior, la efectividad de la Opción 2 en la referencia de clima, para la década 2051-2060, es la reducción de la demanda no-satisfecha de 162 Mm³/año a 15.5 Mm³/año, que es una disminución de la demanda no-satisfecha de 146.5 Mm³/año, o aproximadamente 90%. Bajo la proyección del ensamble de modelos de CIMA, la efectividad es una caída de 205 Mm³/año a 44.2 Mm³/año, que es una reducción de 160.8 Mm³/año, o aproximadamente 78%.

Cambiando a costo-eficiencia, el equipo de trabajo tabuló todos los costos y ahorros de agua provenientes de las opciones de adaptación, y se enfocó en la Opción 1, y en la efectividad del costo de las mejoras en la eficiencia para la caña de azúcar separadamente del tabaco. El Anexo 9-1 proporciona todos los cálculos en detalles, los cuales se resumen en las Tablas 9-2 y 9-3.

La **Tabla 9-3** muestra que una mejora en la eficiencia en el sistema de suministro de agua, resulta en un “costo de ahorro de agua” estimado en aproximadamente \$0.02 por m³. lo cual es sumamente atractivo. El desarrollo de nuevas fuentes de agua e instalaciones de tratamiento puede costar fácilmente 10 veces este monto.

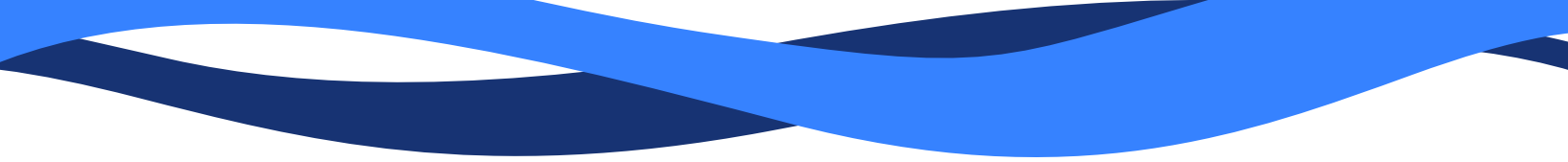
Tabla 9-3 Costo-eficiencia de la opción 1 de adaptación			
Suministro de agua urbana - Opción 1			
Costo de capital unitario para la reducción de fugas	400	\$ per m ³ / día de ahorro	
Ahorro de agua en San Salvador y poblaciones vecinas	24,253	m ³ / día ahorrado	
Costo de capital del proyecto de rehabilitación	\$9,701,200		
Costo anual de mantenimiento	3%	del valor del activo	
Tasa de descuento	10%		
Opción 1	Costo \$	Reducción en demanda no-satisfecha m ³	Costo de adaptación urbana, \$/m ³
Evaluación	\$7,602,008	337,000,000	\$0.023

La **Tabla 9-4** muestra valores similares de costo-eficiencia para una eficiencia mejorada de riego para la caña de azúcar y el tabaco, pero el valor actual de las inversiones y el mantenimiento son mucho más altos que las mejoras en la eficiencia de agua urbana – Opción 1. Al mismo tiempo, los ahorros de agua también son mucho más altos. El costo-eficiencia neto por mejorar la eficiencia tanto para caña de azúcar como para tabaco son más altos que la Opción 1, pero aún muy atractivos comparados con nuevas fuentes de agua.

Tabla 9-4. Costo-eficiencia de la opción 2 de adaptación

Riego - Opción 2						
	Cultivo	Área de riego	Costo de Capital/Área	Costo de Cap.	Duración (años)	
Costo de capital para la superficie	Azúcar	19212	\$1,200	\$23,054,400	2	
Sistema de riego por goteo	Tabaco	14238	\$2,400	\$34,171,200	10	
Costo Anual de Mantenimiento		14238	\$200	\$2,847,600		
Tasa de descuento		10%				
Opción 2	Costo del Azúcar (\$)	Costo del Tabaco (\$)	Ahorro en Azúcar-Agua m ³	Ahorro en Tabaco-Agua m ³	Costo de la adaptación del azúcar, \$/m ³	Costo de la adaptación del tabaco, \$/m ³
Evaluación	\$81,900,805	\$74,224,126	2,005,421,667	987,745,000	\$0.041	\$0.075

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



El caso de estudio ha proporcionado una valiosa experiencia en el uso del sistema Hydro-BID que servirá al diseño de futuras aplicaciones y a la capacitación de usuarios. El caso de estudio también demuestra el valor de usar un sistema de modelaje con una mayor resolución espacial y flexibilidad geográfica de lo que es posible con otros modelos hidrológicos disponibles. Hydro-BID es una poderosa herramienta para la evaluación de los retos en el manejo de recursos hídricos y de opciones en las condiciones actuales y futuras, para cualquier área geográfica definida por el usuario desde el área captación hasta la cuenca.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LOS PLANIFICADORES DE RECURSOS HÍDRICOS EN JUJUY

- Un modelo de trabajo Hydro-BID se ha preparado, calibrado y utilizado para el análisis de las opciones de manejo de los recursos hídricos en el área del caso de estudio. El modelo es capaz de simular el caudal en cualquier lugar dentro de la cuenca del Río Grande / parte superior Río San Francisco y puede servir en múltiples aplicaciones futuras.
- Datos disponibles y modelos climáticos indican que habrá un aumento moderado y constante de la temperatura media en la cuenca del Río Grande / parte superior Río San Francisco hasta el año 2060. La precipitación media anual en la cuenca muestra ni un aumento ni una tendencia decreciente a lo largo de este período, aunque la variación interanual seguirá siendo bastante alta. El impacto directo del cambio climático sobre el caudal de los ríos parece ser pequeño.
- El modelo confirma la situación actual que experimentan los usuarios de agua en la cuenca. Ha obtenido resultados que muestran una demanda no-satisfecha (periodos de escasez de agua) durante los meses “secos” de agosto a noviembre para los residentes de San Salvador de Jujuy y agricultores aguas abajo.
- La demanda de agua en la cuenca del Río Grande y parte superior del Río San Francisco se incrementará dramáticamente en los próximos 50 años por dos razones:
 1. Incrementos en la demanda de agua urbana e industria reflejan el crecimiento de la población en San Salvador de Jujuy y otros poblados en la cuenca.
 2. Los incrementos en la demanda de riego se originan principalmente por incrementos de temperatura que aumentan la evapotranspiración (ETr) experimentada por los cultivos. Sin tomar medidas de adaptación, los residentes urbanos y los agricultores que dependen del riego van a experimentar periodos de escasez de agua cada vez más severos durante el periodo de estudio.
- La demanda de agua de riego es muy superior a la demanda urbana e industrial. Sobre una base anual, los productores de tabaco y caña de azúcar requieren aproximadamente cinco veces más agua que los residentes urbanos y las pequeñas industrias. En el pico de la demanda en octubre, la demanda de riego será 17 veces mayor que la demanda urbana e industrial. Debido a que la demanda de agua es mucho más alta para riego que aquella para usos urbanos e industriales, las mejoras en la eficiencia del riego es vital para el futuro de la provincia. La eficiencia del riego se compone de muchos factores; para los propósitos de este estudio, hemos examinado el impacto del aumento de la eficiencia de aplicación (del riego) del 37% al 55%, mientras que todo lo demás permanece constante. Si esta mejora es implementada rápidamente, se aliviaría la demanda de riego no-satisfecha hasta el año 2040.
- Una mejora de la eficiencia de los sistemas urbanos de agua aliviará solo parcialmente la demanda de agua no-satisfecha entre los usuarios urbanos e industriales. La reducción de las pérdidas físicas (fugas) de un porcentaje asumido de 30% de la capacidad del sistema a una meta típica de 10% , reduciría la demanda no-satisfecha de agua urbana e industrial en el 2020 por 7.3-10.0 Mm³/año, dependiendo de las proyecciones climáticas todo lo cual se produce durante el estación seca. Debido a que San Salvador de Jujuy no tiene un embalse, el agua que se ahorra mediante la mejora de la eficiencia del riego aguas abajo no puede –en la actualidad- ser utilizada para aliviar la demanda de agua no-satisfecha en la ciudad. Satisfacer completamente la demanda de agua de San Salvador de Jujuy requerirá de inversiones adicionales en almacenamiento o nuevas fuentes de agua. Las autoridades regionales están considerando un nuevo proyecto de abastecimiento de agua en Yala. Este estudio no evaluó su potencial impacto en la demanda no-satisfecha en San Salvador de Jujuy.

- Las diferencias en los resultados generales utilizando diferentes proyecciones climáticas son significativas pero no enorme. Este análisis pronosticó caudales, la demanda de agua y la demanda de agua no satisfecha de un “año normal”, ya sea en el escenario de referencia o en cualquiera de las tres proyecciones climáticas. Históricamente, existe una variación interanual considerable de las precipitaciones, la temperatura y el caudal. Bajo cualquier proyección futura del clima, habrá años calurosos y secos que podrían conducir a incrementos en la demanda no-satisfecha y otros más frescos y húmedos, con disminuciones de la demanda no-satisfecha. La conclusión fundamental es que el aumento de la eficiencia del agua proporcionará un gran beneficio para la adaptación a los cambios previstos en el clima. Debido a la considerable variabilidad interanual, el desarrollo de un mayor almacenamiento de agua y nuevas fuentes de agua serán de especial utilidad a San Salvador de Jujuy
- Existen muchas lagunas (gaps) en los datos que limitan el análisis de los asuntos de manejo de recursos hídricos en la provincia de Jujuy, para las condiciones presentes y futuras. Los datos necesarios de mayor prioridad son las mediciones de caudales en la subcuenca del Río Grande; datos precisos y detallados del uso actual de agua; y datos nuevos primarios de ETr, requerimientos de agua para cultivos y rendimiento agrícola en las áreas de riego.

11.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL USO FUTURO DEL MODELO HYDRO-BID

- Hydro-BID es una herramienta única, flexible y potente para predecir caudales futuros en áreas definidas por el usuario, desde la zona de captación hasta el nivel de la cuenca, con robustos algoritmos geográficos / hidrológicos, capas de datos, y la capacidad de utilizar bases de datos ya sean locales o internacionales “*off-the-shelf* “. Puede ser utilizado como el núcleo de un trabajo avanzado y sofisticado en el manejo integrado de recursos hídricos en cuencas hidrográficas.
- El uso adecuado del sistema Hydro-BID involucra una considerable recopilación de datos locales y un equipo integrado por especialistas en hidrología, meteorología, ciencias del clima, agricultura, operaciones de servicios públicos, e ingeniería. Los resultados/outputs de Hydro-BID con frecuencia necesitan ser utilizados como datos de entrada para otros modelos tales como WEAP o modelos de rendimiento de embalses para abordar plenamente los complejos problemas de manejo de los recursos hídricos. El enfoque que se muestra en la Figura 3-4 es una guía útil para futuros estudios.
- El modelo Hydro-BID se aplicó con éxito, a pesar de importantes brechas (gaps) en los datos locales de Jujuy, mediante el uso de una combinación de bases de datos internacionales y locales. El análisis de bases de datos locales proporcionó un importante contexto y una comprensión hidro-climática que permitieron que las bases de datos internacionales se usaran correctamente. El análisis de las brechas en los datos locales también destacó la necesidad de un monitoreo más extenso e intenso de la demanda de agua, el clima, caudal y otros parámetros de entrada, para su uso en futuros trabajos. Debido a brechas claves en los datos locales en este momento, la calibración del modelo se realizó principalmente utilizando bases de datos internacionales y usando datos de caudales a la salida de una cuenca grande. Datos de caudales más recientes, confiables a largo plazo en puntos interiores de la cuenca podrían mejorar la precisión de la calibración del modelo para las cuencas más pequeñas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguas de los Andes S.A “Potabilización del Agua”.
- Bárcena, Alicia., Antonio Prado, Joseluis Samaniego, Susana Malchik. “Economics of Climate Change in Latin America and the Caribbean.” United Nations, 2010.
- Barros, Vicente, Robin Clarke, Pedro Silva Dias. Climate Change in the La Plata basin.” Interamerican Institute for Global Change.
- Bianchi, Alberto Rubí., Silvia Ana Carla Cravero. “Atlas climático digital de la República Argentina” Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria(INTA), 2010.
- Biswas, A. (1981). Integrated water management: Some international dimensions. *Journal of Hydrology* 51(1-4): 369.
- Bouwer, H. (2000). Integrated water management: Emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management* 45(3): 217–28.
- Bravo, Gonzalo., Alberto Bianchi, José Volante, Susana Aldrete Salas, Guillermo Sempronii, Luis Vicini, Miguel Fernandez, Héctor Lipshitz y Alejandra Piccolo. “Regiones Agroeconómicas del Noroeste Argentino.” Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria. EEA Salta.
- Comisión Binacional para el Desarrollo de la cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tajira (COBINABE) “Generación y Transporte de Sedimentos en la Cuenca Binacional del Río Bermejo: Caracterización y análisis de los procesos intervinientes”, 2010
- Failde de Calvo, Viviana., Daniel R. Fernandez. “El ordenamiento territorial en las provincias de Salta y Jujuy.” Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria(INTA). EEA Salta, 2007.
- Gimenez, Juan Carlos., “Relación entre Predictores Climáticos y Fenómenos Torrenciales en las Cuencas del NOA. Su aporte Hídrico-Ambiental de la Región.” Universidad de Buenos Aires, 2010
- Gonzalez, Marcela Hebe “Validación e Incertidumbres de Modelos de Cambio Climático en el Noroeste Argentino.” Universidad de Buenos Aires, 2013.
- Grimm, Alice M. and Renata G. Tedeschi. “*ENSO and Extreme Rainfall Events in South America.*” Federal University of Paraná, Brazil, 2008.
- H, Paoli., Elena H., Mosciaro J., Ledesma F., Noé Y. “Cuenca Mojotoro-Lavayén - San Francisco” Caracterización de las cuencas hídricas de las provincias de Salta y Jujuy. Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria(INTA). EEA Salta, 2011.

-  Hansen, Vaughn E., Orson W. Israelsen, Glen E. Stringham. *"Irrigation Principles and Practices"* Fourth Edition. John Wiley and Sons. 1980.
-  Jong, Susana D., "Proyecto de Ordenamiento Territorial. El recurso de agua en relación al crecimiento de la demanda para agua potable en San Salvador de Jujuy y Zonas Aledañas. SEJ- Ordenamiento Territorial. 2000.
-  Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., et al. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, marzo, 1996.
-  Kawashima, Shigekazu., Tamara Butler Johndrow, George W. Annandale, Farhed Shah. "Reservoir Conservation: Economic and Engineering Evaluation of Alternative Strategies for Managing Sedimentation in Storage Reservoirs." Rescon Model and User Manual, Volume II, 2003.
-  Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., and Simpson, J. (1998). The TRMM Sensor Package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 15, 809–817. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0426\(1998\)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0426(1998)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2).
-  Louw, Daniel B., Jabavu C. Nkomo, Molly E. Hellmuth, and Debbie A. Sparks. *"Benefits and Costs of Adapting Water Planning and Management to Climate Change and Water Demand Growth in the Western Cape of South Africa."* Climate Change and Adaptation. International START Secretariat, 2008.
-  Marengo, Jose A.. *"Regional Climate Change Scenarios for South America- The Creas Project"* CPTEC/INPE.
-  Margulis, Sergio., Urvashi Narain. *"The Cost to Developing Countries of Adapting to Climate Change -New Methods and Estimates"* The World Bank, 2010.
-  Miralles-Wilhelm, Fernando, Colin Herron, Roman Gómez. *"Regional Policy Dialogue for Latin America and the Caribbean: Challenges and Opportunities in Adaptation to Climate Change in the Water Sector: Elements for a Regional Agenda."* Participating organizations of the Latin American and Caribbean Regional Policy Dialogue on Adaptation to Climate Change in the Water Sector., 2010
-  N, Volante José, Bianchi Alberto R., Paoli Héctor P., Noé Yanina E., Elena Hernán J., Cabral Claudio M. "Análisis de la Dinámica del Uso del Suelo Agrícola del Noroeste Argentino Mediante Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Periodo 2000-2005" Proyecto de Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria(INTA), Relevamiento de Cultivos del NOA.. EEA Salta, 2005.
-  Nuñez, Mario., Silvina A. Solman, Maria Fernanda Cabré. "Regional climate change experiments over southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty-first century." Springer-Verlag, 2008.
-  Organización de los Estados Americanos "Cuenca del Plata- Estudio para su planificación desarrollo- República Argentina- Cuenca del Río Bermejo II- Cuenca Inferior." Washington, D.C. 1974

-  Palmieri, Alessandro, Farhed Shah, George W. Annandale, Ariel Dinar. "Reservoir Conservation: Economic and Engineering Evaluation of Alternative Strategies for Managing Sedimentation in Storage Reservoirs." *The Rescon Approach*, Volume I, 2003.
-  Paoli, Hector., Josefina Diez. "Programa de desarrollo para pequeños productores tabacaleros. Evaluación de riego en finca." Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria (INTA). EEA Salta, 2006.
-  Paoli, Hector. "Recursos Hídricos de la Puna, Valles y Bolsones Áridos del Noroeste Argentino" Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria. EEA Salta, 2002.
-  Papadopoulos, B.T. "Climate Change in Latin America" EuropeAid, 2009
-  Pérez, Daniela., Carmina Fandos, Jorge Scandaliaris, Lucia Mazzone, Federico Soria, y Pablo Scandaliaris. "Estado actual y evolución de la productividad del cultivo de caña de azúcar en Tucumán y el noroeste argentino en el período 1990-2007" Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), 2007.
-  Pérez, Fernando., Calcagno, Alberto. "Diagnostico Ambiental Transfronterizo de la Cuenca del Río Bermejo" Programa Estratégico de Acción para la Cuenca del Río Bermejo. Organización de Estados Americanos, 2000.
-  Secretaria de Planificación, Ministerio de Infraestructura y Planificación. Plan Estratégico Territorial PET - Jujuy. - Infraestructura y Equipamiento."
-  Westphal, K., Vogel, R., Kirshen, P., and Chapra, S. (2003). Decision support system for adaptive water supply management. *Journal of Water Resources Planning and Management* 129(3): 165–77.
-  UNDP "Climate Change Country Profiles: Argentina."
-  United States Environmental Protection Agency "*Climate Change Vulnerability Assessments: Four Case Studies of Water Utility Practices.*", 2011.
-  World Bank Group "*Adaptation to Climate Change- Vulnerability Assessment and Economic Aspects.*", 2010.
-  Zalewski, M. (2002). Ecohydrology – the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. *Hydrological Sciences Journal* 47(5): 823.

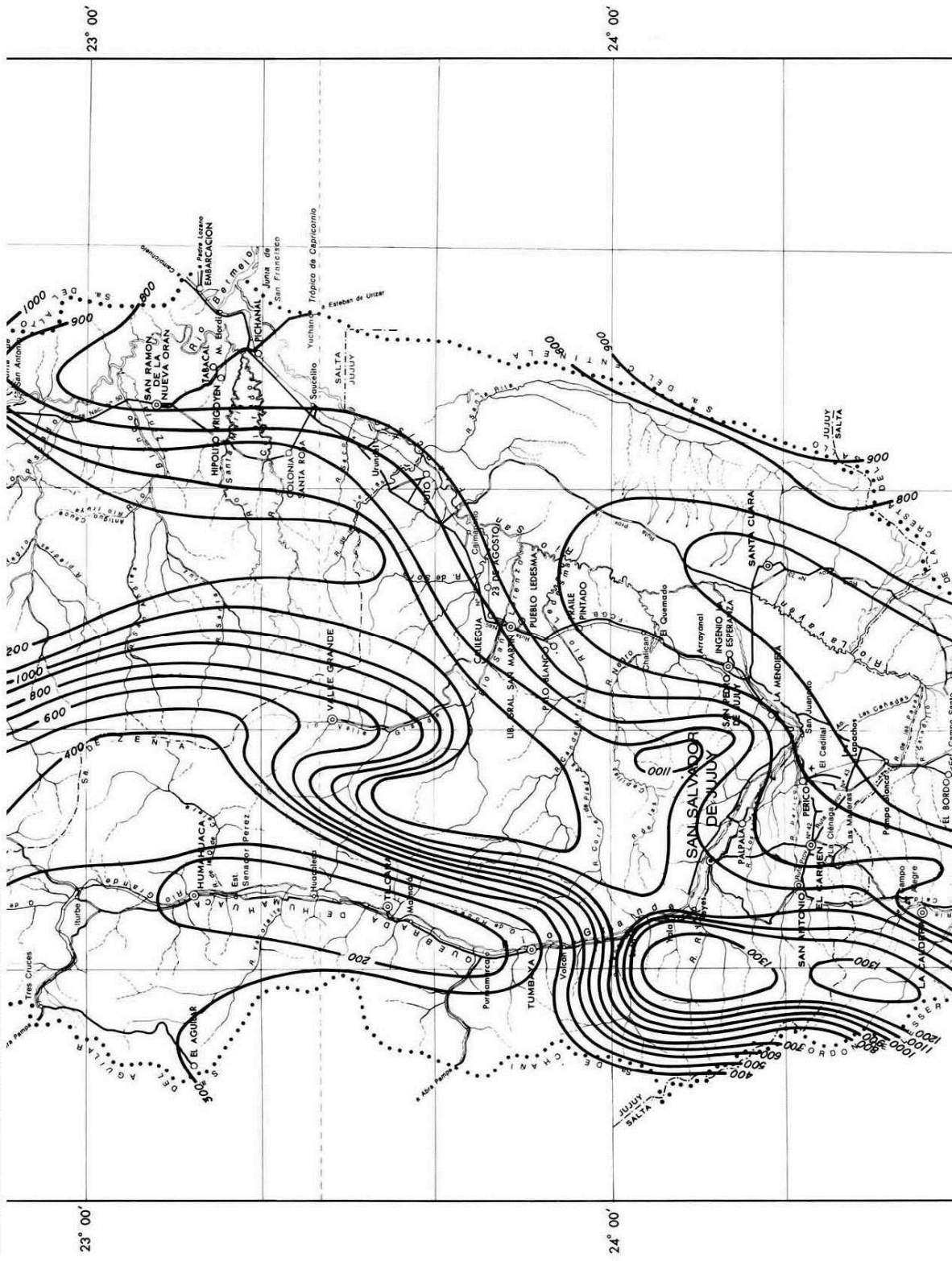
ANEXO 3-1

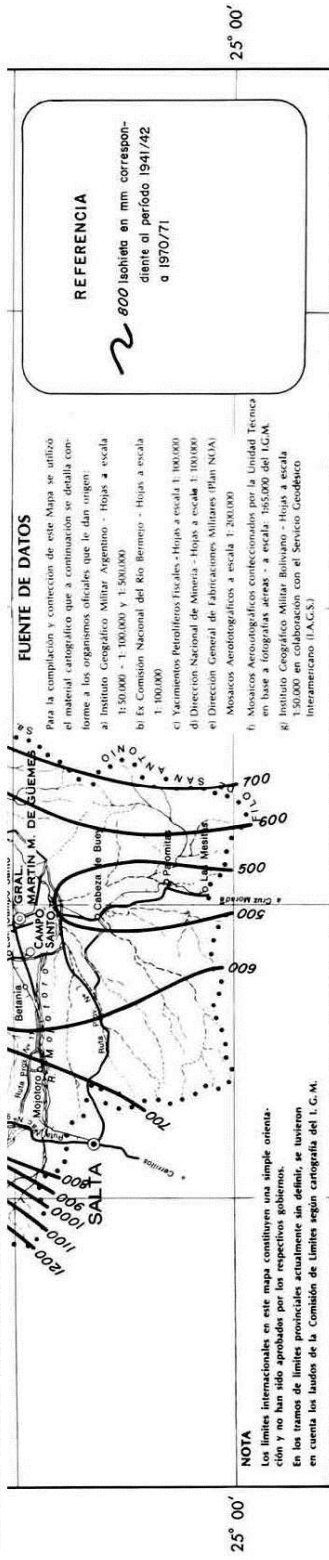
Crecimiento demográfico en la provincia de Jujuy

Área administrativa	Población				Distribución de la Población				Tasa de crecimiento de la población		
	1980	1991	2001	2010	1980	1991	2010	80-91	91-01	01-10	
TOTAL	410,008	512,329	611,888	673,307	100	100	100	100%	2.00%	1.80%	1.10%
Puna	29,157	35,490	39,337	42,541	7.1	6.9	6.5	6.3%	1.80%	1.00%	0.90%
Cochinoca	7,418	9,859	12,111	12,656	1.8	1.9	2.0	1.9%	2.60%	2.10%	0.50%
Rinconada	3,774	3,076	2,298	2,488	0.9	0.6	0.4	0.4%	-1.80%	-2.90%	0.90%
Santa Catalina	2,920	3,176	3,140	2,800	0.7	0.6	0.5	0.4%	0.80%	-0.10%	-1.30%
Susques	2,184	2,846	3,628	3,791	0.5	0.6	0.6	0.6%	2.40%	2.50%	0.50%
Yavi	12,861	16,533	18,160	20,806	3.1	3.2	3.0	3.1%	2.30%	0.90%	1.50%
Quebrada	28,186	30,821	31,721	34,373	6.9	6.0	5.2	5.1%	0.80%	0.30%	0.90%
Humahuaca	16,817	18,183	16,765	17,366	4.1	3.5	2.8	2.6%	0.70%	-0.80%	0.40%
Tilcara	7,159	8,463	10,403	12,349	1.7	1.7	1.7	1.8%	1.50%	2.10%	1.90%
Tumbaya	4,210	4,175	4,553	4,658	1.0	0.8	0.8	0.7%	-0.10%	0.90%	0.30%
Valles	214,340	293,436	374,576	419,385	52.3	57.3	61.5	62.3%	2.90%	2.50%	1.30%
El Carmen	44,023	62,291	84,667	97,039	10.7	12.2	13.9	14.4%	3.20%	3.10%	1.50%
Dr. M. Belgrano (1)	167,394	184,920	238,012	265,249	40.8	36.1	39.1	39.4%	2.90%	2.60%	1.20%
Palpalá (1)		43,521	48,199	52,631		8.5	7.9	7.8%		1.00%	1.00%
San Antonio	2,923	2,704	3,698	4,466	0.7	0.5	0.6	0.7%	-0.70%	3.20%	2.10%
Ramal	138,325	152,582	166,254	177,008	33.7	29.8	27.3	26.3%	0.90%	0.90%	0.70%
Ledesma	63,556	68,869	75,716	81,790	15.5	13.4	12.4	12.1%	0.70%	1.00%	0.90%
San Pedro	57,261	66,130	71,037	75,037	14.0	12.9	11.7	11.1%	1.30%	0.70%	0.60%
Santa Bárbara	15,815	15,607	17,115	17,730	3.9	3.0	2.8	2.6%	-0.10%	0.90%	0.40%
Valle Grande	1,693	1,976	2,386	2,451	0.4	0.4	0.4	0.4%	1.40%	1.90%	0.30%

Nota: Los departamentos de Dr. Manuel Belgrano y Palpalá fueron fusionados en 1980.

Fuente: Dirección Provincial de Planeamiento, Estadística y Censos.





ANEXO 6-1

Descripción Detallada de la Infraestructura de Agua Existente

Descripción del Sistema Existente

En la parte superior de la cuenca debido a que la economía es mayormente de subsistencia y ecoturismo, el consumo de agua es relativamente bajo para el análisis en cuestión, ya que no posee sistemas de riego para el desarrollo agrícola porque las zonas factibles de explotación son escasas.

Principalmente el sistema de uso de agua perteneciente a la cuenca del Río Grande se inicia en el Dique Derivador los Molinos enclavado en el Río Grande a la altura del paraje Reyes, su función es la de captar el agua del río y previa decantación entregarla al canal del Río Grande por donde es derivada a los Diques Las Maderas y La Ciénaga. El agua así captada en el Dique Los Molinos, llega hasta la Dársena de Unión donde se une con el Canal Río Perico para formar el Canal Matriz, el cual tiene un desarrollo de 36.6 km. Y una capacidad de conducción de 25 m³/seg.

El Dique el Típal emplazado sobre el Río Perico está destinado junto con sus obras complementarias, a captar el agua del río y luego de someterla a una decantación entregarla al Canal del Río Perico para ser conducido a los Diques Las Maderas y La Ciénaga a través de Canal Río Perico el cual tiene un recorrido de 7.5 Km.

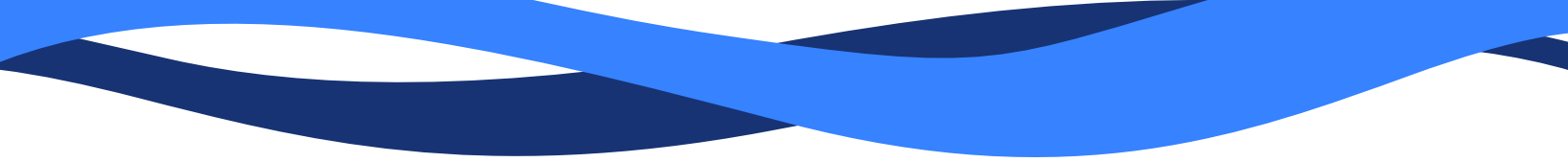
El Dique las Maderas es un dique lateral cuya alimentación la recibe a través del Canal Matriz y está destinado a regular los aportes al régimen natural de los ríos Perico y Grande para su aprovechamiento con fines de riego y generación de energía. Tiene una capacidad de embalse de 300 Hm³, siendo el cierre un dique de tierra de 93 m de altura y 450 m. de longitud de coronamiento. El espejo de agua a cota de vertedero tiene una superficie de 950 Has.

A los efectos de generar energía aprovechando el desnivel existente entre el embalse y el Río Las Pavas, de orden de los 120 m., para la conducción del agua se construyó una galería de presión revestida en hormigón de 3.500 m. de longitud y un diámetro interno de 3 m. Dicha galería tiene en la progresiva 140 una torre de compuertas y en la progresiva 3.260 una chimenea, nace un conducto blindado, revestido en acero, con una fuerte pendiente de 45°, que salva un salto de 80 m. y termina en el punto donde se bifurca la cañería para alimentar a las 2 turbinas de la central.

El embalse compensador Catamontaña es el que recibe la descarga de las aguas turbinadas por la Central Hidroeléctrica. Se encuentra sobre el Río Las Pavas y tiene una capacidad de almacenamiento de 1,5 Hm³. Su finalidad es compatibilizar e independizar los requerimientos de energía producida hidroeléctricamente con las necesidades de caudal de la zona de riego, posibilitando el funcionamiento en "pico" de la central durante las horas que se requieran.

El Canal Restitución es un canal revestido que arranca de la obra de riego del Dique Compensador y desemboca en el Río Perico, teniendo un desarrollo de 10,6 km. y una capacidad de conducción de 30 m³/seg. Su finalidad es alimentar los cuatros canales secundarios que arrancan del mismo permitiendo regar las zonas de Maderas I y Maderas II y derivar aguas hacia el río Perico.

Un comentario aparte merece el Dique La Ciénaga, dado que fue la primera obra de tierra construida en el país. Se encuentra en funcionamiento desde el año 1925. Tiene un espejo de agua de 23 Has. Con una capacidad de almacenaje de 21 Hm³, una altura total desde la fundación de 26 m y una longitud de



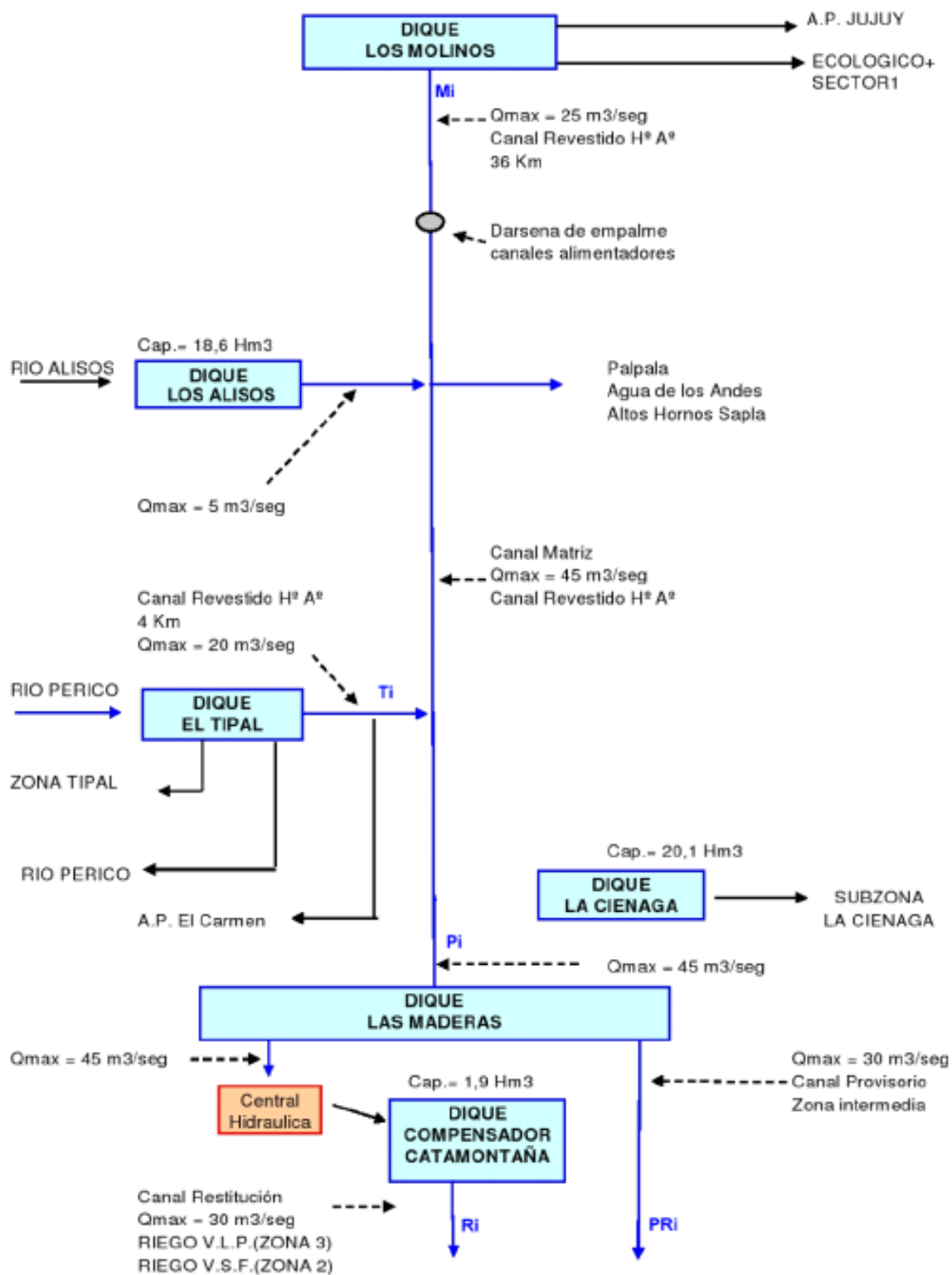
coronamiento de 1.050 m. Su llenado se produce con el agua del Río Perico y eventualmente del Río Grande, durante los meses de Septiembre a Diciembre.

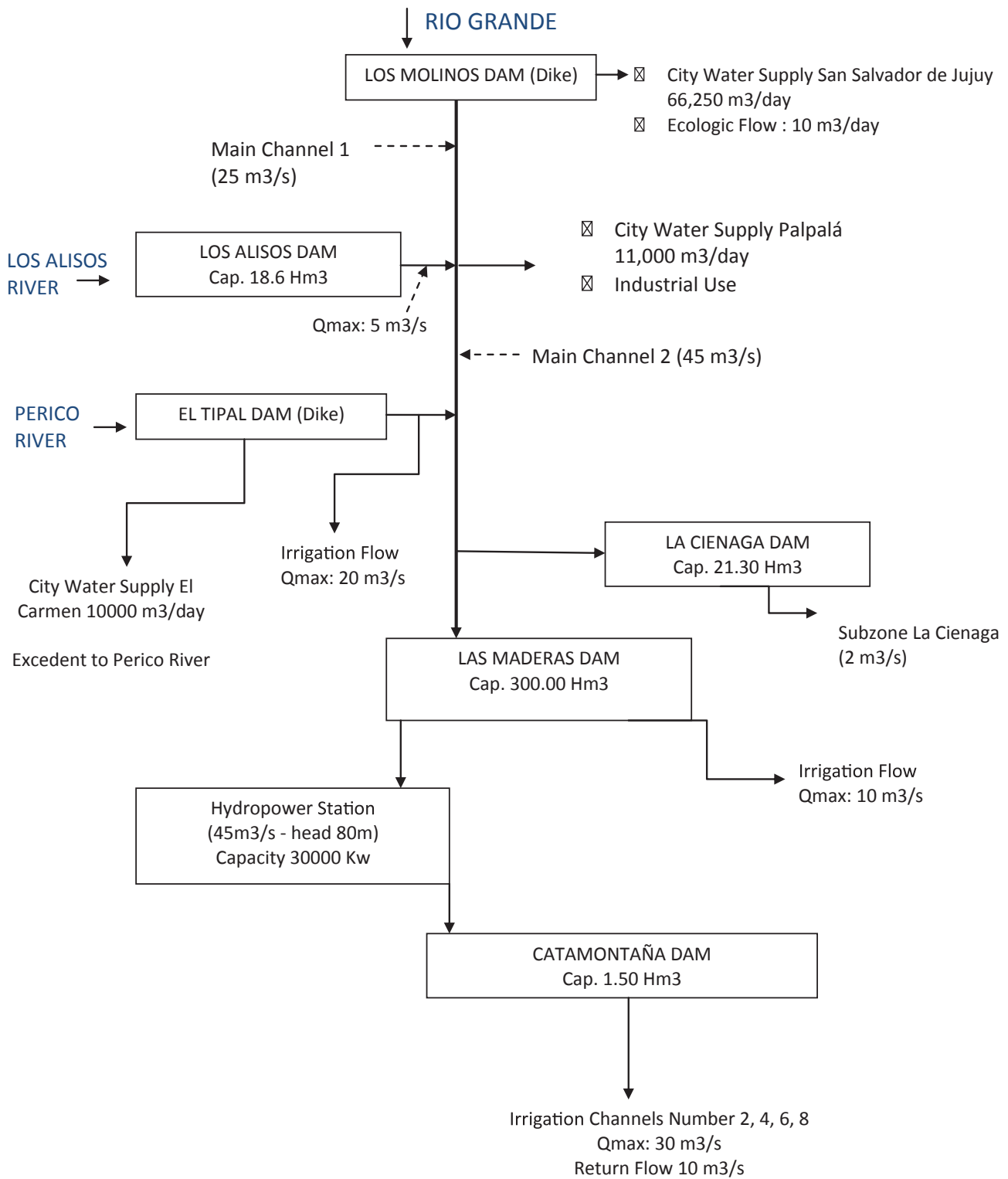
El agua embalsada es descargada por cañería al canal de salida, de allí al A° Las Pircas y luego de ser desarenada es entregada a la red de riego.

Las distintas obras que comprenden este aprovechamiento y que se indican en el gráfico adjunto, son las siguientes

1. DIQUE DERIVADOR LOS MOLINOS
2. CANAL RÍO GRANDE
3. DIQUE DERIVADOR EL TIPAL
4. CANAL RÍO PERICO
5. CANAL MATRIZ
6. DIQUE LAS MADERAS
7. TÚNEL DE CONDUCCION
8. CENTRAL HIDROELÉCTRICA
9. DIQUE COMPENSADOR
10. CANAL DE RESTITUCIÓN
11. RED DE RIEGO
12. DIQUE LOS ALISOS Y ACUEDUCTO PALPALA
13. DIQUE LA CIENAGA

**DIAGRAMA DE FLUJO
CAUDALES Y CAPACIDADES**





ANEXO 6-2

Cálculos de los Requerimientos de Riego para Cultivos

Irrigation Requirements - Current

PLACE	Irrigation Area (Ha)				Total Ha
	Tobacco Ha	Sugar Cane Ha	Other Ha	Total Ha	
Carmen (L0)	12392.80	16466.30	150.00	14189.10	
Palpalá (9)	1058.50	183.00	200.00	1441.50	
San Antonio (11)	598.10	0.00	65.00	604.10	
Dr. M. Belgrano (8)	182.00	0.00	49.00	227.00	
San Pedro (12)	66.00	17382.50	25.00	17473.50	
Total	14238.40	19211.80	485.00	33935.20	
%	42%	57%	1%	100%	

Sugar Cane

	J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETR (mm)	127.7	112.3	101.7	70.5	55.8	44.4	47.7	62.9	80.7	112.5	121.2	129.6	129.6	1,067.1
Crop coefficient %	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.60	0.80	1.00	1.20	1.00	0.60	0.40	0.40	
ETCrop (mm)	0	0	0	35	28	27	38	63	97	113	73	52	52	525
EI Perico Long Term Median Rainfall	144	133	133	38	7	2	3	1	3	12	34	103	612	612
Scale factor	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Effective precipitation (Pe) mm	86.3	80.0	79.6	22.5	4.3	0.9	1.5	0.4	1.8	7.2	20.6	62.0	62.0	367.2
Irrigation Need with Pe m3/Ha	0	0	0	127	236	257	367	625	950	1,053	521	0	0	4,137
Irrigation Area (Ha)	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212	19,212
Total Irrigation Need with Pe	0	0	0	2,444,317	4,539,940	4,941,659	7,044,583	12,016,789	18,253,708	20,228,873	10,006,658	0	0	79,476,527
Daily Avg Irrigation Volume with Pe	0	0	0	81,477	146,450	164,722	227,245	387,638	608,457	652,544	333,555	0	0	

Tobacco

	J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETR (mm)	127.7	112.3	101.7	70.5	55.8	44.4	47.7	62.9	80.7	112.5	121.2	129.6	129.6	1,067.1
Crop coefficient	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	1.2	1.0	0.5	0.5	0.5	
ETCrop (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.1	44.1	96.8	112.5	60.6	64.8	64.8	397.9
EI Perico Long Term Median Rainfall	143.9	133.4	132.6	37.5	7.1	1.5	2.5	0.6	3.0	12.1	34.4	103.4	103.4	612.1
Scale factor	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Effective precipitation (Pe) mm	86.3	80.0	79.6	22.5	4.3	0.9	1.5	0.4	1.8	7.2	20.6	62.0	62.0	367.2
Irrigation Need with Pe m3/Ha	0	0	0	0	0	0	176	437	950	1,053	400	28	28	3,043
Irrigation Area (Ha)	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238	14,238
Total Irrigation Need with Pe	0	0	0	0	0	0	2,501,972	6,217,909	13,528,331	14,992,181	5,690,519	394,119	394,119	43,325,031
Daily Avg Irrigation Volume with Pe	0	0	0	0	0	0	80,709	200,578	450,944	483,619	189,684	12,714	12,714	

37%

Overall Irrigation Efficiency =

Total Monthly Demand (at the plant)	0	0	0	2,444,317	4,539,940	4,941,659	9,546,554	18,234,698	31,782,039	35,221,054	15,697,177	394,119	394,119	122,801,558
Total Monthly Demand at Water Source, with efficiency at 37%	0	0	0	6,606,263	12,270,109	13,355,836	25,801,499	49,282,968	85,897,401	95,192,037	42,424,803	1,065,186	1,065,186	331,896,102
Total Daily Demand (at the plant)				81,477	146,450	164,722	307,953	588,216	1,059,401	1,136,163	523,239	12,714	12,714	
Total Daily Demand at Water Source, with efficiency at 37%				220,209	395,810	445,195	832,306	1,589,773	2,863,247	3,070,711	1,414,160	34,361	34,361	

Projected Irrigation Water Demand 2051-2060

Irrigation Area (Ha)	Tobacco		Sugar Cane		Other		Total Ha
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
Carmen (10)	12,892.80	150.00	16,646.30	150.00	1,418.90	1,418.90	14,189.10
Palpaís (9)	10,583.50	183.00	200.00	200.00	3,441.50	3,441.50	3,441.50
San Antonio (11)	539.10	0.00	65.00	65.00	604.10	604.10	604.10
Dr. M. Beltramo (8)	182.00	0.00	45.00	45.00	277.00	277.00	277.00
San Pedro (12)	66.00	17,982.50	25.00	25.00	17,473.50	17,473.50	17,473.50
Total	14,238.40	1,921.80	485.00	485.00	3,993.20	3,993.20	3,993.20
%	0.42	0.57	0.01	0.01	1.00	1.00	1.00

	Sugar Cane												TOTAL
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
ETR (mm)	139.81	123.76	117.18	84.90	74.40	68.10	74.09	95.79	109.50	136.40	134.70	141.98	1300.61
Crop coefficient %	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.60	0.80	1.00	1.20	1.00	0.60	0.40	
ETCrop (mm)	0.00	0.00	0.00	42.45	37.20	40.86	59.27	95.79	131.40	136.40	80.82	56.79	680.98
2051-2060 rain: mean/month/mm	143.90	133.35	132.59	37.55	7.12	1.53	2.54	0.64	3.05	12.06	34.39	103.37	612.06
Scale factor	1.02	0.96	0.90	0.91	0.81	0.98	1.15	1.15	0.95	1.00	0.92	0.99	
Effective precipitation (Pe) mm	88.24	76.73	71.60	20.64	3.47	0.90	1.75	0.44	1.73	7.24	18.88	61.28	352.80
Irrigation Need with Pe m3/Ha	-	-	-	219.05	337.29	399.62	575.25	953.50	1296.66	1291.57	619.40	0.00	5692
Irrigation Area (Ha)	19212	19212	19212	19212	19212	19212	19212	19212	19212	19212	19212	19212	
Total Irrigation Need with Pe				4,208,417	6,480,006	7,677,457	11,051,683	18,318,514	24,911,207	24,813,339	11,899,768	0	109,360,391
Daily Avg. Irrigation Volume with Pe				140,281	209,032	255,915	356,506	590,920	830,374	800,430	396,659	0	

	Tobacco												TOTAL
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
ETR (mm)	139.81	123.76	117.18	84.90	74.40	68.10	74.09	95.79	109.50	136.40	134.70	141.98	1300.61
Crop coefficient %							0.40	0.7	1.2	1.0	0.5	0.5	
ETCrop (mm)							29.64	67.05	131.40	136.40	67.35	70.99	502.83
2051-2060 rain: mean/month/mm	143.90	133.35	132.59	37.55	7.12	1.53	2.54	0.64	3.05	12.06	34.39	103.37	612.06
Scale factor	1.02	0.96	0.90	0.91	0.81	0.98	1.15	1.15	0.95	1.00	0.92	0.99	
Effective precipitation (Pe) mm	88.24	76.73	71.60	20.64	3.47	0.90	1.75	0.44	1.73	7.24	18.88	61.28	352.80
Irrigation Need with Pe m3/Ha				142,338	142,338	142,338	276.9	666.1	1,296.7	1,291.6	484.7	97.1	4,115
Irrigation Area (Ha)	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	
Total Irrigation Need with Pe				1,40,281	2,09,032	2,55,915	3,56,506	5,90,920	8,30,374	8,00,430	3,96,659	0	58,592,143
Daily Avg. Irrigation Volume with Pe				379,137	564,953	691,663	1,309,739	2,423,992	3,907,531	3,766,626	1,693,793	120,564	

Overall Irrigation Efficiency =		37%	
Total Monthly Demand (at the plant)	0.0	0.0	167,952,534
Total Monthly Demand at Water Source, with efficiency at 37%	0.0	0.0	453,925,769
Total Daily Demand (at the plant)			44,609
Total Daily Demand at Water Source, with efficiency at 37%			120,564

ANEXO 9-1

Cálculos de Costo-eficiencia de las Opciones de Adaptación

Suministro de agua urbana - Opción 1		
Costo de capital unitario para la reducción de fugas	400	\$ per m ³ / día de ahorro
Ahorro de agua en San Salvador y poblaciones vecinas	24,253	m ³ / día ahorrado
Costo de capital del proyecto de rehabilitación	\$9,701,200	
Costo anual de mantenimiento	3%	del valor del activo
Tasa de descuento	10%	

Opción 1	Costo (\$)	Reducción en demanda no-satisfecha m ³	Costo de adaptación urbana, \$/m ³
PV	\$7,602,008	337,000,000	\$0.023
2010	\$0		
2011	\$0		
2012	\$0		
2013	\$0		
2014	\$1,616,867		
2015	\$3,330,745		
2016	\$3,427,757		
2017	\$582,072		
2018	\$582,072		
2019	\$582,072		
2020	\$582,072		
2021	\$582,072		
2022	\$582,072		
2023	\$582,072		
2024	\$582,072		
2025	\$582,072		
2026	\$582,072		
2027	\$582,072		
2028	\$582,072		
2029	\$582,072		
2030	\$582,072		
2031	\$582,072		
2032	\$582,072		
2033	\$582,072		
2034	\$582,072		
2035	\$582,072		
2036	\$582,072		
2037	\$582,072		
2038	\$582,072		
2039	\$582,072		
2040	\$582,072		
2041	\$582,072		
2042	\$582,072		
2043	\$582,072		
2044	\$582,072		
2045	\$582,072		
2046	\$582,072		
2047	\$582,072		
2048	\$582,072		
2049	\$582,072		
2050	\$582,072		
2051	\$582,072		
2052	\$582,072		
2053	\$582,072		
2054	\$582,072		
2055	\$582,072		
2056	\$582,072		
2057	\$582,072		
2058	\$582,072		
2059	\$582,072		
2060	\$582,072		
2061	\$582,072		
2062	\$582,072		
2063	\$582,072		
2064	\$582,072		
2065	\$582,072		

Riego - Opción 2					
	Cultivo	Área de riego	Costo de Capital/Área	Costo de Cap.	Duración (años)
Costo de capital para la superficie	Azúcar	19212	\$1,200	\$23,054,400	2
Sistema de riego por goteo	Tabaco	14238	\$2,400	\$34,171,200	10
Costo Anual de Mantenimiento		14238	\$200	\$2,847,600	
Tasa de descuento		10%			

Opción 2	Costo del Azúcar (\$)	Costo del Tabaco (\$)	Ahorro en Azúcar-Agua m³	Ahorro en Tabaco-Agua m³	Costo de la adaptación del azúcar, \$/m³	Costo de la adaptación del tabaco, \$/m³
Evaluación	\$81,900,805	\$74,224,126	2,005,421,667	987,745,000	\$0.041	\$0.075
2010	\$0		0	0		
2011	\$0		0	0		
2012	\$0		0	0		
2013	\$0		0	0		
2014	\$23,054,400	\$ 34,171,200	22,646,000	11,154,000		
2015	\$0	\$ 2,847,600	23,328,098	11,489,958		
2016	\$23,054,400	\$ 2,847,600	24,030,740	11,836,036		
2017	\$0	\$ 2,847,600	24,754,546	12,192,537		
2018	\$23,054,400	\$ 2,847,600	25,500,153	12,559,777		
2019	\$0	\$ 2,847,600	26,268,217	12,938,077		
2020	\$23,054,400	\$ 2,847,600	27,059,416	13,327,772		
2021	\$0	\$ 2,847,600	27,874,446	13,729,205		
2022	\$23,054,400	\$ 2,847,600	28,714,024	14,148,728		
2023	\$0	\$ 2,847,600	29,578,890	14,568,707		
2024	\$23,054,400	\$ 34,171,200	30,469,806	15,007,517		
2025	\$0	\$ 2,847,600	31,387,557	15,459,543		
2026	\$23,054,400	\$ 2,847,600	32,332,950	15,925,184		
2027	\$0	\$ 2,847,600	33,306,819	16,404,851		
2028	\$23,054,400	\$ 2,847,600	34,310,020	16,898,965		
2029	\$0	\$ 2,847,600	35,343,438	17,407,962		
2030	\$23,054,400	\$ 2,847,600	36,407,982	17,932,290		
2031	\$0	\$ 2,847,600	37,504,591	18,472,410		
2032	\$23,054,400	\$ 2,847,600	38,634,229	19,028,799		
2033	\$0	\$ 2,847,600	39,797,892	19,607,947		
2034	\$23,054,400	\$ 34,171,200	40,996,604	20,192,357		
2035	\$0	\$ 2,847,600	42,231,422	20,800,551		
2036	\$23,054,400	\$ 2,847,600	43,503,432	21,427,064		
2037	\$0	\$ 2,847,600	44,813,756	22,072,447		
2038	\$23,054,400	\$ 2,847,600	46,163,546	22,737,269		
2039	\$0	\$ 2,847,600	47,553,992	23,422,116		
2040	\$23,054,400	\$ 2,847,600	48,986,318	24,127,590		
2041	\$0	\$ 2,847,600	50,461,786	24,854,313		
2042	\$23,054,400	\$ 2,847,600	51,981,695	25,602,925		
2043	\$0	\$ 2,847,600	53,547,384	26,374,085		
2044	\$23,054,400	\$ 34,171,200	55,160,231	27,168,472		
2045	\$0	\$ 2,847,600	56,821,657	27,986,786		
2046	\$23,054,400	\$ 2,847,600	58,533,126	28,829,748		
2047	\$0	\$ 2,847,600	60,296,143	29,698,101		
2048	\$23,054,400	\$ 2,847,600	62,112,263	30,592,607		
2049	\$0	\$ 2,847,600	63,983,085	31,514,057		
2050	\$23,054,400	\$ 2,847,600	65,910,255	32,463,260		
2051	\$0	\$ 2,847,600	67,895,472	33,441,053		
2052	\$23,054,400	\$ 2,847,600	69,940,484	34,448,298		
2053	\$0	\$ 2,847,600	72,047,091	35,485,881		
2054	\$23,054,400	\$ 34,171,200	74,217,149	36,554,715		
2055	\$0	\$ 2,847,600	76,452,570	37,655,743		
2056	\$23,054,400	\$ 2,847,600	78,755,321	38,789,934		
2057	\$0	\$ 2,847,600	81,127,432	39,958,287		
2058	\$23,054,400	\$ 2,847,600	83,570,990	41,161,831		
2059	\$0	\$ 2,847,600	86,088,148	42,401,625		
2060	\$23,054,400	\$ 2,847,600	88,681,123	43,678,762		
2061	\$0	\$ 2,847,600	91,352,199	44,994,366		
2062	\$23,054,400	\$ 2,847,600	94,103,727	46,349,597		
2063	\$0	\$ 2,847,600	96,938,131	47,745,647		
2064	\$23,054,400	\$ 2,847,600	99,857,908	49,183,746		
2065	\$0	\$ 2,847,600	102,865,628	50,665,160		

