

Inventario de Gases de Efecto Invernadero y Estudios de Vulnerabilidad y Mitigación frente al Cambio Climático en la Argentina

Proyecto ARG/95/G/31 - PNUD - SECYT

Editado para CD ROM con el apoyo del Programa Especial sobre Medio Ambiente
de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires.



*Vulnerabilidad de los
oasis comprendidos
entre 29°S y 36°S
ante condiciones
más secas en
los Andes altos*

Proyecto ARG/95/G/31 - PNUD - SECYT

AYUDA

Ayuda para la navegación dentro del Proyecto

Botones de la barra superior:



Este botón sirve para visualizar sólo la página en pantalla.



Este botón despliega el índice sobre el lateral izquierdo de la pantalla.



Este botón despliega una representación pequeña de las páginas.



La herramienta con forma de mano desplaza la pagina en todas direcciones.



La 1ª lupa amplía, la 2ª reduce a voluntad el tamaño de la imagen.



Estos dos botones lo llevan al principio o fin del documento.



Estos dos botones retroceden o avanzan de a una pantalla por vez.



Estos dos botones repiten (en retroceso o avance) los últimos movimientos realizados.



El 1º botón es para ajustar la vista al tamaño de pantalla, el 2º para ver toda la página en pantalla y el 3º para ampliar a la medida del ancho de página.



Con este botón se efectúan las búsquedas de texto dentro del documento.

Las menciones de figuras, fotos, gráficos, cuadros o tablas **resaltadas en rojo** o con un **recuadro** en negro, son vínculos a aquello que se menciona en el texto. Para volver al mismo punto, pulsar en los títulos o epígrafes de lo que se está consultando; en caso de que no lo posean, hacer un click sobre la imagen o la parte superior de un cuadro o tabla, por ejemplo.

PROYECTO DE ESTUDIO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ARGENTINA

DIRECTOR: Vicente Barros - (UBA) (SECYT)
COORDINADORES: José A. Hoffmann - SECYT
Walter M. Vargas - (UBA) (SECYT)

DIRECTOR: Osvaldo F. Canziani - IEMA
COORDINADORA: María del Rosario Prieto - CRYCIT

PROFESIONALES
CONTRATADOS: Roberto M. Quintela
Darío Huggenberger

Reconocimiento

El Director del Subproyecto OASIS, Dr Osvaldo F. Canziani, desea agradecer, en primer lugar al Ingeniero Civil Roberto M. Quintela, a la Dra María del Rosario Prieto y a los Licenciados Roberto G. Herrera y Darío Huggenberger, así como a la Sra Elena Bulat, la eficiencia en el desarrollo de las tareas asignadas y su especial colaboración en la preparación de este Informe Final.

Desea expresar su agradecimiento a las instituciones provinciales y nacionales, oficiales y privadas, que permitieron acceder a la información sobre observaciones de campo y en estaciones fijas, así como a sus trabajos de estudio. Esta información permitió conocer los esfuerzos que el personal profesional y técnico de cada provincia realiza cada día, en beneficio de la región y sus recursos.

Desea agradecer, también al Dr V. Barros, Director del Proyecto País, a los Dres José J. A. Hoffmann y Walter M. Vargas, coordinadores del Proyecto País, por la colaboración prestada.

También se desean agradecer la colaboración del personal científico del CIMA y de colegas argentinos y chilenos, en la búsqueda de la bibliografía de referencia, en particular al Ingeniero Agrónomo Juan A. Forte-Lay, por su colaboración en el trabajo de climatología del agua en el suelo, que complementa el estudio del ciclo hidrológico del Proyecto OASIS.

Buenos Aires, Diciembre de 1997.

Resumen Ejecutivo

Los oasis pedemontanos están distribuidos en las Provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza, cuyas características geográficas, además de un marco un marco geomorfológico particular - una zona al abrigo de las masas de aire húmedas del Pacífico, por la intercepción de una de las cordilleras más alta del mundo, las mantienen suficientemente alejada de las fuentes de humedad atmosférica que proveen los grandes ríos de América del Sur; conforman una de las zonas áridas importantes de Argentina. El desierto del Cuyum, que significa "desierto espantoso", conoce los tipos de vida sustentada por la disponibilidad de agua sólo en los oasis pedemontanos.

La particularidad de estos oasis es que, como en el caso de los ríos de esta porción de Cuyo, ellos dependen de la fusión de las nieves de las altas cumbres de los Andes, al sur del paralelo 30°S. Esto es, depende de agua, diríamos "importada" cuyos procesos de formación son ajenos a los procesos atmosféricos que se registran sobre los llanos cuyanos y la precordillera occidental. Sobre estos llanos, las precipitaciones alcanzan valores por debajo de los 100 mm anuales, en el noroeste de La Rioja y San Juan, para exceder los 300 mm en el suroeste de la provincia de Mendoza. Su escasa nubosidad y una heliofanía marcadamente alta proveen condiciones de aridez, con masas de aire muy secas, cuyo contenido medio de humedad está lejos de las condiciones de bochorno, definiendo un área de condiciones bioclimáticas de buen confort humano. Sin embargo, en el verano suelen producirse tormentas intensas, con precipitaciones puntuales elevadas, que generan aluviones en la región precordillerana.

El agua ha sido el factor de sustentación de una producción agrícola-ganadera importante, cuya variación ha sido signada fundamentalmente por la disponibilidad y el manejo del recurso hídrico. A la ganadería para engorde, en campos beneficiados por los oasis, donde se desarrollaron grandes plantíos de alfalfa, se sucedieron diversos cultivos. La implantación de viñedos, cuyos vinos adquirieron buena reputación, inclusive en el orden internacional, ha identificado por años a la producción cuyana. Como consecuencia de períodos de crisis, las viñas comenzaron a ser reemplazadas por olivares, frutales y hortalizas, dando lugar a un nuevo desarrollo agroindustrial importante.

El agua de los ríos ha sido endicada y se han establecido usinas hidroeléctricas, importantes para la región, particularmente en Mendoza, aún a pesar de que su contribución -unos 750 Mw- es pequeña, comparada con la energía generada en otros puntos del país. Además, el sistema de los ríos y oasis permite satisfacer con exceso las necesidades de una población en crecimiento continuo que, por ejemplo, hace de Mendoza, el cuarto agrupamiento poblacional de Argentina.

El crecimiento y la alta densidad poblacional, con una oferta de agua de unos 600 litros por día y por persona, particularmente en Mendoza, hacen crítico el futuro de disponibilidad de este recurso. Además, la habilitación de tierras marginales, en los bordes de los oasis, ha aumentado el uso de agua, cuya fuente de origen, sea ella superficial o subterránea, es básicamente el mismo: fusión de nieves andinas. Esta situación se agrava por el uso para riego y llenado de piscinas que se hace de ese agua potable, especialmente porque son escasas las mediciones de consumo, lo que hace crítico el control de uso y abuso. Además, no se dispone, como en otros países, de agua "cruda" para riego o anegamiento de parcelas de parques y jardines.

El agua es también utilizado por la industria, aunque su consumo está por debajo de 2% del total de agua potable producida por las empresas oficiales y los grupos privados. Las agroindustrias, básicamente, las envasadoras, sidreras, etc forman parte de estos usuarios, pero no son tan contaminantes del recurso como lo son la industria petrolera y la metalmecánica.

Los requerimientos crecientes de agua han sido solucionados con la perforación de pozos, aunque aparentemente, no se ha tomado conciencia completa de que sus caudales dependen, también, de las nieves andinas. Esta situación se ha agudizado con la extensión de actividades agrícolas en los bordes de los oasis.

Las nevadas dependen de las condiciones de circulación atmosférica sobre el océano Pacífico. Los trabajos de investigación muestran que las mayores nevadas, sobre las altas

cumbres andinas, particularmente al sur del paralelo 30°S, se registran en invierno, alcanzando valores de hasta 3.000 mm de precipitación. Como se ha dicho, también se registran precipitaciones sobre los territorios de las provincias involucradas, sin embargo, sus cantidades son pequeñas y los balances hídricos son definitivamente deficitarios. Se trata de una región árida por definición.

El subproyecto planteó la necesidad de investigar cuáles serían las consecuencias del calentamiento climático terrestre sobre las disponibilidades del recurso hídrico en la región de los oasis. A este respecto, el estudio realizado pone en evidencia, una vez más, la importancia de otros procesos, como lo son los relativos a la variabilidad climática. Definidos que fueron los distintos procesos que hacen a la temperie y al clima, evaluados los diversos trabajos de investigación disponibles y, simultáneamente, encarados estudios concomitantes, dentro de la implementación de este subproyecto, se confirmó que los caudales de los ríos y los oasis dependen de factores ajenos a la propia región cuyana y que el Fenómeno ENOS (El Niño - Oscilación del Sur) incide marcadamente sobre la disponibilidad / carencia de nevadas. Se analizaron las condiciones de sequía registradas por causa del ENOS, proceso diferente al cambio climático, aún cuando podría ocurrir que el calentamiento terrestre pudiera influir sobre sus frecuencias e intensidades. Al respecto, se destacó que, en el estado actual del desarrollo científico, no existen aún trabajos o investigaciones que puedan avalar tal posibilidad.

Además, a pesar de las limitaciones de los modelos de circulación general de la atmósfera para generar escenarios climáticos futuros, se tomaron del Informe del Grupo de Trabajo I "Aspectos Científicos del Cambio Climático" del IPCC, los valores posibles de temperatura y precipitación, para los años 2025 y 2050. De esa manera, en función de posibles valores futuros, se observó, que sobre esta región cuyana, la sequedad ambiental podría aumentar, de manera que las condiciones de evaporación en los oasis aumentarían, disminuyendo la eficiencia en el uso del recurso originado en las altas cumbres. Con respecto a las condiciones en la cordillera, es evidente que el calentamiento global tendería a fundir los glaciares andinos, durante el siglo XXI. Ello conduciría a que los niveles mínimos de cobertura nívea tenderían a elevarse, con implicaciones sobre las condiciones de fusión estival.

El Informe incluye una serie de medidas que deberían tomarse ya, particularmente en lo que concierne a la disponibilidad de observaciones para mejorar la información sobre los procesos ambientales y realizar el monitoreo del cambio climático y, también, de la variabilidad climática, proceso este que ya se ha hecho sentir en la región. Las medidas incluyen un llamado de urgencia porque los niveles de decisión -oficiales y privados- apoyen las medidas y reconozcan que, desde hace años, la comunidad científica nacional ha enfatizado la necesidad de las acciones que se reiteran y refuerzan, a la luz de las experiencias derivadas del accionar del IPCC.

EXECUTIVE SUMMARY

The foothill oases are located in the provinces of La Rioja, San Juan and Mendoza, whose geographic characteristics, besides a special geomorphologic scenario -an area protected from humid air masses from the Pacific by one of the highest mountain ranges in the world, seclude said provinces from atmospheric humidity sources provided by the large South American rivers thus forming one of the major arid zones of Argentina. The desert of Cuyum -meaning "dreadful desert"- features the types of life supported by water only in the foothill oases.

The particularity of such oases is that, just as the rivers in this area of Cuyo, they depend on snow melting from the Andean mountain tops, to the south of parallel 30°S. This means "imported" water whose formation is alien to the atmospheric processes taking place on the flatlands of Cuyo and the western *precordillera* (area of lower mountains). On such plains, rainfall amounts to less than 100 mm a year, in the northwest of La Rioja and San Juan, and exceeds 300 mm in the southwest of the province of Mendoza. Insufficient clouds and a markedly strong sunlight cause aridness conditions, with masses of very dry air, whose mean humidity content is far from suffocating situations, defining a bioclimate suitable for human beings. However, in summer intense storms occur, with high specific rainfall, generating alluvions in the region of the *precordillera*.

Water has supported substantial agriculture and stock breeding, whose diversity has mainly relied on water availability and management. Fatstock breeding in fields benefitting from the oases was one of the first activities and as large alfalfa plantations developed various crops were later introduced. The introduction of large vineyards, whose wines won a good reputation even in the international arena, has for years characterized Cuyo's production. As a consequence of subsequent crises, the vines started to be replaced by olive groves, fruits and vegetables, which gave rise to a new relevant agroindustrial development.

The rivers have been dammed and hydroelectric power plants of great importance for the region have been built, particularly in Mendoza, even in spite that its contribution -about 750 Mw - is small compared to the power generated in other areas of the country. Also, the rivers and oases system allows to meet in excess the needs of a continuously growing population. This has enabled Mendoza to rank fourth - countrywise- as regards population settlement.

Growth and the high population density, with a water supply of about 600 liter a day per person, particularly in Mendoza, render critical the future availability of such resource. Also, settlements in areas around the oases have increased the use of water, whose origin -either superficial or underground- is basically the same: Andean snow melting. The situation worsens because drinking water is used for irrigation and swimming pools, especially because consumption is usually not measured, which calls for a control of excessive use. Another factor is that no "untreated" water is available for irrigation or watering of parks and gardens.

Water is also used by the industry, although its consumption is below 2% of the total drinking water produced by official companies and private groups. Agroindustries, basically bottling firms, cider manufacturers, etc. are among such users, although they do not pollute the resource as much as the oil and metalmechanic industries.

Wells have been perforated to meet growing water requirements, although full awareness has not been reached regarding the fact that such wells also depend on the Andean snow. Such situation has worsened with the expansion of agriculture in the edges of the oases.

Snowfalls depend on atmospheric circulation conditions over the Pacific Ocean. Research has shown that the strongest snowfalls on the Andean mountain tops, particularly south of parallel 30° S occur in winter, reaching up to 3,000 mm. As already mentioned, snowfall also occurs over the territories of the provinces involved but amounts are small and hydric balances are definitely unfavorable; an arid region by definition.

The subproject considered the need to research the consequences of global warming on water availability in the oases region. In such respect the study proves once again the importance of other processes, e.g. those related to climate variation. Having defined the various processes related to atmospheric conditions and climate, and reviewed available papers, and at the same time having approached other works as part of this subproject, it was confirmed that the volumes of rivers and oases depend on factors alien to the Cuyo region and that the ENOS Phenomenon (El Niño - Oscilacion del Sur) has a marked impact on the availability/lack of snowfall. Drought conditions recorded in relation to ENOS were analyzed, this being a process different from climate change, although it might happen that global warming could influence the frequency and intensity of droughts. In such respect it was pointed out that under present scientific development conditions, no works or research exist to support such possibility.

Also, in spite of limitations of the atmospheric general circulation models to generate future climate scenarios, possible temperature and rainfall figures for the years 2025 and 2050 were taken from Work Group I Report "Scientific Aspects of Climate Change" of the IPCC. Thus, as a function of possible future values, it was noted that over the Cuyo region, environmental dryness and evaporation could increase, decreasing efficiency in the use of the resource from mountain tops. As for the conditions in the Andes, it is clear that global warming would tend to melt the Andean glaciers during the 21st. century. This would cause minimum levels of snow cover to increase, with an impact on summer melting conditions.

The report includes a series of immediate measures to be taken, particularly regarding observations to enhance the data available on environmental processes and carry out the monitoring of climate change and, also climate variation, a process that is already being felt in the region. Measures include an urgent summons to official and private decision makers to provide support and recognize that for many years now, the local scientific community has emphasized the need for such actions. Such need is presently strengthened in the light of the experiences resulting from the IPCC action.

Informe Final

1. Introducción

Este Sub-proyecto conforma la realización de uno de los estudios de vulnerabilidad asociados al Proyecto ARG - 95 / G 31 / A / IG / 99: "Inventario de Gases de Efecto Invernadero y Estudios de Vulnerabilidad y Mitigación frente al Cambio Climático, en la Argentina"., que es conocido, también, como Proyecto País. Este nombre deriva del compromiso que cada país ha adquirido frente a la comunidad internacional al adherir a la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCCNU)

El objetivo principal de la CMCCNU, según resulta de su Artículo 2, es, inter alia:

"...lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas con el sistema climático..."

Esto significa que las actividades humanas, al afectar las condiciones ambientales vinculadas con el equilibrio del sistema climático, compuesto por el Sol, la Atmósfera y la Superficie Terrestre (con sus diversas particularidades: continentes, océanos, hielos, etc), están originando una modificación del clima terrestre que, de manera general, se asimila a un aumento de la temperatura sobre la superficie del planeta, pero que, por la naturaleza íntima de los procesos atmosféricos, involucra también una serie de cambios en las variables que definen el clima terrestre en general y a los climas regionales en particular.

En este contexto, al convenir sobre la necesidad de estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero, esta Convención Internacional indica que ese nivel de estabilización debiera lograrse en un plazo suficiente para:

"permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible"

Los compromisos que emanan de la Convención, conducen a todas las Partes signatarias, *habida cuenta de sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades de desarrollo, nacionales y regionales*, a cumplir con una serie de responsabilidades que, entre otras, involucran:

- i) la elaboración, actualización periódica, publicación y facilitación a la Conferencia de las Partes, de inventarios nacionales de las emisiones antropógenas y de la absorción por los sumideros de los gases de efecto invernadero (exceptuando los controlados por el Protocolo de Montreal);
- ii) la formulación, aplicación, publicación y actualización regular de programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas de mitigación y de adaptación adecuadas al cambio climático.

La formulación de estos compromisos resultaría incompleta sin la mención de otros compromisos que emanan de la CMCCNU, particularmente porque ellas son de interés directo de las autoridades y la comunidad cuyanas. En efecto, la Convención plantea, además:

- a) *la necesidad de cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático; desarrollar y elaborar planes apropiados para la gestión, entre otros, de los **recursos hídricos y la agricultura**;*
- b) *tener en cuenta, en la medida de lo posible, las consideraciones relativas al cambio climático en sus **políticas y medidas sociales, económicas y ambientales pertinentes**;*
- c) *emplear métodos apropiados, por ejemplo para estudios de evaluación de impacto, formulados y determinados a nivel nacional o regional, y orientados a **reducir al mínimo** los efectos adversos del cambio climático en la economía, la salud pública y la calidad del medio ambiente, y para **obtener los beneficios** que pudieran resultar del calentamiento terrestre, en proyectos o medidas emprendidos por las Partes **para morigerar el cambio climático o adaptarse al mismo**;*
- d) *promover y apoyar el intercambio pleno, abierto y oportuno de la información pertinente de orden científico, tecnológico, técnico, socio-económico y jurídico sobre el sistema y el cambio climáticos; **promover y apoyar el monitoreo de las variables involucradas, la investigación y la educación, capacitación y la sensibilización del público** respecto del cambio climático, y estimular la participación más amplia posible en ese procesos, incluyendo a **organizaciones no gubernamentales -universidades e instituciones privadas, industria, comercio y movimientos participativos, entre ellas**.*

Estas referencias sucintas sobre los objetivos de la Convención Marco sobre Cambio Climático están orientadas fundamentalmente a informar a los tomadores de decisión, oficiales y privados, de las provincias involucradas, sobre otros aspectos de las responsabilidades asumidas por la Nación.

En relación con esta cuestión es oportuno destacar que la comunidad científica internacional, responsable de la elaboración del Segundo Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), considera que la tendencia observada en el último siglo, conduce hacia un calentamiento progresivo de la superficie terrestre, esto es a un Cambio Climático.

El desarrollo de este Subproyecto que, de aquí en más, identificaremos como Subproyecto OASIS, está dirigido a la realización de un nuevo análisis de toda la información disponible -ambiental, económica y social- relativa a la región cuyana que abarcan las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza, entre los paralelos 29°S y 36°S y, sobre la base de posibles escenarios futuros, buscará definir las acciones que deberían adoptar los gobiernos provinciales, para que el desarrollo de las actividades en los oasis pedemontanos prosiga de manera sostenible.

A este respecto, los informes del IPCC, preparados a solicitud de los órganos subsidiarios de la CMCCNU, proveen, tanto a especialistas como a tomadores de decisión, referencias importantes sobre los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas naturales, los sistemas manejados por el hombre (p.e agricultura y forestación), la industria y el transporte, y también con información muy útil sobre tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático, así como con metodologías para la evaluación de impactos (ver en la bibliografía las referencias a los documentos del IPCC)

Finalmente, la existencia de otros procesos ambientales, como los resultantes de la variabilidad climática, en particular del Fenómeno llamado ENOS -de El Niño y la Oscilación del Sur- han conducido a la ineludible urgencia de considerarlo, debido tanto a su contemporaneidad como a su marcada importancia sobre los recursos hídricos de los oasis pedemontanos, y porque ya se hace necesario también adoptar medidas en relación con sus impactos.

2. Planteamiento de la cuestión y metodología

Un estudio de vulnerabilidad de esta naturaleza y envergadura involucra una actividad definitivamente interdisciplinaria, dentro de la cual deben conjugarse aspectos científicos con cuestiones sociales y económicas y, también culturales. Con el objeto de abarcar de la mejor manera posible la interdisciplinariedad involucrada, se decidió la constitución un equipo de tres profesionales especializados en los aspectos atmosféricos, hidrológicos y socio-económicos e históricos de esta cuestión.

A manera de apoyo técnico, se planteó la necesidad de disponer de los servicios de dos especialistas, también de nivel universitario, que cooperaron en la búsqueda de material-datos observacionales de la región y de fuera de ella, datos sustitutivos (proxy data), información sobre producción, etc, y con las tareas de computación. Se consideró, además, la necesidad de un cierto apoyo secretarial, básicamente temporario, para el equipo.

Constituido el equipo, se asignaron las tareas dentro de cada área y se fijó el método de trabajo, que consistió en:

- i) revisar toda la información disponible (básica y procesada) en las provincias involucradas y en las instituciones oficiales y privadas vinculadas a los aspectos ambientales y socio-económicos de los problemas a estudiar.
- ii) la ejecución de la tarea i) condujo a la planificación de las encuestas a realizar y, lógicamente, a la programación de viajes y visitas a distintas instituciones nacionales y provinciales
- iii) se planificaron intercambios entre los especialistas de las distintas áreas y los técnicos, para cuya implementación se previeron reuniones y visitas y, para buena parte de ellos, se previó el intercambio de correspondencia -incluyendo transmisión de información mediante diskettes.
- iv) los técnicos fueron encargados de la colección de todos los datos observacionales disponibles, tanto en las instituciones involucradas, como en publicaciones del Servicio Meteorológico Nacional, Agua y Energía, Consejo Federal de Inversiones, EVARSA, etc, y también en la Internet.
Además, establecidas las metodologías de cálculo, ellos cooperaron con el procesamiento de la información requerida.
- v) se asignó a cada especialista la responsabilidad de revisar la bibliografía sobre las distintas áreas componentes e intercambiarla.
- vi) el personal fue encargado de elaborar informes de progreso sobre las tareas asignadas y de transmitirlos al director del subproyecto para análisis y comentarios. Esos informes, que incluyen trabajos especiales como los estudios sobre las relaciones entre precipitaciones, a ambos lados de la cordillera y los caudales; los balances hídricos en la región, etc, serviría para la producción de los informes de progreso y para confeccionar el informe final.
- vii) con la colaboración de todo el equipo, el director del subproyecto quedó a cargo, de la elaboración de las recomendaciones y del diseño de medidas de adaptación ante un posible cambio climático.

3. Descripción de la región y sus problemas

La unidad geográfica conocida como Cuyo es una región árida constituida morfológicamente por valles longitudinales extensos y anchos y valles transversales estrechos y por bolsones y llanuras suavemente onduladas que se extienden hacia el este. Desde el desarrollo de las primeras poblaciones indígenas, hace más de 12.000 años, la zona habitable del “Cuyum” (que significa “Desierto Espantoso”), o país de las arenas, fue conocida como la “Región de los Oasis”. Esas civilizaciones, como las poblaciones actuales, dependieron de la disponibilidad de agua en los “oasis” para satisfacer sus necesidades de todo tipo.

Desde el inicio de la colonización española y, unos siglos más tarde, a fines del siglo XIX, cuando en Argentina se registra una inmigración masiva, el accionar de los ‘extranjeros’ condujo a la introducción de diversas actividades productivas que, por sus características e intensidad, eran extrañas al entorno ambiental original. Primero la ganadería, luego la producción agrícola y después las actividades industriales, generaron una marcada alteración en el equilibrio natural autóctono y condujeron a la creación de nuevos entornos ambientales, manejados por el hombre.

Así, el desarrollo de la región cuyana debió asentarse sobre la conservación y el uso eficiente del agua, recurso escaso, e imprescindible. Sin embargo, los estudios disponibles muestran que los habitantes de la región no han

profundizado suficientemente los conocimientos que les permitirían aprovechar óptimamente al agua. Es decir que aquello que debiera ser un ejemplo paradigmático, en cuanto concierne al uso racional de los oasis pedemontanos, aún no ha sido logrado (*Capitanelli et al, 1983*).

Este estado de cosas se ha hecho más evidente cada vez que las anomalías climáticas fueron causa de situaciones críticas, a lo largo de la historia política, social y económica de la región. Sequías históricas, como las registradas en 1886-87 y en 1893 y las nevadas muy escasas de 1908 y 1916, y los reducidos volúmenes de nieve observados en la década 1960-1970, han producido estragos importantes. Sin embargo, el tesón de sus habitantes y el retorno a las condiciones ambientales “normales” de la región, particularmente en los Andes Altos, permitieron revertir esas situaciones críticas.

Puesto que el sistema productivo cuyano es altamente sensible a las alteraciones en la frecuencia e intensidad de las nevadas en los Andes Altos, habida cuenta de otros factores concurrentes, como por ejemplo: población, hábitos de vida, extensión, diversificación e intensificación de los cultivos, etc, la cuestión de la vulnerabilidad del sistema resulta del efecto o impacto combinado e integrado de todos estos factores.

En un futuro próximo, esas anomalías climáticas, que se alternan con las condiciones medias “normales” sobre la región, podrían -habida cuenta del calentamiento terrestre- transformarse en una **tendencia** que obligaría a la adopción de medidas de control y adaptación mucho más completas y complejas que las medidas “temporarias” tomadas en situaciones de cambios temporales, en ocasión de, por ejemplo, una sequía. En tales condiciones potenciales, los niveles de decisión deberán coordinar su accionar con la comunidad científica, con el fin de encarar soluciones permanentes.

Si bien en los casos anteriores de deficiencia hídrica, las condiciones de mercado permitieron absorber partes de esas pérdidas, inter alia mediante incrementos de precios; los nuevos conceptos de defensa ambiental y desarrollo sostenible y la competitividad y agresividad de los mercados recomiendan que los niveles de decisión puedan informarse con la antelación debida sobre los impactos posibles que el cambio del clima podría producir en la comunidad regional, su economía y su seguridad.

Es con respecto a estos efectos que la Convención Marco sobre Cambio Climático y sus Organos Subsidiarios de Asesoramiento Científico y Tecnológico y de Implementación (respectivamente SBSTA y SBI, de sus abreviaturas inglesas) y el ya mencionado IPCC, anticipan la necesidad de adoptar medidas apropiadas para el monitoreo del clima, la realización de estudios de vulnerabilidad y de mitigación y el diseño de estrategias de adaptación.

Por otro lado, la variabilidad climática ya se ha hecho y se hace sentir periódicamente en la Región. Aún cuando no se dispone de información sobre los posibles efectos del calentamiento terrestre sobre la variabilidad climática, la propia definición de la misma, esto es: la alternancia entre el “clima normal” y un conjunto de condiciones climáticas diferentes pero también recurrentes, sobre una región dada

del planeta, conduce a pensar que la variabilidad climática subsistirá en un planeta más cálido. Además, las experiencias resultantes de los impactos de la variabilidad climática constituyen una información anticipada e importante sobre cuales serían los efectos probables que tendría un cambio climático regional.

En este contexto, los tomadores de decisiones, tanto del ámbito gubernamental como el privado, deberán tomar conciencia de que **el clima es sólo uno** de los factores ambientales que integra el conjunto de componentes a tener en cuenta para lograr condiciones de desarrollo sostenible. Además, deberá tomarse en cuenta que, como ha venido sucediendo en las últimas décadas, los efectos del calentamiento terrestre conducirán a condiciones ambientales más críticas, porque las tendencias del cambio climático muestran un incremento de las condiciones extremas (sequías, inundaciones, tormentas, etc) y porque la variabilidad climática podría exacerbarse con el calentamiento de la Tierra - hecho que aún no está científicamente fundado.

Además, debido a que las poblaciones aumentan en número y se extienden hacia áreas críticas, los impactos de la variabilidad y el cambio climáticos se harán sentir más intensamente, esta es la razón por la cual los organismos y/o comisiones de planificación deberán contar, mucho más que lo que pudieron necesitarlo en períodos precedentes, con un asesoramiento científico y tecnológico que conduzca a la doble tarea de prevenir condiciones de desastre y tomar provecho de los beneficios que, para ciertas regiones de Argentina, tendrían ambos procesos climáticos. En este contexto, el presente estudio de vulnerabilidad proveerá las herramientas del caso.

Con ellas, y con el asesoramiento continuo de los especialistas de cada actividad, los niveles de decisión, sean oficiales o privados, involucrados en la planificación y el desarrollo, deberán ordenar los usos de la tierra y del agua, prever una zonificación agrícola diseñada tomando en cuenta, entre otros, los escenarios ambientales que se prevén y disponer un ordenamiento territorial consistente con las previsiones de disponibilidad de los recursos naturales, sólo así se hará realidad el futuro desarrollo sostenible de la región de Cuyo en estudio.

4. Marco científico y técnico

Los Gobiernos Provinciales y las Entidades Privadas de las provincias involucradas, disponen de un número importante de estudios y trabajos sobre las condiciones actuales de desarrollo. El nivel científico-técnico y la idoneidad de los especialistas dedicados al estudio de la problemática ambiental cuyana avalan su calidad. Esto es válido tanto con respecto a los que se agrupan en los Institutos y Centros de Investigación de las Universidades, nacionales y privadas, y del CONICET, como en lo que hace a las actividades de numerosos especialistas independientes.

Ellos se han ocupado y continúan desarrollando importantes tareas en las distintas actividades interdisciplinarias involucradas con el quehacer ambiental. La realización de numerosas reuniones nacionales e internacionales con especialistas de Chile (por la similitud de los problemas en ambas vertientes de la Cordillera de los Andes), generalmente asociadas con el registro de situaciones críticas para las comunidades chilena y cuyana, han expuesto abundantemente los problemas ambientales de Cuyo, inter alia, los relativos al clima y sus variaciones.

Los entornos profesionales siempre estuvieron decididos a apoyar a los niveles de decisión, para lograr el desarrollo de la región no sólo en función del hecho económico, sino también en función de una utilización racional de los recursos disponibles y una información apropiada de los distintos escenarios ambientales. Sin embargo, la falta de decisiones políticas apropiadas y el hecho que esos procesos adversos fueron siempre temporarios, cercenaron, lamentablemente, todo intento de una acción continua para lograr la implementación cabal y completa de sistemas y medidas orientadas a la densificación apropiada de redes de observación biogeofísicas y de sistemas de monitoreo.

Esto no niega la importancia de redes y sistemas desarrollados para fines específicos (p.e. sistemas de alerta hidrometeorológica), en alguna de las provincias involucradas, sólo desea destacar el hecho que hay mucho que hacer todavía, para lograr la información observacional necesaria y suficiente para definir los mesoclimas y lograr una mejor zonificación de los cultivos de la región -tal y como ocurre, por

ejemplo, en otras zonas áridas del planeta (p.e. en Israel), y para poder hacer el monitoreo de los recursos atmosféricos e hidrológicos, particularmente ante las perspectivas de un cambio climático regional.

La falta de planes de desarrollo, científica y tecnológicamente avalados, combinada con el hecho que no todos los esfuerzos fueron cabalmente integrados y la naturaleza de las brechas existentes, han disminuido sensiblemente la eficacia de los esfuerzos realizados.

Por otro lado, aunque en el país existen estudiosos del problema del cambio climático, las actuales limitaciones de los Modelos Generales de Circulación de la Atmósfera (MGCs) para suministrar proyecciones a escala regional, no han permitido aún disponer de escenarios futuros apropiados.

5. Objetivo del subproyecto “Oasis”

Como se ha dicho, este Estudio de Vulnerabilidad no busca soluciones de carácter temporario, sino que se pretende establecer los lineamientos de la acción continua que exigen los nuevos factores que deben manejar las autoridades y los promotores del desarrollo regional, para hacer frente a las consecuencias socio-económicas de las tendencias hacia un calentamiento global. Como ya se ha indicado, se deberán sumar a estos factores las consecuencias de expansiones (i.e. poblacional y productiva), que podrían plantearse al margen de los límites posibles, específicamente los correspondientes a la disponibilidad hídrica.

Claro está que la exacerbación observada de la variabilidad climática deberá ser tomada también en consideración, habida cuenta de los recientes desarrollos científicos y operacionales, particularmente en lo que respecta al Fenómeno ENOS.

Este sub-proyecto pretende que todo el bagaje de información y conocimientos ya disponibles, y los que se han desarrollado durante su ejecución, pueda ser utilizado apropiadamente, tanto para tomar provecho oportuno de los beneficios de posibles cambios climáticos regionales como para morigerar sus también posibles efectos adversos. Además, y por sobre todas las cosas, para hacer comprender que la integración del conocimiento científico en la toma de decisiones que, desde antiguo, constituye un hecho común en los países desarrollados del mundo, **es una necesidad ineludible en las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza.**

Al cumplirse, hace poco tiempo, los primeros cinco años de la reunión cumbre, se ha mencionado que la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, 1992), ha fallado en hacer comprender a los países en desarrollo, que la viabilidad de las decisiones políticas en el área ambiental depende de las fundamentaciones, científicas y técnicas, como elementos ineludibles para alcanzar el desarrollo sostenible.

Este informe pretende que la dirigencia política cuyana adhiera cabalmente al principio de sustentabilidad científica que ineludiblemente deben poseer las decisiones políticas modernas.

5.1. Detalle de los objetivos

Como se ha dicho ya, la región llana y árida ubicada al pie de los Andes, en Argentina, entre los 29°S y los 36°S, muestra la particularidad de numerosos oasis, que poseen un valor económico importante para la población de más de un millón y medio de habitantes que habita esta región del país.

Las principales actividades humanas están dirigidas hacia diversas agroindustrias cuyas materias primas se cultivan en las tres provincias enmarcadas por los paralelos geográficos indicados -esto es Mendoza, San Juan y La Rioja-. Estos cultivos, así como otras actividades, por ejemplo: las involucradas en el desarrollo de asentamientos humanos, la producción de energía hidráulica y la ganadería, dependen del recurso hídrico de esos oasis.

Los cursos de aguas superficiales y las aguas subterráneas, que se originan, fundamentalmente, en la fusión de las nieves de las cumbres andinas, contribuyen de manera importante a resolver los pro-

blemas derivados de las deficiencias hídricas. Como se verá más adelante, el aporte hídrico de las precipitaciones aunque pequeño resulta en algunos casos un importante complemento de los caudales superficiales y subterráneos producidos por la fusión estival, particularmente en algunos valles de La Rioja.

Estos oasis y las condiciones climáticas locales han permitido el desarrollo de especies y variedades vegetales foráneas -debiendo notarse que prácticamente no existe ecosistema vegetal local alguno. Los productos respectivos

constituyen la materia prima de un núcleo de industrias nacionales importantes, con un impacto definido en el comercio internacional de Argentina. En este contexto, la participación de Cuyo en el MERCOSUR, y en el comercio exterior argentino con el resto del mundo, es de gran importancia. Los frutos de la región -ajos de exportación- como algunos de sus productos elaborados, como los vinos y aceites, por no mencionar otros, han adquirido relevancia mundial por su calidad.

Una reciente decisión de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, conducirá a la promulgación de una ley de denominación de origen de los vinos, que será una herramienta comercial importante para el sector vitivinícola, cuya mayor área sembrada corresponde a la región de Cuyo con alrededor del 90% de los viñedos argentinos (*La Nación, 9 Diciembre 1997*). A este respecto, deberá tenerse en cuenta que la viabilidad de un aumento creciente de la producción no dependerá exclusivamente del esfuerzo de los viñateros, sino, también, de las disponibilidades del recurso hídrico.

Es por estos y otros usos del agua que este estudio de vulnerabilidad está orientado hacia los siguientes objetivos:

- (a) Tratar de definir las condiciones ambientales que aseguran el suministro de agua en el área de los oasis y prever medidas para el uso óptimo de este recurso, a la luz de los impactos posibles de un cambio climático regional y a la utilización de asesoramiento operacional, basado en predicciones del Fenómeno de El Niño.
- (b) Analizar los problemas registrados entre 1969 y 1970, que condujeron a una seria crisis económica en la región y estudiar las características multifacéticas (ambiental, social, económica y, de ser posible cultural) de la crisis del 70.
- (c) Revisar los impactos pasados de la variabilidad climática -fenómeno ENSO fundamentalmente sobre las nevadas invernales en los Andes Altos y, consecuentemente, sobre la disponibilidad de agua y las actividades humanas en la región.
- (d) En función de los cambios actuales -alternancias debidas al ENSO- y los que se puedan prever en los escenarios ambientales de la región -según puedan derivarse para la región de los actuales modelos de circulación general de la atmósfera- y, también, tomando en consideración, simultánea y congruentemente, las tendencias poblacionales, de la producción de recursos naturales renovables y energía y el suministro de servicios para las poblaciones futuras de la región, estimar la vulnerabilidad de las condiciones socio-económicas, como resultado de la integración del cambio climático a las demás variables locales del desarrollo.
- (e) Diseñar medidas que permitan a los niveles de decisión definir las alternativas de un desarrollo sostenible en la región, compatible con las condiciones derivadas del cambio climático.

Además, este estudio de vulnerabilidad pretende orientar a las autoridades provinciales y a la actividad privada de la región sobre la urgente necesidad de mejorar la densidad y calidad de las estaciones de observación de variables climáticas, de manera poder realizar un monitoreo cabal de las mismas, habida cuenta, como lo ha mencionado el IPCC, que:

- (1) Cambios relativamente pequeños en el clima pueden causar grandes problemas con respecto a los recursos hídricos de muchas regiones, en especial en las regiones áridas y semiáridas.**

- (2) En los países en desarrollo, es necesario llevar a cabo evaluaciones completas de la sensibilidad de los recursos hídricos, especialmente aquellos localizados en regiones áridas y semiáridas ambientalmente sensibles, donde el potencial de conflictos, asociados entre el desarrollo de sistemas de recursos hídricos bajos y las demandas crecientes, es elevado.**

- (3) Se necesitan estudios que conduzcan a un mejoramiento de los procedimientos para la operación de los sistemas de gerenciamiento del agua, tomando en consideración la incertidumbre respecto del clima.**

Se suman, a estos planteamientos del IPCC, los propios de la comunidad científica y tecnológica de la región cuyana, puesta en evidencia en diversos eventos nacionales e internacionales, tales como las Jornadas “El Agua y el Futuro Regional -Mendoza, 10-14 Abril 1973, indicando la urgencia por que las provincias involucradas auspicien y promuevan actividades de investigación interdisciplinarias entre las cuestiones inherentes al clima y su variabilidad y cambio y las propias de las diversas actividades ambientales y productivas que lleva a cabo la comunidad regional.

Este subproyecto está íntimamente ligado con la necesidad del desarrollo sostenible, que constituye el “leiv motiv” del accionar actual de los gobiernos de las distintas regiones del mundo. Consecuentemente, el estudio de vulnerabilidad resultante debería hallar repercusión inmediata en los niveles de decisión de las provincias que podrían ser afectadas, particularmente Mendoza, donde se ubica el 78% de las tierras irrigadas por los oasis pedemontanos y se mantiene una misma relación aritmética con respecto a los porcentajes de producción agroindustrial y a la producción de energía hidroeléctrica.

En fin, los resultados de este estudio de vulnerabilidad serán de interés para los organismos no gubernamentales de la región y del país y, también, del Grupo de Trabajo sobre Impactos del Cambio Climático del IPCC, en la elaboración de su Tercer Informe de Evaluación.

6. El marco ambiental

Dentro de este capítulo se revisarán las cuestiones ambientales relativas a los recursos atmosféricos e hídricos de las provincias de la región cuyana que abarca este estudio. A este respecto, la utilización de algunos términos específicos, a los que el uso indiscriminado ha conducido a interpretaciones no coincidentes con su real significado, sugiere la conveniencia de definirlos, con el objeto de evitar errores de interpretación en la consideración de los asuntos que plantea el segmento siguiente del presente estudio de vulnerabilidad. Las definiciones correspondientes son las que siguen.

Tiempo meteorológico o Temperie

Estado de la atmósfera en un instante dado, definido por los diferentes elementos meteorológicos (temperatura, estado del cielo, vientos, humedad, etc).

Clima

Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas a largo plazo (valores medios, varianzas, probabilidades de valores extremos, etc) de los elementos meteorológicos en dicho lugar.

Variabilidad Climática

Este término se utiliza para indicar desviaciones de las estadísticas climáticas a

largo de un período de tiempo dado (un mes, una estación o un año determinados), respecto a estadísticas climáticas a largo plazo, relacionadas con el mismo período del calendario.

La variabilidad climática se mide por esas desviaciones, denominadas habitualmente anomalías. Es decir que, como ocurre con el fenómeno ENSO, variabilidad climática significa la alternancia entre el "clima normal" y un conjunto de condiciones climáticas recurrentes, sobre una región dada del mundo.

Cambio Climático

En el sentido más general, el término "*cambio climático*" abarca todas las formas de variación climática (esto es cualquier diferencia entre las estadísticas a largo plazo de los elementos meteorológicos calculados para distintos períodos, pero respecto de la misma zona) haciendo caso omiso de su naturaleza estadística o su causa física. El cambio climático puede resultar de factores tales modificaciones en la emisión solar, cambios a largo plazo de los elementos orbitales de la Tierra (excentricidad, oblicuidad de la elíptica, precesión de los equinoccios), procesos naturales en el interior del sistema climático o un forzamiento antropogénico (por ejemplo, un aumento de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono o de otros gases de efecto invernadero).

En posesión de estas definiciones pasamos a considerar la situación atmosférica e hídrica de la región en estudio.

6.1. El Clima de Cuyo

A manera de introducción, como lo mencionan Capitanelli R. et al, en un trabajo publicado por el IPGH, en su Revista Geográfica Nº 95, de Enero de 1982, acotamos que la extremidad meridional de América del Sur, a partir del Trópico de Capricornio, se asemeja a una península de la parte septentrional maciza del continente, que penetra como una cuña entre el Atlántico y el Pacífico, definiendo su inserción en un hemisferio predominantemente marítimo. Pero la península es demasiado extensa y los rasgos climáticos de continentalidad se manifiestan muy pronto hacia su interior, reforzados por un marco estructural caracterizado por montañas y mesetas muy elevadas, en su borde occidental, que descienden en forma de planicies, de elevación decreciente hacia el oriente.

El fraccionamiento en células de la franja de altas presiones subtropicales es la consecuencia primera del escenario geomorfológico descripto -anticiclones subtropicales del Atlántico y Pacífico, separados por la baja presión del noroeste argentino y su vaguada. Las condiciones de circulación que ellos originan hacen que la región de Cuyo posea condiciones climáticas particulares, definidas por una marcada aridez, como consecuencia de la escasez de precipitaciones sobre la misma, pero beneficiada por otros factores climáticos, los que definen el régimen de nevadas en las altas cumbres de los Andes. Dentro de este marco, pasamos a analizar, de manera somera, las características principales de las distintas variables que definen al clima de esta región.

6.1.1. Vientos

Por su ubicación relativa respecto de las dos células anticiclónicas, la región de Cuyo se halla bajo el área de influencia del anticiclón del Pacífico, que al este de los Andes origina vientos predominantes del sector sur durante todo el año, hasta aproximadamente el meridiano 67°W, entre los paralelos 27°S y 37°S. Esos vientos atraviesan a esta región árida de valles en el oeste y de bolsones y llanuras suavemente onduladas hacia el este. En la parte sur de esta zona prevalecen los vientos del sur y en la parte norte vientos del sector este. Estas direcciones corresponden exactamente al trazado de las isobaras, pues la posición media anual del centro del anticiclón del Pacífico está entre los 15°S y los 30°S. En el verano se registra una mayor frecuencia y una velocidad más alta de los vientos del sur, en correspondencia con un gradiente de presión mayor hacia la baja presión continental. También en verano se suma una componente del este, mientras que en invierno se agrega una del oeste; sin embargo, la velocidad del viento de esta zona es generalmente muy baja, a través de todo el año, observándose un número grande de calmas. La [Tabla 1](#) incluye las velocidades medias por dirección (vm) y la frecuencia de los vientos en un conjunto de las pocas estaciones meteorológicas principales y climatológicas de la región.

6.1.1.1. Viento Zonda

El campo de presión y ciertas características termodinámicas definen una particularidad eólica de la región de Cuyo que, genéricamente, toma el bien conocido nombre de viento zonda o, simplemente, Zonda. Este fenómeno de mesoescala ha sido estudiado de manera completa, mediante el análisis espacio - temporal de las condiciones sinópticas de superficie y altura y termodinámicas, asociadas a un caso típico de Zonda identificando los efectos térmicos y la extensión del proceso, hacia los llanos orientales, en Mendoza. Además, ha definido las condiciones de variación térmica, vis à vis de la variación horaria climática, que corresponde a distintas intensidades de zondas. (*Norte F.A, 1986*).

6.1.2. Nubosidad

La nubosidad, que juega un papel importante en la heliofanía efectiva de una región, muestra para la región de Cuyo menos del 40% de cielo cubierto anualmente desde Mendoza hacia el norte y, particularmente, en la región al oeste de la pre-cordillera que, climáticamente pertenece a la región desértica del norte de Chile (20% en Punta de Agua -28°38' S y 68°39'W, con una elevación de 2.600 m). La variación de la nubosidad a lo largo del año, muestra condiciones de cobertura casi uniformes a lo largo del año, con variaciones del orden del 10% en la región de Cuyo.

Esto ocurre porque San Juan y Mendoza tienen un régimen subtropical continental de nubes, debido a que no reciben la influencia marítima del Atlántico, por la gran distancia que las separa de las costas y, tampoco la influencia del Pacífico, debido a la gran altura de la cordillera, en esas latitudes. La variación anual es típica para una región subtropical con el máximo en invierno. Sin embargo, la extensión y los valores absolutos son mucho menores que los que se observan en las costas del Pacífico o el Atlántico y los extremos ocurren algo más temprano (máximo en Mayo-Junio y mínimo en Noviembre-Diciembre). Los valores medios suman sólo un 30 - 40% y la variación anual alrededor del 10%. La disminución de la nubosidad con la elevación puede verse en una sección vertical, a la latitud de la Ciudad de Mendoza, según se muestra en la [Tabla 2](#).

El paso de Cristo Redentor, que está expuesto al régimen nuboso del Pacífico, muestra un incremento en la nubosidad, con el mismo valor anual de Mendoza. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los bajos grado de nubosidad observados en ambos lados de los Andes, en Argentina y Chile, no están conectados el uno al otro sino que están interrumpidos por los mayores grados de nubosidad que se observan en la parte central de la cordillera. Esta diferencia en nubosidad explica los procesos de precipitación que se observan en las altas cumbres, y que dan origen a las nieves que proveen el recurso hídrico en ambas vertientes del macizo andino.

6.1.3. Heliofanía

La heliofanía efectiva, esto es la duración del registro de la luz solar directa que alcanza la superficie es una variable importante en los procesos biofísicoquímicos que se registran en las plantas y en sus frutos y que constituyen una de las bases de las importantes agroindustrias que se desarrollan en la región. De acuerdo con las latitudes entre las cuales se ubica la región cuyana, la duración astronómica de la heliofanía está comprendida entre 13 horas 40 minutos, en el norte de Cuyo y 14 horas 35 minutos en el sur, para el mes de Diciembre, y decrece de 10 horas 33 minutos en el extremo norte a 9 horas 46 minutos en el extremo sur de la región, en el mes de Junio.

Los datos de heliofanía efectiva tomados en Mendoza muestran que el promedio anual está por encima de 3.000 horas (aproximadamente unas 8 horas diarias), o sea entre el 65 y 75% del máximo posible de insolación. Durante el verano este valor alcanza a 11 horas diarias en San Juan y Mendoza, un incremento que hace de estas dos provincias, juntamente con Neuquén sean las que disponen de la mayor heliofanía efectiva en toda América del Sur. En el invierno, la disminución de la duración astronómica de la heliofanía, de norte a sur se ve aumentada por el aumento en la nubosidad, en la misma dirección. Sin embargo, la ya mencionada baja nubosidad que se observa en Cuyo hace que la heliofanía efectiva mantenga todavía valores altos en esta región, condición ambiental que favorece a las actividades agrícolas.

6.1.4. Temperatura

La temperatura media anual de la región se halla entre aproximadamente los 10°C en los bajos de la cordillera y aumenta hacia el este, sobre las llanuras onduladas entre 10°y 15°C en Mendoza y entre 10°y 18°C en el norte, particularmente en lo llanos de La Rioja. Las temperaturas medias de enero y julio, tomadas como representativas de las condiciones térmicas de verano e invierno, muestran para las mismas áreas, valores que oscilan entre unos 14°C en los bajos cordilleranos hasta 24°C en Mendoza y 28°C al este de La Rioja. Durante el mes de julio las temperaturas aumentan longitudinalmente de oeste a este, desde valores cercanos a los 0°C en el piedemonte hasta unos 9°C al este de Mendoza y unos 12° en el límite oriental entre La Rioja y Catamarca. En cuanto a las temperaturas extremas, las máximas absolutas se ordenan entre 30° en el extremo oeste de Cuyo a los 45°C y más en el extremo oriental de mendoza y San Juan y en la mitad oriental de La Rioja. Las temperaturas mínimas absolutas se hallan entre -15°C y -20°C en el extremo oeste de Cuyo y en el sur de Mendoza, aumentando hacia el este en la parte norte de Mendoza y en una estrecha banda en el centro de San Juan y La Rioja, donde se registran temperaturas comprendidas entre -15°C y -10°C; mientras que en el este de San Juan y La Rioja las temperaturas mínimas absolutas van de -10°C a -5°C.

Las condiciones de aridez de Cuyo hacen que la amplitud anual media oscile entre 40°C y 45°C en el oeste y entre 45°C y 50°C en el este. con bolsones de 50°C y más en el extremo sureste de Mendoza. La [Tabla 3](#) muestra valores de temperaturas medias mensuales y extremas de varias localidades de la región.

Como es de esperar, las regiones climáticas principales son también perceptibles en las temperaturas del suelo. Cuanto más seca -y por lo tanto más desnuda de vegetación- y cuando más cálido sea el clima, más la temperatura del suelo excede a la temperatura del aire, medida en la casilla meteorológica, Por sus características de aridez, en la región de Cuyo la temperatura del suelo excede a la del aire en 2,5°C. Este es un dato importante en la evaluación de los balances hídricos de la región.

6.1.5. Humedad Atmosférica

En cuanto a la disponibilidad de humedad atmosférica, está justificado que, siendo las fuentes principales de la América del Sur extratropical, las tierras bajas de Bolivia y Brasil, el Atlántico y

cuencas de drenaje de los ríos Paraná y Paraguay, y debido a que la región está completamente protegida de la influencia del Pacífico, la región de Cuyo muestra valores bajos de humedad del aire.

Las tensiones de vapor en las llanuras pre-andinas, entre 25° y 35° de latitud oscilan entre 17 y 10 milibares, es decir por debajo del valor de 19 mb, definido como valor umbral del discomfort humano. En el invierno hay una clara división entre Cuyo y el resto de las regiones de Argentina, con 7 milibares de tensión de vapor, mientras que hacia el norte del Chaco los valores oscilan entre 12 y 14 milibares y entre 16 y 17 milibares en el noreste de Argentina y en Paraguay. El verano muestra un aumento en la humedad atmosférica, que alcanza alrededor de los 15 milibares en Cuyo, Chaco y la región pampeana. Estos bajos valores tienen un gran significado bioclimático, debido que, como se ha dicho, están por debajo del umbral de discomfort (bochorno) para el ser humano.

A manera de referencia, la [Tabla 4](#) incluye los valores de tensión de vapor y humedad relativa correspondientes a las estaciones meteorológicas de los aeródromos de las ciudades capital de cada provincia.

6.1.6. Evaporación

La evaporación es otra variable importante en las diversas actividades humanas influenciadas por la temperie y el clima. Sin embargo, resulta difícil estimar o determinar la evaporación potencial de grandes áreas con observaciones dispersas y escasas. Además, las pocas mediciones existentes han sido obtenidas mediante métodos diferentes, con sus inherentes fuentes de error incontrolable, lo que hace aún más difícil sus comparaciones. De todas maneras, se han realizado cálculos en base a las observaciones meteorológicas de un período casi secular, para disponer de valores aproximados de la evaporación potencial, en las capitales de las provincias involucradas. El Anexo A a este Informe incluye las referencias del caso.

La información disponible con respecto a observaciones realizadas con tanque de evaporación tipo "A" SMN (del Servicio Meteorológico Nacional) indica que, para la región de Cuyo, la evaporación anual mínima se registra en junio con un valor de 100 milímetros, en los valles longitudinales muy secos de la cordillera, hasta aproximadamente el sur de San Juan. La evaporación potencial anual más alta -entre 1.600 y 1800 milímetros- se encuentra en la parte más continental de los subtropicos, que incluye a San Juan, donde la gran deficiencia de saturación está asociada con una radiación solar intensa. Estos máximos se registran en Diciembre, como resultado de la decisiva influencia de la radiación sobre la evaporación en latitudes subtropicales. El Anexo A, arriba mencionado, incluye, también los resultados de mediciones con tanque tipo "A" SMN, en dichas capitales.

Estos balances hacen evidente las condiciones de aridez de la región ya que los balances hídricos de toda la región, salvo en el extremo sur de la Provincia de Mendoza (balance correspondiente a la localidad de San Rafael), muestran un serio déficit de agua, indicativo del hecho conocido que no habría agricultura posible sin riego.

6.1.7. Precipitación

Como se ha venido diciendo, uno de los factores determinantes de la productividad en la región de Cuyo es el agua proveniente de los deshielos estivales en las altas cumbres andinas. Las nevadas son el resultado de procesos climáticos que no se registran sobre la región sino en su límite oeste, sobre esas altas cumbres, como se verá más adelante.

Sin embargo, la región dispone de precipitaciones propias, pero, al encontrarse comprendida en la región más seca del extremo sur de América del Sur, que se extiende entre el hiperárido desierto de

Atacama a La Rioja y San Juan, a través del occidente de Catamarca, muestra valores anuales que en el noroeste de La Rioja y San Juan resultan inferiores a los 100 milímetros, para aumentar sólo hasta unos 300 milímetros hacia la región oriental de estas dos provincias. Esta circunstancia hace que los valores mensuales que se registran en el verano, cuando hay una circulación predominantemente meridional y las masas de aire que originan las lluvias tienen origen tropical resulten del orden de 20 a 40 mm y aún mucho menores, particularmente en La Rioja.

Más al sur, sobre las estribaciones orientales de los Andes y hacia el este de Cuyo, las precipitaciones aumentan, observándose totales anuales que llegan, particularmente en el suroeste de la provincia de Mendoza a exceder los 300 milímetros. La [Tabla 5](#) provee información sobre las precipitaciones medias mensuales y anuales en un conjunto seleccionado de estaciones meteorológicas de la región cuyana.

Los meses de verano están caracterizados por tormentas intensas que, en casos extremos producen deslizamientos importantes en los cerros precordilleranos y granizadas que causan grandes daños a las regiones de agricultura intensiva, como ocurre en Mendoza. El Anexo B contiene un estudio sobre estas tormentas, con especial mención del caso registrado el 4 de enero de 1970.

6.2. Los Recursos Hídricos de Cuyo

Como ya ha sido mencionado, los recursos hídricos de la región cuyana dependen fundamentalmente de la fusión de las nieves de las altas cumbres, pero disponen también de ciertos aportes reducidos, originados en las precipitaciones que se registran a lo largo del año sobre las distintas y muy diferenciadas cuencas hidrológicas de la Región Cuyana. Estos recursos hídricos están integrados, como se ha mencionado, por un conjunto de corrientes superficiales y de aguas subterráneas.

Los ríos nacen en la zona montañosa y al llegar a la llanura interrumpen sus caudales debido al intenso aprovechamiento que se hace de ellos, para fines de riego. Aunque suele mencionarse la existencia de redes de canales cuya traza puede originarse durante el período aborigen -como una herencia de las culturas pre-incaicas del norte- el mayor desarrollo de canales y acueductos y, en el sentido más completo del término, la explotación más intensiva del agua es un hecho cronológicamente reciente (ver capítulo 8). Su importancia en la economía de la región es fundamental puesto que, como veremos más adelante, la marcada deficiencia hídrica hace imposible el desarrollo de cultivos de secano.

La explotación más reciente de las aguas subterráneas compensan las deficiencias de irrigación con aguas superficiales. A este respecto, los trabajos realizados por la Dirección General de Agua Subterránea, de La Rioja (*Crespo, H.E, 1982*) y por el Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS) (*Victoria J.A. et al, 1995*), proveen información sobre el estado del conocimiento de los recursos de agua subterránea en esta provincia. Además, en el desarrollo del subproyecto, se realizó un análisis de la situación hidrogeológica de la región, cuyos resultados se agregan en el Anexo "C" a este Informe.

Como puede observarse en conjunto de cuadros que van del [Nº 1](#) al [Nº 5](#), se dispone información de buena parte de los ríos cuyanos que, respecto de cada provincia, se mencionan en los párrafos que sigue. La información respectiva ha sido obtenida de publicaciones diversas, como las del Consejo Federal de Inversiones -CFI- la Comisión Económica para América Latina -CEPAL- y Agua y Energía Eléctrica, hoy privatizada y de resúmenes estadísticos de las Direcciones de Hidráulica o equivalentes de las provincias respectivas y de la publicación Estadísticas Hidrológicas, 1994, editada por EVARSA (Evaluación de Recursos S.A.), entidad encargada de supervisar y compilar las observaciones generadas por la ex- Agua y Energía y otras entidades, básicamente provinciales. Los datos de precipitación han sido tomados, también, de publicaciones del Servicio Meteorológico Nacional y de algunos trabajos de investigación disponibles e incluidos en la bibliografía sobre la cual se realizó la evaluación en la que se apoya este estudio de vulnerabilidad.

A manera de información general, se incluye a continuación una somera descripción de los sistemas fluviales de las tres provincias de Cuyo - La Rioja, San Juan y Mendoza, incluidas en este estudio de vulnerabilidad.

6.2.1. Hidrología de La Rioja

Para comprender la condición hidrológica de la provincia debe mencionarse que el espacio riojano configura uno de los ámbitos más desérticos del país, donde un puñado de oasis pequeños, sedientos debido a la escasa humedad reinante, se ahogan entre los arenales y pedregales de los campos y bolsones que indican los murallones serranos. Las cantidades de precipitación anual son muy bajas, alcanzando algo más de 300 milímetros en la Sierra de Ambato, en la Ciudad de La Rioja y en el archipiélago serrano del sureste; de 200 a 300 milímetros en los faldeos orientales del Cordón de Velazco y 100 a 200 milímetros en el bolsón de Chilecito y los faldeos del nevado de Famatina. La escasez general de lluvias en los valles y planicies da lugar a un drenaje irregular, con marcadas alternancias, de caudales estivales mayores que generan aluviones peligrosos en los piedemontes, donde forman algunas lagunas.

A diferencia de lo que ocurre con las masas de aire del Pacífico, que aportan suficiente humedad y, consecuentemente, mayores nevadas en las cumbres aledañas a la Provincia de Mendoza, la escasa humedad aportada por los vientos de altura provenientes del oeste sobre las altas cumbres que marcan el límite occidental de La Rioja limitan las cantidades de nieve disponibles y, consecuentemente las cantidades de agua fundida. Esas corrientes de los oeste se transforman en vientos descendentes, turbulentos y desecantes, como el Troyano, semejante al Zonda, que descienden a gran velocidad través de la quebrada de su nombre. Los cerros presentan pisos térmicos que van desde el templado al frío níveo, descendiendo el límite inferior de la nieve perenne -5.000 metros- en las vertientes australes, donde pueden encontrarse manchas blancas de nieve, en los lugares sombríos y abrigados.

Las cumbres del Famatina conservan la nieve gracias a su altura, pudiéndose reconocer dos horizontes de condensación y precipitaciones, uno inferior, de densos bancos de nubes apoyadas sobre la vertiente oriental -generalmente ausentes en las horas cálidas del día- y otro superior, donde se producen precipitaciones níveas escasas, sin alcanzar a formar verdaderos glaciares. La fusión de estas nieves nutre a una serie de ríos que drenan hacia el este, cuyas aguas dan al valle Antinaco - Los Colorados y riegan el mayor oasis agrícola de la provincia -Chilecito- donde las condiciones de suelo y clima conjugan características propicias para su desarrollo. Contrariamente, las pendientes occidentales de Velazco generan escasos torrentes aislados, por no disponer de precipitaciones suficientes.

El área de alimentación de la cuenca de Chilecito abarca unos 1000 kilómetros cuadrados y recibe alrededor de 200 milímetros anuales de precipitaciones que benefician las laderas montañosas de la cuenca, determinando un caudal específico de unos 2 m³/seg. Los ríos que componen este subsistema hidrográfico tienen un caudal reducido de creciente estival y no logran unirse a un colector común, perdiéndose, generalmente, en los campos áridos. La [figura 1a](#) provee una imagen del sistema hidrográfico de la provincia de La Rioja.

6.2.2. Ríos de la Provincia de San Juan

En el norte de la provincia, el río Bermejo, proveniente de La Rioja, donde recibe también el nombre de Vinchina, cruza el territorio sanjuanino por un valle árido, con un cauce casi siempre seco y sin hacer prácticamente aporte alguno a la vida de la región. En cambio, los otros relativamente grandes ríos, como el Jachal y el San Juan tienen una incidencia positiva en las áreas del medio ambiente provincial que atraviesan.

El Jachal, que se origina como río Blanco, en La Rioja, avanza en la depresión que forman la cordillera y la precordillera, para unirse al arroyo Iglesias y

atravesar la precordillera por una quebrada de erosión que el río ha labrado en los materiales rocosos que se interponían a su avance hacia el este. Sus aguas se aprovechan mediante el dique derivador de Pachimoco, en el oasis de Jachal, donde registra un caudal medio de 13 m³/seg y se transforma en un río alóctono que prosigue hasta perderse en los arenales del este, arribando al curso del Bermejo sólo esporádicamente.

El río San Juan presenta características similares, aunque con un caudal mucho mayor (68 m³/seg). Tiene su origen en los afluentes en la depresión

tectónica occidental que alberga a las cuencas de ríos Castaño Viejo, Calingasta y de los Patos, que convergen en el valle de Calingasta. De allí se desplaza hacia el este y, luego de un desvío hacia el sur, recibe el magro aporte del río Saso, para dar origen al gran oasis de la Ciudad De San Juan, donde se concentra el 90% de la actividad económica y de la población de la Provincia. La presa de embalse Quebrada de Ullún, concluida en 1980, permite sistematizar los caudales irregulares del sistema

hídrico, pero no elimina los riesgos que implica levantar este tipo de construcción en un área de sistemas. Sin embargo, la decisión muestra, como se ha venido indicando, la angustiante necesidad que existe por la provisión de agua. Una vez sorteada una serie de diques y canales distribuidores que angostan el curso alóctono, el San Juan prosigue hasta las extinguidas lagunas de Guanacache, en el límite con la Provincia de Mendoza.

En este contexto, es oportuno destacar que el sistema lagunar de Guanacache constituyó, hasta fines del siglo pasado, un importante conjunto de espejos de agua que ocupan superficies extensas que avanzaban hasta la laguna Silverio (32° 40'S), en cuyas proximidades nacía entonces el río Desaguadero. En la actualidad, en los límites entre las provincias de San Juan, Mendoza y San Luis, sólo consiste en una serie de bañados, lagunitas y cauces pobres, en proceso de desecación.

Para los fines de este estudio de vulnerabilidad es oportuno destacar, también, que la erosión retrocedente del río Desaguadero, al realizarse la captación de las aguas de dicha laguna, con el consiguiente aumento del desagüe, sumado a la cada vez mayor utilización de las aguas de los afluentes para riego, han creado el paisaje semidesértico actual, en un área donde hubo una abundante población indígena y, posteriormente, villas creadas por los colonizadores.

Esta tipo de panorama podría resultar una imagen de futuros escenarios donde el cambio climático y las modificaciones ambientales derivadas de la erraticidad del Fenómeno ENSO, sumados a un uso no apropiadamente planificado

y a un aumento no regulado de asentamientos humanos, podrían conducir a una ruptura en la sostenibilidad actual del sistema de los oasis pedemontanos.

Se debe reiterar aquí y ahora que el cambio climático es sólo uno de los factores potencialmente desencadenante de crisis de este tipo. Tal y como lo ha destacado el IPCC, las políticas sobre el uso del suelo, incluyendo lógicamente la distribución de poblaciones y cultivos son definitorias de los problemas ecológicas de zonas áridas como las que nos ocupa. La [figura 1b](#) incluye detalles del sistema hidrográfico de la provincia de San Juan.

6.2.3. Ríos de la Provincia de Mendoza

Si se exceptúan los ríos Barranca y Grande, que forman el Colorado -límite con la Provincia del Neuquén- la red fluvial mendocina remata en la cuenca del Desaguadero, que proviene del norte y que tiene varios nombres, según los tramos que se consideren (Bermejo, Salado, Chadi-leufú y Curacó). De norte a sur, esta red está integrada por los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel.

El río Mendoza resulta de la unión de los ríos Tupungato y Las Cuevas y recibe las aguas de los arroyos Horcones y Santa María, y del río de las Vacas, que desciende del Aconcagua. Su caudal medio (módulo), en Cacheuta, es de 52 m³/seg, pero en verano, durante los momentos de máximo deshielo, puede alcanzar unos 355 m³/seg (740% del módulo) El caudal mínimo es de 28% del módulo, i.e. unos 15 m³/seg. Al sur corre el río Tupungato, que nace en el cerro del mismo nombre, cruza las Huayquerías y se desvía hacia el norte acercándose al río Mendoza, de manera tal que ambos se integran a un mismo sistema de riego que sirve al oasis capitalino.

Las aguas del Diamante y el Atuel -que en algún momento de su historia reciente integraron un solo río- benefician al gran oasis austral en el que descuellan San Rafael y General Alvear. Sus caudales oscilan, con grandes amplitudes, alrededor de los 32 m³/seg. El Diamante nace al pie del volcán

Maipo, en la laguna homónima y, después de engrosar su caudal con los aportes de multitud de afluentes, cruza la depresión de los Huarpes y se encamina al colector atravesando la llanura al norte de la Sierra Pintada. El Atuel, cuya cuenca de alimentación se halla también a más de 3.000 metros de altura, en las cercanías del volcán Overo, después de atravesar la depresión se interna en el bloque de San Rafael, donde ha labrado una estrecha garganta en la que forma los saltos del Nihuil, aguas arriba de los cuales se ha instalado las presas de embalse a la que dan nombre, completada en el cañón por el dique y embalse compensador de Valle Grande y una serie de usinas hidroeléctricas que aprovechan la energía generada por el escurrimiento de los caudales y los fuertes desniveles.

Un conjunto de lagos artificiales irrumpen hoy en el paisaje mendocino, algunos de gran extensión, como el Nihuil o el de Carrizal, otros de dimensiones más reducidas, pero todos ellos contribuyendo a la creación de una nueva geografía, en la que la acción del hombre se halla concentrada en la zona pedemontana, donde aprovecha también el agua subterránea. Este uso intensivo de las aguas superficiales acentúa los rasgos de aridez de la planicie oriental, donde los vientos remueven las arenas de los cauces de los ríos secos.

A veces, por excepción, alguno de ellos se revitaliza volviendo, como el Atuel, a través del arroyo de la Barda, a alcanzar el curso del Salado, nombre que toma el Desaguadero, aguas abajo del Paso de Tila. Escurriendo a lo largo de una línea de falla, este río que hace la frontera entre Mendoza y San Luis, en una extensión de 140 km. Su módulo de 0,9 m³/seg no sustenta población alguna, debido a la extrema variación de sus caudales y las dificultades derivadas de su salinidad.

La [figura 1 c](#) incluye una referencia gráfica del sistema hidrográfico de la provincia de Mendoza.

6.2.3.1. Régimen de Escurrimiento del Sistema del Desaguadero

Los cuadros N° 1 al [N° 3](#) proveen información sobre los recursos hídricos superficiales en esta región de Cuyo.

Como se ha mencionado en cada caso, los aportes que reciben los ríos

del sistema están ubicados en las nacientes -fusión de nieve en la Cordillera y precordillera y provienen de precipitaciones cuya configuración se puede observar en el campo de isoyetas anuales, según se muestran en la [figura 2](#), que reproduce un mapa tomado del Atlas Climático de América del Sur, publicado por la Organización Meteorológica Mundial, en 1990. En este mapa se observa la escasa magnitud de las precipitaciones en esta región, cuya marcha anual se observa en el [Cuadro N° 4](#) y su variabilidad en el [Cuadro N° 5](#). De manera genérica, el máximo de precipitaciones se produce en Enero-Febrero-Marzo (con 40% del total) y el mínimo en Junio-Julio y Agosto (21% del total). En épocas de estiaje, la corriente hídrica entre los ríos andinos y su cuenca colectora -Desaguadero- se interrumpe en tramos, debido en parte al uso consuntivo (principalmente riego) y a su regulación por las presas de embalse arriba mencionadas.

Puesto que los usos de estos ríos incluye la generación de energía, es oportuno destacar que la potencia instalada de todos los ríos cuyanos (del orden de 750 MW), es relativamente reducida respecto de la energía que puede derivarse de otros sistemas hidrológicos argentinos o binacionales -Yaciretá funcionando a pleno producirá, a cota 83 metros- 2.700 MW ; Piedra del Aguila 1.400 MW y Salto Grande 1.890 MW. Sin embargo, mucho más importante es destacar que el sistema hidroeléctrico cuyano es mucho más vulnerable, debido al origen nival de su alimentación principal. Ella lo hace muy frágil ante un cambio climático que pudiera modificar en el futuro los volúmenes de nieve y de hielo decantados en las altas cumbres.

6.3. La nivología y su relación con el escurrimiento

La dificultad, tanto climática como geográfica, para instalar estaciones de observación meteorológica en la precordillera y, más aún, en la propia cordillera, particularmente cuando se carecía de los mo-

ernos sistemas de observación automática, no amilanó a la Dirección General de Meteorología, Geofísica e Hidrología y, a partir del año 1937, se instalaron unos 60 pluviómetros, donde se recogía el agua y la nieve precipitada. Este tipo de observación fue muy criticado en numerosos foros, aunque muchos especialistas reconocieran que proveían el único tipo de observación que se podía realizar entonces y que la sistematicidad de sus errores podía, al menos, proveer una estimación apropiada de las cantidades de agua/nieve disponibles para el escurrimiento. Estos aparatos cubrieron una zona cordillerana comprendida entre las latitudes desde los 29°S hasta los 51°S y su desaparición, basada en su alto costo operativo, se produjo alrededor de 1960.

Los aspectos notables de este otro caso de “desmembramiento” del sistema observacional argentino han sido de dos tipos. Primero, su quasi-coincidencia, como

lo mencionan los meteorólogos Drs F. Prohaska y J. J. A. Hoffmann, con el deterioro de la calidad y la cancelación progresiva de distintos tipos de observaciones visuales -como las correspondientes a las tormentas eléctricas, aunque fuera del área cordillerana- y de observaciones mediante aparatos, como las pluviométricas y las de evaporación. En segundo lugar, la falta de reacción de los organismos, entidades e individuos interesados en el quehacer ambiental y en el importante aspecto de la producción y la productividad agrícola-ganadera y de las agroindustrias asociadas, particularmente en la región de Cuyo.

Salvo las excepciones que se han observado particularmente en los países desarrollados y en muy escasas excepciones en unos pocos países en desarrollo, este fue el resultado de un proceso mundial originado por el auge de la aviación comercial, después de la Segunda Guerra Mundial, cuando por diversas razones muchos servicios meteorológicos e hidrometeorológicos fueron reorientados en sus estructuras y su operación, simplemente para servir –casi en exclusividad– al transporte aéreo en general y la aviación civil internacional en particular.

Esta tendencia no tuvo, en su momento, la oposición de los intereses agrícola-ganaderos y de las agroindustrias en las cuales estaba apoyada y se apoya hoy de una manera definitiva la economía nacional e, indudablemente, la economía de cada provincia cuyana. La única reacción fuera meramente política, pretendiéndose paliar la prevista degradación de los sistemas observacionales para fines agropecuarios con la creación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), cuya excelente y reconocida labor, si bien orientada también a la operación y mantenimiento de los sistemas de observación dedicados a los fines específicos del quehacer agropecuario, no pudo, ni puede, cubrir todas las necesidades del país.

Afortunadamente, esta situación ha comenzado a revertirse en algunos países de América Latina, particularmente por el desarrollo de sistemas automáticos de observación, desde el suelo, y desde y con el apoyo de plataformas satelitales (sistemas de comunicaciones satelitales para la colección y distribución de información básica y procesada).

Esto significa que, al analizarse las recomendaciones que resulten de este proyecto de vulnerabilidad, los niveles de decisión deberán tener muy en cuenta la situación de insuficiencia de los sistemas observacionales en cada provincia, habida cuenta que la Red Nacional de Estaciones de Observación Meteorológica e Hidrológica deberá, finalmente, ser la integración de los sistemas que desarrollen, operan y mantengan las provincias y, también, las instituciones privadas que requieran densidades y periodicidad de observaciones apropiadas a sus actividades.

Con el objeto de poner énfasis en el error cometido con respecto a los sistemas de observación en regiones áridas, debemos recordar que las recomendaciones internacionales para la operación de estos sistemas de observación se van haciendo obsoletas a medida que el cambio climático conduce a la urgente necesidad del monitoreo de las condiciones ambientales, altamente dependientes de los recursos atmosféricos e hídricos. Recordemos solamente la importancia que han venido adquiriendo los procesos atmosféricos - oceánicos que generan variabilidad climática (p.e. Fenómeno ENOS).

En este contexto, tal y como lo destaca el Capítulo 3 de la Nota Técnica “Land Use and Agrosystem Management under Severe Climatic Conditions”, publicada por la Organización Meteorológica Mundial, en 1986, regiones hoy reputadas como definitivamente desérticas, p.e. Egipto, la Mesopotamia asiática, el norte de Africa, durante la civilización griega, etc, fueron cunas de civilizaciones importantes y luego decayeron. Las razones de tales desastres ecológicos fueron las mismas que hoy podrían amenazar al futuro de una región definitivamente árida, como la región de Cuyo.

A este respecto, deberá tenerse en cuenta, como lo indica Capitanelli, que la falta de una planificación ajustada a la realidad incontrovertible de las limitaciones en la generación de dichos recursos, sumada en esta oportunidad a los efectos de una vulnerabilidad exacerbada por los efectos de la variabilidad climática y, probablemente, de los cambios climáticos que podrían registrarse en esta región, obligan a la adopción inmediata de una serie de medidas, para definir estrategias de control (monitoreo) y de adaptación integradas que tengan en cuenta todos y cada uno de los factores humanos, geofísicos y biológicos involucrados.

7. Tendencia del clima, variabilidad y cambio climáticos, en el extremo sur de América del sur

7.1. Tendencias en el clima

Las tendencias climáticas en el último siglo y en décadas recientes han sido investigadas por científicos de Argentina y Chile. El IPCC, con la colaboración del Dr T. Karl (USA) ha elaborado mapas de las tendencias observadas en las temperaturas y precipitaciones, entre 1901 y 1995. Las [figuras 3 y 4](#) incluyen las tendencias observadas en América del Sur, durante ese período.

Los estudios realizados en Argentina, revelan un calentamiento significativo en el sur de la Patagonia, al este de los Andes, con aumentos en las temperaturas máximas y mínimas y en la temperatura media diaria de más de 1°C. Estas observaciones son consistentes con cambios en la tensión de vapor y precipitación, que han aumentado al norte del paralelo 40°S, a partir de 1940 (*Hoffmann et al, 1996*). Estudios similares realizados en Chile indican que las temperaturas medias en superficie, en el hemisferio sur no mostraron tendencias al aumento antes de 1900, pero, durante el período 1900-1990, la temperatura sobre América del Sur se incrementó en total en 0.4°C, con una tasa bastante constante (*Rosenbluth et al, 1997*). La información que se deriva de las figuras elaboradas por el Dr Karl es congruente con estos resultados.

Además, los análisis de las tendencias de las precipitaciones, en el extremo sur de América del Sur, al este de la Cordillera de los Andes, indican que la precipitación media anual, también ha aumentado, particularmente en la pampa húmeda y hacia el oeste, en alrededor del 35%, en la última mitad del siglo (*Forte-Lay, 1987; Castañeda y Barros, 1996*). La gráfica elaborada por el Dr T. Karl también muestran estos incrementos en la precipitación.

Un estudio sobre ‘saltos’ climáticos en la circulación zonal regional sobre la porción sur de América del Sur, hace evidente un cambio importante en las condiciones medias del flujo de los norestes, detectado al comienzo de los 50 y fluctuaciones de baja frecuencia, que podrían ser la causa de saltos importantes en la precipitación en el área subtropical de Argentina, donde precipitaciones abundantes (escasas) estuvieron asociadas con vientos fuertes (débiles) del noreste, respectivamente (*Minetti J., W. M. Vargas, 1996*)

El análisis de condiciones pasadas permitió, también, desarrollar estudios sobre las tendencias de los caudales de los ríos cuyanos (*Carril A. F. et al, 1996*)

En lo que respecta al área que nos ocupa es oportuno destacar que trabajos realizados en Chile indican que las precipitaciones níveas aumentan dramáticamente al sur del paralelo 30°S, alcanzando valores del orden de 3.000 milímetros. Los procesos atmosféricos ligados a estas nevadas se hallan asociados a las condiciones de circulación del Pacífico Sur, estando asociados, entre otros, al Fenómeno ENOS.

A este respecto, un grupo de investigadores del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT), de Mendoza, realizó un estudio de las fluctuaciones climáticas observadas en el pasado, en búsqueda de una relación entre los años de sequía, en Mendoza, y el Fenómeno de El Niño. Debido a la falta de datos meteorológicos anteriores a 1942, la información básica fue obtenida por la Unidad de Historia Ambiental, del IANIGLA, del CRICYT, a cargo de la Dra M. del R. Prieto, cuyo equipo compuso la serie de nevadas registradas en función de la información del diario Los Andes, de la Ciudad de Mendoza.

Hasta 1950, este diario utilizó la información aportada principalmente por el Ferrocarril Trasandino y, a partir de ese año, agregó la información suministrada por las estaciones instaladas, en 1942, en Cristo Redentor y Puente del Inca, por la Dirección General de Meteorología, Geofísica e Hidrología, del Ministerio de Agricultura de la Nación, luego Servicio Meteorológico Nacional de la Fuerza Aérea Argentina. También se dispuso de información ambiental y del estado de los caminos, provistos por Vialidad Nacional, la Policía de la Provincia de Mendoza y la Gendarmería Nacional. A partir del año 1980, el Complejo de Penitentes se sumó a estas instituciones, anunciando la presencia o ausencia de nieve en sus pistas de esquí.

Con las técnicas propias de la utilización de datos sustitutos (proxy data), la información del diario fue analizada de acuerdo con las formas lingüísticas utilizadas en cada tiempo histórico y reducidas a un lenguaje congruente común. Además, se consideró como unidad temporal al “**día con nieve**”, definido como el intervalo entre 00.00 horas y 23.59 horas de cada día en que se notificaba nieve, tomándose en consideración todos los días con nieve entre abril y octubre de cada año. La forma de notificación adoptada por el diario -indicando **nieve escasa, normal, abundante, extraordinaria**- permitió asignar un número a cada clase y, así, disponer de un dato sustitutivo que permitió apreciar cuantitativamente la intensidad de las nevadas. La técnica utilizada permite, además, comparar esta cuantitativación con valores medidos, desde el momento en que se dispuso de ellos.

Fue posible, entonces, determinar el número de días con nevadas en las cumbres, tal y como lo muestra la [Figura 5](#). El relacionamiento de esta información con los registros de anti - El Niño, o La Niña, permitió establecer una relación entre los períodos de seca y este fenómeno atmósfero-oceánico. La [Figura 6](#) muestra la relación entre la frecuencia anual de nevadas en la Cordillera y la presencia de años con la Niña. (*M.R Prieto et al, 1997*).

7.2. Variabilidad Climática

Como se ha definido, la variabilidad climática significa la alternancia entre el “clima normal” y un conjunto de condiciones climáticas diferentes, pero recurrentes, en una región dada del mundo. En América del Sur la variabilidad climática se halla relacionada, entre otras, a la Oscilación del Sur (SO) y al fenómeno de El Niño (EN) -Fenómeno ENOS)- Los estudios sobre los efectos de la OS, utilizando un índice de la Oscilación del Sur (IOS), han mostrado su conexión con la presión, temperatura y precipitación así como con anomalías hidrometeorológicas (p.e. registros de descargas de ríos y niveles de lagos) (*Aceituno, 1987*).

Prominente entre las anomalías relacionadas con la OS, en América del Sur, es la bien documentada tendencia a condiciones anormalmente húmedas a lo largo de la costa árida del norte de Perú y sur de Ecuador, durante episodios de El Niño (*Rasmusson y Carpenter, 1982*). Sin entrar a mencionar situaciones anómalas en otras regiones de este subcontinente, destacaremos que las anomalías en las precipitaciones relacionadas con la OS en la América del Sur extratropical, había sido documentada primariamente para Chile Central (*Rubin, 1955*). Durante los años de El Niño, se había notado una tendencia a que la precipitación sobre Chile subtropical fuera excepcionalmente abundante. Esta relación es consistente con la correlación significativamente negativa entre diferencias de presión sobre el Pacífico (Tahití menos Darwin) y la precipitación anual en Chile Central (*Pittock, 1980*) y la acumulación de nieve en los Andes del Sur (*Cerveny et al, 1987*), la que, según se ha mencionado, en algunos inviernos, alcanza hasta los 3.000 milímetros precipitados.

Si bien el fenómeno de El Niño aporta condiciones favorables para las nevadas en la Cordillera, es oportuno mencionar que el intenso episodio de El Niño registrado en 1982-1983, que coincidió con una marcada fase negativa de la OS, estuvo asociado con condiciones climáticas extremas en varias partes de América del Sur. Son ejemplo de ello el régimen de convección asociado con la inundación del norte de Perú (*Horel y Cornejo-Garrido, 1986*), las sequías en el noreste de Brasil (*Rao et al, 1986*), y las destacadas anomalías de la precipitación y la circulación observadas sobre América del Sur (*Nobre y De Olivera, 1986*).

En décadas recientes, la influencia del fenómeno ENOS sobre la variabilidad interanual de la temperatura y el clima en América del Sur ha sido objeto de investigación de otros autores (*Berlage, 1966*; *Burgos et al, 1991*; *Santibañez y Uribe 1994*; *Vargas y Bishoff, 1995*). Durante los años ENSO, la precipitación en algunas áreas del norte de América del Sur es escasa, aumentando la posibilidad de sequía (*Aceituno, 1987*). Los eventos ENOS pueden originar precipitaciones y temperaturas mayores, como ha ocurrido en los desiertos costeros de Perú y Chile (*Cavedes, 1973*).

Como ya se ha indicado, existe una relación empírica entre la carencia (disponibilidad) de nevadas en las cumbres de los Andes y los procesos de La Niña (El Niño). Así, la carencia de nevadas sobre las altas cumbres andinas, entre los 26°S y los 39°S, que redujeron la disponibilidad de nieve para fusión, en el verano 1996-97, y restringieron parcialmente el consumo de agua, particularmente en Chile Central, coincidió con un evento La Niña.

Por el contrario, El Niño intenso que se viene registrando tempranamente, en este año 1997, ya ha producido nevadas intensas, que aseguran un excelente suministro de agua de deshielo, aunque simultáneamente haya generado inundaciones sobre el centro y oriente de Argentina.

En relación con la cuestión que nos ocupa, y que, por lo que se ha visto, puede enfocarse en las variaciones de los caudales de los ríos cuyanos, un trabajo sobre el mínimo en la descarga de los ríos cuyanos, a principios de la década del 70 (*Del Carril et al, 1996*) pone énfasis en que el mínimo observado en los caudales se debió a un mínimo de baja frecuencia en el fenómeno ENOS, así como, también, al comportamiento de la temperatura del mar cerca de la costa chilena.

En el estado actual de los conocimientos, no es claro si el fenómeno ENOS podría cambiar con el calentamiento global a largo plazo, ni tampoco cuales serían las consecuencias de una superposición de fuentes de variabilidad climática sobre los sistemas terrestres. Sin embargo, los efectos del ENOS han sido usados por científicos regionales para ayudar en la definición de escenarios reales que podrían ser útiles como análogos para el cambio climático y para estudios de respuestas potenciales sobre los países y sectores afectados (*Campos et al, 1996*).

7.3. Cambio Climático

El Anexo B del Informe Especial del IPCC sobre Impactos Regionales del Cambio Climático (*Canziani O.F. y S. N. Diaz, 1997, en prensa*) provee información general sobre el progreso que se ha hecho con corridas transitorias (de corta duración) de modelos de circulación general atmósfera-océano (AOMCGs), que permiten -dentro de ciertos límites y con datos complementarios confiables- obtener proyecciones climáticas a una escala regional. Dicho Anexo B también provee información sobre técnicas de regionalización diferentes, que han sido desarrolladas recientemente y probadas con el objeto de mejorar la escasa resolución en las simulaciones de cambios climáticos regionales. Sin embargo, este trabajo del IPCC no incluye este tipo de simulación para América Latina.

Whetton et al (1996) analizaron el desempeño de modelos en América del Sur, para evaluar la habilidad de los MGCs para reproducir características climáticas importantes del Hemisferio Sur, así como para determinar las brechas mayores en su capacidad de simulación. Los autores consideraron varios experimentos de "capa de mezcla del océano" y varios experimentos "coplados" o de "dinámica completa del océano". La correlación entre la precipitación anual media modelada y observada, sobre la región, varió entre 0,35 y 0,70 en corridas con MCG con capa de mezcla. Se halló una correlación ligeramente mayor en experimentos climáticos realizados con MCG acoplados.

En relación con la región cuyana, que nos ocupa, en estudios realizados con MCGs, sobre América y los océanos adyacentes (*Labraga, 1997*; *Labraga J. C, M. López, 1997*) indican que las simulaciones de las temperaturas en la zona semiárida de Chile Central y en el centro de la región occidental de Argentina, que constituye el objeto de este estudio de vulnerabilidad, mostraron un aumento de 1° a 3°C, para el verano, en el momento que se alcance el contenido de dióxido de carbono equivalente al doble del actual (año 2050). Durante la misma estación, la pre-

cipitación en el área fue proyectada con una disminución de entre 10 y 15% por grado de calentamiento global, de acuerdo con el mismo conjunto de experimentos. Los resultados de los modelos consensuan que la zona semiárida subtropical experimentará condiciones secas intensificadas y extendidas.

En un trabajo más reciente, orientado hacia la búsqueda de escenarios representativos del cambio climático en América del Sur (*Carril A. F. et al, 1997*) se realiza la intercomparación de cuatro modelos de circulación general acoplados océano-atmósfera. El desempeño de tales modelos (UK Meteorological Office -UKMO; Max Planck Institute for Meteorology- MPI ; Geophysical Fluid Dynamic Laboratory -GDFL, y National Center for Atmospheric Research- NCAR) fue determinado por comparación con la presión a nivel del mar, el viento zonal en la proximidad del suelo, la precipitación y la temperatura del aire calculada con ellos vis à vis del campo climatológico observado.

Esta comparación permitió seleccionar dos de los modelos -MPI y UKMO- como los más apropiados en la simulación de las condiciones del clima en América del Sur. El uso de estos dos modelos acoplados océano - atmósfera permitió evaluar sus respuestas a un incremento del dióxido de carbono, para poder definir escenarios climáticos futuros posibles. Las conclusiones indican que, con respecto a las temperaturas las simulaciones con el MPI exhiben un mayor calentamiento, mientras que con el UKMO simula un mínimo relativo. En cuanto a las precipitaciones, los autores destacan que los resultados deben ser considerados con precaución, debido a que su ocurrencia es muy dependiente de los procesos de escala de sub-grilla, que están pobremente representados en estos dos modelos.

La conclusión de este valioso trabajo es que las configuraciones de escala amplia de la climatología observada están bastante bien simulados por estos modelos y que los experimentos resultaron en un relativamente buen acuerdo con respecto a los cambios posibles para los escenarios con CO₂ incrementado (2 x CO₂). Sin embargo, destacan que se debe estar al tanto del hecho que un acuerdo entre los dos modelos (MPI y UKMO) no implica certidumbre con respecto a la veracidad de los cambios simulados. Si esto es así, debido a las dimensiones de la región de Cuyo, estos resultados no resultan apropiados para el estudio de vulnerabilidad que nos ocupa.

Durante el desarrollo de este Sub-Proyecto OASIS, se llevó a cabo un estudio orientado a lograr una Proyección Climática sobre los Oasis de Cuyo (Escenario Inducido por Incremento de Concentración de Gases de Efecto Invernadero). Este trabajo, encargado a uno de los técnicos del Sub-Proyecto, Lic. D. A Huggenberger, apoyado en los trabajos arriba mencionados (*Labraga, Labraga y López, y Carril et al*) estuvo orientado a definir un índice para evaluar la distribución estadística de los caudales de los ríos cuyanos.

Los resultados logrados están prácticamente alineados con los obtenidos en otro trabajo, ya mencionado (*Carril A et al, 1996*), que fuera presentado en el Taller Regional sobre Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina - Montevideo, Uruguay, 22 al 24 abril 1996 y que está presentado para publicación en *Climate Research*, con el título *Impacts of Climate Change on the Oases of the Argentinean Cordillera* (*Carril A. F. et al, 1997*). Al respecto es oportuno aclarar que en ambos casos se trabajó con datos climáticos e hidrológicos disponibles, esto es, no se desarrollaron escenarios futuros que permitirían definir la vulnerabilidad futura de la región cuyana, ante el Cambio Climático previsto.

De todas maneras, este último trabajo provee un indicio interesante. Los autores deducen que los caudales bajos, particularmente observados durante el inicio de los 70s, están relacionados con un mínimo de baja frecuencia del ENOS así como con las temperaturas del mar próximo a la costa de Chile. Puesto que ambos factores están asociados con un valor mínimo de la temperatura hemisférica, no sería apropiado, al menos en el estado presente de desarrollo de los estudios, indicar que los oasis experimentarán condiciones de sequía en un escenario de calentamiento global, con un incremento de temperatura de unos pocos grados. De todas maneras, un calentamiento estaría, sin duda asociado con un incremento de la evapotranspiración en la propia región cuyana que, como podría ocurrir en otras regiones del país, tenga mayor impacto que un eventual aumento de las precipitaciones níveas. Esto significa que el proceso de cambio climático deberá ser seguido de cerca, a fin de poder definir sus efectos sobre Cuyo.

7.4. Análisis crítico de la información evaluada

Tal y como se mencionó en el comienzo, el clima terrestre está siendo influenciado por procesos de variabilidad climática que, como los dependientes del Fenómeno ENSO, han sido estudiado desde hace años y los progresos realizados están permitiendo, como ocurre ya en algunas regiones de América del Sur (p.e. en relación con la pesca de anchoveta en las costas de Ecuador, Perú y Norte de Chile; y más recientemente, en el Noreste del Brasil) utilizar los productos del Centro de Predicción de El Niño, asociado a la NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration - (USA), para fines operativos.

Además, se registra una tendencia a un calentamiento global, con implicaciones hemisféricas diferenciadas -el hemisferio sur se calienta más que el hemisferio norte. De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, este calentamiento mostraría importantes implicaciones regionales, ya evidentes en estudios de condiciones climáticas pasadas, pero difíciles de modelar en la escala apropiada. El Grupo de Trabajo I -IPCC ha presentado el trabajo ya mencionado, en relación con el Informe Especial sobre el Impacto Regional del Cambio Climático. Se trata de la "Simulation of Regional Climate Change with Global Coupled Climate Models and Regional Modelling Techniques" (*Giorgi F, et al, 1997*) donde presentan simulaciones regionales realizadas con MGCs. Estas simulaciones no incluyen a América del Sur. Además, cuando presenta simulaciones utilizando reducción de escala por métodos estadísticos (statistical downscaling), destaca la necesidad de los mejores datos posibles, para la calibración de los MGCs asociados. Situación esta que no se compadece con el estado actual de densidad, operación y mantenimiento de las redes observacionales de América del Sur, incluida, sin duda alguna, la región de Cuyo. Condiciones similares son válidas para el ennidado de modelos regionales en MGCs. Esta información está incluida en el Anexo B, que se menciona en el capítulo 7.3, haciendo evidente que cualquier tentativa de modelaje regional en el área que nos ocupa no es confiable. Al respecto dice:

Los últimos experimentos con modelos regionales indican que será necesaria información de alta resolución, del orden de unas pocas decenas de kilómetros o menos, para que en áreas de fisiografía compleja puedan lograrse escenarios de cambio regional y local de gran precisión.

Para hacer un poco más compleja la situación, la bibliografía actual no presenta trabajos que permitan evaluar cual va a ser el comportamiento de las variabilidades climáticas frente aun calentamiento global.

Por otro lado, los impactos de un calentamiento global no pueden ser considerados en forma aislada. Es necesario encarar evaluaciones integradas que permitan tanto poder prever la acumulación de nieve / hielo en las altas cumbres de los Andes entre 29°S y 36°S, como saber en que condiciones se producirán el deshielo y los procesos hidrometeorológicos y geohídricos asociados, en particular, cómo serán los balances hídricos en una zona árida más caliente. La evaluación no termina en estos hechos físicos sino que incluye, además, el comportamiento socio-económico de la comunidad y, también, los impactos del mercado externo a la región productora.

Resumiendo, el estudio de la vulnerabilidad del sistema Oasis-Comunidad Cuyana, incluido su ciclo económico, requiere que se disponga de escenarios futuros, a decenas de años vista, para poder diseñar las medidas necesarias para satisfacer lo expresado en el Artículo 2 de la CMCCCNU. Además, vista las condiciones que resultan del ENOS, principal componente de la variabilidad climática que afecta a esta región de América del Sur, es fundamental disponer ya de información sobre el comportamiento de este fenómeno

Esta postura está definida por la doble naturaleza de los factores geofísicos que generan impactos ambientales en la región de los Oasis Pedemontanos.: el Fenómeno ENOS (ya actuante) y el potencial cambio climático, de carácter permanente, derivado de un calentamiento regional:

En lo que hace al cambio climático, ante las faltas de definición que resultan de los MGCs definiremos los umbrales posibles de un cambio climático, en el momento de duplicación del contenido equivalente de CO₂ (esto es el equivalente en CO₂ de este y todos los demás gases de efecto invernadero - metano, óxido de nitrógeno, ozono troposférico, etc). Para ello utilizaremos los resultados alcanzados por el Grupo de Trabajo I del IPCC, según se publican en el Capítulo 6 de su informe (*Houghton J et al, 1996*), donde se muestran los cambios estacionales esperados en las temperaturas en su-

perficie y las precipitaciones, según se los proyecta mediante experimentos transitorios acoplados con modelos de circulación general atmósfera-océano (AOMCGs). Estos experimentos fueron realizados en el Instituto Max Planck (MPI, Alemania) y el Bureau del Centro de Investigación Meteorológica (BMRC, Australia).

De acuerdo con esa información, las expectativas de cambio climático regional, para el año 2050, estarían dadas por los siguientes umbrales cambios:

	Año 2025		Año 2050	
	DEF	JJA	DEF	JJA
Temperatura del aire en superficie	+ 1° a + 1,5°	+ 1°	+ 2° a + 3°	+ 2°
Precipitación s/c	+ 45 mm	s/c	+ 90 mm	

Debido a que, como ya se había indicado, el cambio climático es sólo una de las componentes del cambio global, el estudio de vulnerabilidad requiere, además, el conocimiento de factores socio-económicos que, para este estudio, desempeñan el doble rol de ser componentes activos de ese cambio y, a la vez, receptores directos de los impactos, positivos o negativos, emergentes de un Cambio Global.

En vista de ello, se decidió completar el Informe con un análisis de los oasis pedemontanos de la Provincia de Mendoza, para los cuales se dispuso de la información requerida.

8. Estudio de caso: “Oasis Pedemontanos de Mendoza”

8.1. Situación actual y su vulnerabilidad a un cambio climático

Aun cuando el marco ambiental geofísico fue tratado ya, es oportuno reiterar alguna información y agregar otra, con el fin de definir un marco más completo, que incluya las condiciones socio-económicas de la provincia.

Por su ubicación en el centro-oeste de la República Argentina, la provincia de Mendoza se halla localizada en la denominada zona templada. Su superficie es de 148.827 km² y su población alcanzó 1.413.732 habitantes en 1991, ocupando el cuarto lugar como provincia más poblada del país, después de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Limita con cuatro provincias argentinas - San Juan, San Luis, La Pampa y Neuquén y, al oeste, con la República de Chile. Hacia el oeste el paisaje está dominado por la presencia de montañas elevadas y hacia el este el territorio provincial se desarrolla en una amplia llanura.

Como se ha indicado, su clima es árido o semiárido, con medias mensuales y anuales de precipitación que, para la década 1971-1980, son las que se indican en la Tabla 3. Como dicha tabla incluye

estaciones principales, es de interés destacar que mediciones en el extremo noroeste de la provincia, en la localidad Retamo, muestran un promedio anual bajo, de sólo 98 mm. de lluvia.

La provincia está compuesta por 18 departamentos cuyas áreas son muy dispares. En un extremo los departamentos de Capital y Godoy Cruz, eminentemente urbanos, tienen superficies de 54 y 75 km², respectivamente; en cambio el departamento de Malargue tiene una extensión de 41.317 km².

Debido a la aridez del territorio, la población se concentra en los oasis pedemontanos. Ellos representan sólo el 3% de la superficie de la provincia, pero albergan al 97% de su población.

Las zonas regadas de la provincia comprenden tres oasis: el **oasis del norte**, en el área de influencia de los ríos Mendoza y Tunuyán inferior; el **oasis del centro**, alimentado por el río Tunuyán superior y el **oasis del sur**, que utiliza las aguas de los ríos Diamante y Atuel. Estos ríos, al atravesar zonas de alta permeabilidad, alimentan sistemas acuíferos subterráneos, a través de un proceso de recarga natural. En términos globales, las disponibilidades de agua superficial que utiliza actualmente la provincia de Mendoza, son ligeramente superiores a los 162 m³/seg, cifra que incorpora el porcentaje de agua que se infiltra en los lechos de los ríos. Las existencias de agua subterránea ascenderían, aproximadamente, a 60.000 Hm³, en toda la provincia (*Bertanou, Braceli et al, 1987*).

Los oasis de riego de Mendoza (*Figura 7*) participan de las características generales de la mayoría de los oasis pedemontanos del oeste de Argentina. Son alimentados por ríos torrentosos de montaña, cuyas aguas en parte son conducidas superficialmente con fines de riego y provisión de agua para consumo urbano e industrial. Los caudales de estos ríos dependen fundamentalmente de las precipitaciones níveas invernales en la cordillera. Se verifica una relación directa entre esta variable, el caudal del río en un período dado y la recarga natural del acuífero. El *Cuadro 6* informa sobre los departamentos integrantes de cada oasis.

8.2. Agricultura de los Oasis.

El proceso económico de corte capitalista puesto en marcha en la Argentina, y más específicamente en Buenos Aires, en 1840, se extendió, unos treinta años más tarde, a las economías regionales. Pero mientras en el ámbito nacional el protagonismo fue casi exclusivo del sector agropecuario ligado a la exportación, en algunas provincias -Mendoza, San Juan, Tucumán- el esfuerzo se canalizó hacia la producción agroindustrial para responder a las demandas del mercado interno.

Entre 1870 y 1890 se crean en Cuyo las condiciones que darán como resultado la hegemonía del monocultivo de la vid. Estas condiciones fueron dadas por la afluencia de inmigrantes, la introducción de tecnologías industriales y agrícola, el tendido de vías férreas y la **sistematización del riego**.

Los potreros de alfalfa habían constituido durante casi todo el siglo XIX el motor de la economía mendocina. Allí se engordaban las reses que provenían en un gran porcentaje de la región pampeana y luego, en el período estival, pasaban a Chile para su comercialización.

La sustitución de este modelo económico, basado en la ganadería comercial y la agricultura de forrajes y cereales, por el modelo agroindustrial vitivinícola, provocó cambios importantes en todos los ámbitos de la vida social, económica y política. Esos cambios fueron paulatinos y se produjeron en el período que se extiende de 1870 hasta 1906-1914, fecha en la que el 76% del PBI industrial de la provincia provenía de la transformación de la uva en vino.

La expansión de la red de riego habilitó nuevas tierras, permitiendo la instalación de viñedos sin tener que abandonar los antiguos terrenos sembrados con alfalfa. A pesar de la intensa promoción de la vitivinicultura por parte del estado provincial, en 1985 las hectáreas sembradas con alfalfa representaban el 77.1% de la superficie cultivada, los cereales y legumbres 11.9%, mientras que los viñedos sólo alcanzaban un 11%.

En 1910 el área sembrada con forrajeras era todavía mayor que la plantada con vides. A pesar de la persistencia del antiguo modelo, hacia fines del siglo XIX el número de bodegas había crecido considerablemente, en el oasis del río Mendoza (433 bodegas en 1895).

Paralelamente, la población de Mendoza prácticamente se duplicó en un lapso de 30 años. Por su parte, la ciudad de Mendoza triplicó su número de habitantes -de 8.124, en 1969 pasó a 28.302 en 1985, mientras que la población rural disminuyó en el mismo período en un 10%, en términos relativos. El [cuadro 7](#) informa sobre la distribución de la población urbana y rural, hasta 1970. La creación de nuevas fuentes de trabajo, con la instalación de importantes bodegas en la periferia urbana y los departamentos vecinos a la ciudad contribuyó al proceso de concentración poblacional.

Si bien en ese momento los oasis irrigados representaban sólo un 0,71% de la superficie total de la provincia, ya concentraban al porcentaje más alto de población. El oasis del norte, registraba 57.871 habitantes en tanto que en 1895 había aumentado a 98.060 habitantes (*Molina Cabrera, 1976*) Los [cuadros 8](#) y [9](#) informan sobre la distribución de población por oasis y su tasa de crecimiento anual medio.

El resto del territorio, signado por la aridez, estaba dedicado -donde las condiciones ambientales lo permitían, como también ocurre en la actualidad- a la ganadería extensiva, en tierras “...**poco subdivididas pues se encuentran grandes extensiones de tierra pertenecientes a una sola mano**”. (*Lemos, 1889*). Allí, sobre todo en las superficies planizadas de la Cordillera Frontal y Precordillera, se criaba parte del ganado que luego sería engordado en los potreros de alfalfa del oasis.

En 1895 los viñedos se concentraban en algunos departamentos del oasis irrigado por el río Mendoza, los más cercanos a la capital, como Guaymallén (1553 ha de viña), Maipú (3.869 ha), Luján (717 ha), Godoy Cruz (963 ha) y Las Heras (664 ha), que contaban con derecho definitivo de riego. En las tierras irrigadas por el río Tunuyán descollaba San Martín, con 1.077 ha de viña. San Rafael, regada por el río Diamante sólo contaba con 547 hs.

Con la ampliación de la red de riego, estos dos últimos oasis se iban incorporando paulatinamente al nuevo modelo, pero el cultivo de la alfalfa dominó por mucho tiempo, como puede observarse en los [cuadros 10](#), [11](#) y [12](#).

Aún dentro del oasis del norte existía una diferenciación en cuanto a la distribución espacial de los cultivos predominantes. Hacia fin de siglo, en los departamentos más cercanos a la capital (Guaymallén, Godoy Cruz) había mayor cantidad de viñedos y la propiedad se hallaba más subdividida, mientras que en los más alejados aún predominaban los grandes fundos, la alfalfa y el trigo se cultivaban en Maipú, Luján y sobre todo en San Martín, Rivadavia y Lavalle. La incorporación de tierras vírgenes, hacia el este y el sur, se iniciaba con cultivos de alfalfa o cereales, durante dos o tres años antes de plantar vides.

Ello se debió a razones económicas del momento y, además, a la necesidad de mejorar las tierras que se incorporaban al desarrollo agrícola de la región. Estas tierras eran de los departamentos del centro-este, en los que persistió el cultivo de la alfalfa, que requería mayor cantidad de agua (riego a manto), hasta bien entrado el siglo XX.

La localización espacial diferenciada de los cultivos y la presencia de complejos agroindustriales dentro del oasis incidía en la concentración demográfica, la distribución de la población y su patrón de asentamiento.

De acuerdo con lo indicado en un trabajo del CELA - INCYTH (*Llop y Bertranou, 1981*), **“El crecimiento económico se basó en la utilización del agua superficial. Cuando esta impuso una limitación a la expansión de la superficie cultivada ocurrieron dos fenómenos: primero, se produjo una sustitución de pasturas tales como la alfalfa y cereales por cultivos perennes que presentaban mayor rentabilidad y, generalmente, menos consumo de agua”**. Cabe recordar que el cultivo de la alfalfa requiere grandes cantidades de agua. En la etapa de la ganadería comercial, la técnica del riego a manto utilizada en los potreros de alfalfa condujo, ya a principios del siglo XIX, a un derroche del recurso que provocó la formación de extensas ciénagas y procesos de salinización, en algunos casos irreversibles (*Prieto y Wuilloud, 1985*).

El proceso de cambio de cultivos prosiguió, disponiéndose de un estudio de la evolución histórica de la vitivinicultura en Mendoza muestra las etapas del desarrollo de la vitivinicultura, informando sobre la incorporación de nuevas técnica de cultivo de la vid.

El modelo económico relacionado con el cultivo de la vid prevalece hasta 1938, cuando comienza un período de mayor diversificación agroindustrial basado en la transformación e frutas y hortalizas p.e:

industria de conservas, aceitera, sidrera, frutas desecadas, etc, pero siempre con un predominio de la industria vitivinícola.

A partir de la década de 1940 se produce una estabilización de la industria que se atribuye a un aumento de los niveles nacionales de consumo, a partir de 1943 y al papel regulador que asume el Estado, mediante la compra de bodegas privadas -las Bodegas Giol- en 1954.

8.2.1. El riego y el agua subterránea

Llop (1987) afirma: **“puede decirse que hacia mediados de la década del 50 el agua superficial disponible en la zona norte, irrigada por los ríos Mendoza y Tunuyán en sus tramos medio e inferior, comenzó a ser una restricción al desarrollo de la superficie productiva”**.

Ya sea para reducir el riesgo inherente a la dotación de agua superficial, o para cultivar áreas cubiertas por esta en ese período, comienza un proceso de inversiones en equipos para la extracción de agua subterránea. En 1950 había algo más de 1.000 perforaciones en la zona norte. En 1980 asciende al orden de 15.000. El 50% de este aumento ocurre entre 1967 y 1974, período en el que confluyen tres importantes factores determinantes:

- a) período de bajos escurrimientos de agua superficial,
- b) precios considerablemente altos en el mercado vitivinícola,
- c) otorgamiento de importantes desgravaciones impositivas a las inversiones para la producción primaria.

El año 1960 marca un hito respecto del aumento considerable en el uso de agua subterránea, que coincide con un interesante crecimiento de agroindustrias, como la de conservas, aceitera y sidrera. Además, entre 1967 y 1971 se produce la conocida caída de los caudales medios (entre 40 y 50%) de los ríos de Mendoza. Es entonces cuando se hace efectivo el factor determinante c), cuando se instaura un mecanismo de desgravación impositiva para inversiones de todo tipo, dentro de las cuales se encuadran perfectamente las correspondientes a perforaciones para la extracción de agua subterránea, la electrificación rural y la implantación de cultivos perennes. Esto induce a una sobreinversión en viñedos que es la causa de la crisis que persiste en la actualidad **“...cuando es más importante saber que hacer con la producción que distribuir agua...”** (Bertranou et al, 1987).

Según datos del Departamento General de Irrigación, en 1959 había un total de 4.874 pozos en toda la provincia. En el término de seis años (1969-1974) se perforaron 8.818 pozos en Mendoza solamente, lo que indujo a una sobreexplotación (por lo menos temporaria) del acuífero (Llop y Bertranou, 1981).

El balance hídrico relativo del agua subterránea que indica que indica ingresos netos al acuífero, para el período 1967/68-1972/73 (que incluye años muy pobres, como los de 1968/69 y 1972/73) muestra una reducción promedio en el stock de aguas subterráneas de 122 Hm³ anuales (según el CRAS). Como consecuencia de esta sobreexplotación, reflejada en el número de pozos en operación ([ver Cuadro 27](#)) un descenso continuado en el nivel freático y un aumento del contenido salino del agua subterránea (Bertranou A. A. Llop y M. Solanes, 1978). Lacs variaciones de profundidad del nivel piezométrico del acuífero, en una serie de pozos distribuidos en la cuenca mostró valores que oscilaron entre 1 y 11 metros de depresión, según la ubicación.

En 1987 existían en Mendoza más de 20.000 perforaciones para riego y en 1996 sólo la zona norte contaba con 16.000 perforaciones instaladas. En los primeros años de esa década, a diferencia con lo acontecido a fines de la década del 60 y a principios de la del '70, se produjo una serie de años hidrológicamente ricos, que produjeron un excedente hídrico que causó problemas de revenimiento, por almacenamiento de agua en las capas freáticas (Bertranou A, Braceli et al, 1987)

En 1987 Bertranou escribía: **La situación actual está afectada por una crisis que se empieza a gestar en 1973. En este período, con años hidrológicamente ricos, que inducen a la sobreproducción, se revierte la situación de escasez generada por el ciclo seco 1967-1972.**

Paralelamente, a partir de 1976, se inicia un proceso económico a escala nacional caracterizado por una considerable caída del poder adquisitivo de la población y, por ende, una disminución del consumo. La demanda sufrió una contracción que produjo una drástica caída en los precios.

Para los fines de este Informe, es oportuno destacar que, como resulta de lo expuesto más arriba, los logros de esta etapa se centraron fundamentalmente en la expansión de la frontera agraria hacia los bordes de los oasis, en especial através del uso de agua subterránea y el desarrollo de una buena infraestructura de embalses de uso múltiple en la zona sur. La nueva expansión incrementó la superficie regada a, aproximadamente, 370.000 Ha, de las cuales más de 250.000 se encontraban plantadas con viñedos (2 / 3 del total).

La política fiscal de subsidios al sector agrícola, conjuntamente con precios favorables, determinó un vertiginoso aumento en la cantidad de perforaciones de pozos.

8.2.2. Cambios en el horizonte productivo

El panorama de la vitivinicultura sufrió transformaciones notables en las tres últimas décadas. Los cambios han sido tecnológicos y socioeconómicos, con profundas repercusiones en la Comunidad. Lo más importante de remarcar en los últimos años es la constante disminución de la superficie cultivada por efectos de la crisis económica de la actividad y **el aumento continuo de la urbanización**, particularmente en el Gran Mendoza. La característica de monoproducción de una viticultura, orientada a satisfacer la demanda del mercado nacional con variedades de alta producción y baja calidad enológica, le generó una gran vulnerabilidad por limitaciones de la demanda; medidas de intervención estatal, no siempre adecuadas, y por circunstancias climáticas adversas.

La crisis se ha vuelto aguda y permanente en los últimos 27 años (a partir de 1970) debido a la superproducción y el subconsumo. Los planes de la Secretaría de

Agricultura de la Nación, arriba mencionados, en relación con la activación de la producción de vinos varietales, para su exportación, podría modificar esta situación.

Sin embargo, una planificación seria de tales objetivos deberá que tomar debida cuenta de las posibles implicaciones de un Cambio Global sobre la producción, la productividad y la calidad del producto.

Es oportuno reiterar que, a pesar de la crisis, entre los años 1970 y 1978 se continuó con la plantación de viñedos mediante medidas crediticias y tributarias promovidas por el Estado Nacional. Sin embargo, luego de una relativa estabilidad, a partir de 1984 comienza la decadencia manifestada por el descenso de la superficie cultivada del orden de 10.000 ha por año (*Civit, 1996*). No se dispone de información sobre otros factores, p.e. los ambientales, que, integrados al hecho económico, podrían llevar a este descenso.

Este mismo autor, que analiza la expansión en el oasis del norte, nos informa de la importante decisión derivada de la promulgación de las leyes nacionales 18.905/70, 20.954/74 y 20.628/74 que, entre otras, promovían la incorporación de zonas áridas a la actividad agropecuaria. Como no se dispone de información sobre la existencia de fundamentos científicos y/o tecnológicos de esas decisiones de abrir nuevas áreas de producción en las márgenes de los oasis, ello induce a pensar que se trata de una medida política, muy probablemente carente de un estudio de evaluación de impacto.

A pesar de la falta de riego superficial, grandes carencias en la infraestructura y problemas ambientales, algunas empresas importantes se instalaron en los bordes de los oasis. Mediante la utilización de tecnologías de avanzada en cuanto a la provisión de agua y sistemas de riego, se incorporaron grandes superficies de cientos o miles de hectáreas de tierras vírgenes. Se priorizó el uso de aguas subterráneas, lo que exige grandes inversiones e irrigación por manto.

Estas áreas-borde del oasis del norte son las que resultan más afectadas por la falta de agua en épocas de escasa caída de nieve, y, también, reducen la disponibilidad de la escasa agua de fusión dentro del oasis. La sequía del fin de la década del 60, mostró que aún disponiendo de pozos, su rendimiento se redujo de manera importante, en razón del descenso del nivel del agua freática.

De entre las empresas amparadas en las leyes mencionadas se pueden mencionar las siguientes: La Empresa Recoaro, instalada en 1972 y la Empresa Cartellone. La primera dispone de 30 pozos de 300 metros de profundidad que permiten regar 1.300 ha. La otra, instalada durante el período 1974-75, que cuenta con 40 pozos de 120 metros de profundidad, se dedicó a actividades viñateras y, especialmente, a la horticultura destinada a la deshidratación (500 ha). El área en explotación es de 1.700 ha, en una zona de suelos salinos y de drenaje deficiente. La salinidad es combatida mediante el lavado, pero ya se han contaminado los pozos más antiguos. Se sabe que el riego se complementa con aguas superficiales del río Mendoza, solamente en verano.

8.2.2.1. Variaciones de las superficies cultivadas

Según lo antes mencionado, diversos factores socio-económicos hacen que la

superficie cultivada en Mendoza comience a disminuir a partir de 1978. Mediante la comparación entre las áreas de servidas por los oasis del norte y del sur, se observa una mayor retracción en este último, donde declinan los cultivos de vid, frutales y hortalizas (*Gutiérrez de Manchón, 1996*). En el oasis del norte se reduce el área de viñas pero se incrementan las correspondientes a frutales y horticultura.

A este respecto, la información del Sistema Estadístico Provincial muestra la evolución entre los años 1971 y 1992.

Años	Vid	Frutales	Hortalizas	Olivo	Totales
1971	217.900	49.200	26.900	4.900	298.900
1978	252.928	s/d	s/d	s/d	s/d
1988	157.300	49.100	33.000	7.600	247.000
1991/92	145.217	62.072	27.105	7.454	241.848

Como consecuencia de la profunda crisis originada por sobreoferta de vinos entre 1978 y 1990, a partir del máximo registrado en 1978, fueron erradicadas más de 100.000 ha de viñedos. Ello implica una reducción del 30% de las hectáreas plantadas con viñedos en el oasis del norte.

Con respecto a los frutales, entre 1971 y 1988 se estancó la superficie ocupada por estos; entre 1988 y 1992 estos cultivos se incrementaron como respuesta a planes de reconversión frutícola.

En lo que respecta a hortalizas, la superficie dedicada a sus cultivos anuales ha oscilado, con un aumento paulatino. Las áreas dedicadas a tomate y ajo se han triplicado y las correspondientes a papa y cebolla se han duplicado, a partir de 1971.

Ante esta situación de reducción del área de cultivos, se puede mencionar que esta declinación deriva del comportamiento del viñedo y muy probablemente por la falta de una planificación agrícola que, en la actualidad podría ser orientada con vista a satisfacer tanto al mercado interno como a los mercados externos, en particular al MERCOSUR. Esto se muestra por el hecho que las otras actividades agrícolas lo sustituyen debilmente. Entre 1971 y 1992, en la configuración de los oasis se han intercambiado superficies abandonadas que representan un 35% en el norte y llegan a un 50% en el sur. Estos espacios no cultivados alteran la distribución del agua, debido a que la red de riego se desarticula y deteriora.

Según Gutiérrez de Manchón, ante esta situación las alternativas del uso de la tierra han sido:

- Arrancar la viña, transformando al predio en área de espera.
- Abandono encubierto, traducido en una disminución o cesación de labores culturales
- Reemplazo o renovación, traducido en un cambio del uso del suelo por frutales o cultivos anuales.

Al no disponerse de información sobre la producción, en los cuatro últimos años habría disminuido la sobreproducción, debido, en gran medida a la disminución de las áreas cultivadas, la reconversión de viñas comunes viñas varietales y a la diversificación de la producción orientada, también, a la obtención de mostos concentrados.

Resumiendo:

En estos oasis se ha desarrollado la actividad agrícola principal de la provincia: la **vitivinicultura** cuya superficie -177.174 ha, en 1995- ocupa la mitad del área cultivada. También se cultivan frutales (duraznos, ciruelos, manzanos, perales y damascos), hortalizas y legumbres (tomates, papa, cebolla y ajo), forrajeras, cereales, olivos y forestales.

La participación de la agricultura bajo riego en el producto bruto interno (PBI) provincial ha sufrido oscilaciones importantes, alcanzando niveles del orden de 18%, en 1979, para decaer a un 2,4% en 1983. Estas fluctuaciones reflejan la inestabilidad asociada al quasi-monocultivo regional, la vitivinicultura, cuya participación en el PBI ha oscilado históricamente alrededor de un 20%, con variaciones entre 7% y 30%. La participación de la uva y vino en el PBI provincial ha llegado a valores tan bajos como 3,7% y 4,5%, en los años 1981 y 1982, respectivamente. Sin embargo, a pesar de las crisis y fluctuaciones, Mendoza representa el 70% de la superficie cultivada y el 65% de la producción de uva y vino argentinos.

8.3. Generación de Energía Hidroeléctrica

Como se indicara al analizar el régimen de escurrimiento del sistema del Desaguadero, la potencia instalada de todos los ríos cuyanos es de, aproximadamente, 750 Mw, una cantidad relativamente reducida en relación con otros sistemas de este tipo de generación, en Argentina. Sin embargo, ella es muy útil para la región, que está vinculada al Sistema de Interconexión Nacional. Además, constituye un importante aporte al cumplimiento, por parte de Argentina, de los compromisos que derivan de sus emisiones de gases de efecto invernadero, al reducir la operación de usinas que utilizan combustibles fósiles.

Limitándonos a la provincia de Mendoza, los ríos aprovechados son el Mendoza, el Tunuyán, el Diamante y el Atuel. En estos dos últimos se han construido los embalses principales, que aportan el mayor caudal energético. Las centrales más importantes de la provincia son 13, con una potencia instalada de unos 685 Mw, ellas pertenecen a Energía Mendoza Sociedad del Estado -EMSE- de carácter provincial y a Agua y Energía Eléctrica. Sociedad del Estado, que es nacional y están conectadas al Sistema Interconectado Cuyo.

Pertenecen al ente provincial las siguientes usinas hidroeléctricas: Alvarez

Condarco, Cacheuta y San Martín, sobre el río Mendoza; el Carrizal sobre el río Tunuyán, y 25 de Mayo sobre el río Diamante. Las usinas que pertenecen a la Empresa Nacional son: El Nihuil I, II, y III, sobre el río Atuel, y Agua del Toro, Los Reyunos y Valle Grande, sobre el río Diamante.

Además, existen varios proyectos orientados a aumentar la producción de energía eléctrica provincial, ellos son: el Complejo Hidroeléctrico Los Blancos, sobre el río Tunuyán; el Complejo Cordón del Plata y el Baqueano, sobre el río Diamante, el Nihuil IV, sobre el río Atuel, y Potrerillos, sobre el río Mendoza.

Va de suyo, sin mayor detalle, que la disponibilidad del recurso hídrico es ya un factor trascendente en este área de su utilización y lo será en grado mayor, supuesto que se concreten los proyectos mencionados. Esta situación es un nuevo llamado de atención para la evaluación integrada de los impactos de un posible cambio climático en la región, la importancia de cuya incidencia ha sido puesta en evidencia en las condiciones de sequía inducidas por los procesos de variabilidad climática identificados como La Niña.

8.4. El uso Industrial del Agua

Como trasunta de lo expuesto sobre las actividades agrícolas en la provincia, el uso más importante del agua es el correspondiente al riego, que insume entre el 93 y 97% del total de los requerimientos totales. Parte de este agua debiera computarse a la actividad industrial, particularmente a la agroindustria, habida cuenta que de los 22.498.879 HI de vino y otros productos derivados de la uva - aceite de uva, vinagre de vino, jugos, grapa, licores, etc) que se produjeron en el país, en el año 1995, 15.889.075 HI (poco más del 70%), correspondieron a la producción mendocina.

Dejando de lado este sector, el uso industrial del agua tiene alguna importancia en el oasis del norte, que insume aproximadamente 1,5% del total de los requerimientos. Esto es, el uso industrial no representa un problema serio en cuanto a la cantidad, pero provoca el deterioro de su calidad, debido a los efluentes que aporta (*Llop A. y A. Bertranou, 1981*).

Las industrias más destacadas, además de las agroindustriales, son las derivadas de la explotación del petróleo y la metalmecánica, cada una de las cuales debe utilizar agua en el proceso industrial. Estas industria pueden abastecerse con agua potable, autoabastecerse con agua superficial (toma directa del río) o con agua subterránea.

Las empresas abastecidas con el agua potable que distribuye Obras Sanitarias son las industrias de conservas, bebidas gaseosas y soda. Figuran también, en un segundo lugar, la industria lechera y el lavado de vehículos. El consumo de agua potable, por parte de las industrias es relativamente bajo, pues alcanza sólo a un 5% del volumen de la producción total.

8.5. La Población de la Provincia de Mendoza

No por último es menos trascendente el tema de la población de la provincia. La variable demográfica constituye un importante aspecto del desarrollo de la región cuyana. El trabajo sobre "Las Transformaciones Demográficas en la Región Cuyana y el Desarrollo de la Economía durante el Período 1810-1970" (*Molina Cabrera O et al, 1975*) junto con el trabajo "Proceso de Ocupación del Espacio y Uso de los Recursos

en la Vertiente Nororiental de los Andes Centrales Argentinos-Chileno (*Prieto, M R. y E. Abraham, 1994*) suministran abundante información sobre el tema. Debido al enfoque de este estudio de caso, y porque ya se han tratado las cuestiones inherentes a la agricultura, la generación de energía y las industrias, aquí limitaremos nuestro interés a la provincia de Mendoza, y, en lo que en particular hace a los objetivos de este estudio de vulnerabilidad, trataremos la cuestión de la satisfacción de sus requerimientos de agua.

Como ya se ha mencionado, la mayor concentración de población está en el oasis del norte. Allí se ubica la capital de la provincia, la Ciudad de Mendoza que, de acuerdo con el censo de 1991,

contaba con una población de 212.178 habitantes. De acuerdo con proyecciones de la Dirección de Estadísticas de la Provincia, la población citadina en 1996 debió haber alcanzado los 127.494 habitantes.

La Capital, junto con los departamentos de Las Heras, Godoy Cruz, Guaymallén, Maipú y Luján, conforma el denominado Gran Mendoza, de cerca de 950.000 habitantes en 1996. Este gran asentamiento demanda la mayor cantidad de servicios de la región. Otras ciudades de importancia son San Rafael, situada en el sur de la provincia, con 94.776 habitantes y San Martín, ubicada a 50 km al este de la Ciudad de Mendoza, con una población urbana de 64.821 habitantes

Fuera de las áreas bajo riego, en los desiertos de montaña y llanura, la población presenta una densidad escasa y una distribución muy dispersa. En la planicie se destacan dos actividades importantes, la ganadería extensiva, principalmente de cabras y ovejas y, en menor medida, de ganado vacuno, y la extracción de petróleo. Esta última actividad se realiza en la zona de Barrancas, Lulunta, Carrizal, las Ventanas y Vizcacheras, en el norte de la provincia y en la Laguna de Llanquanelo –ríos Atuel y Grande– en el sur.

Toda la zona montañosa, en particular la correspondiente a la cuenca del río Mendoza, se benefició, desde principios del siglo, con la construcción del Ferrocarril Trasandino y la posterior apertura de la ruta internacional a Chile, ambas vías paralelas al río Mendoza. Estos desarrollos dieron comienzo a un proceso de cambio que hizo eclosión en la década de los 40 con la instalación de empresas estatales de servicios -Obras Sanitarias, Vialidad Nacional- que, junto con el turismo (construcción de hoteles, casas de fin de semana y, más recientemente, el desarrollo de pistas de esquí y otras facilidades para los deportes de invierno), condujeron a la consolidación de pequeños núcleos estables de población. Las actividades económicas que se destacan y dan características particulares al área son: ganadería, minería y turismo.

8.5.1. Suministro de agua para la población

La evolución de las comunidades, tanto en lo que hace a densidad poblacional y las diversas actividades humanas en la que se involucran sus componentes- agricultura, forestación, industria, desarrollo urbano y rural, turismo, etc, depende en buena medida de la disponibilidad, usos y, también, y muchas veces muy particularmente, de los hábitos de uso, del recurso hídrico.

En efecto, ellos definen los umbrales críticos y óptimos relacionados con una disponibilidad dada recurso hídrico., particularmente cuando este es escaso o está sometido a variaciones de cantidad que conduzcan a deficiencias o excesos que modifiquen, per se, las condiciones del entorno. Como se ha indicado antes, las civilizaciones de Ur y Caldea, Egipto y aún del Grecia, se desarrollaron en entornos de escasa disponibilidad de agua y alcanzaron su apogeo para luego decaer, porque, inter alia, excedieron los límites de disponibilidad de agua -ver Land Use and Agrosystem Management in Arid and Semiarid Conditions- WMO Technical Note N° 184, Capítulos 3 y 4, y Land Management in Arid and Semiarid Areas, WMO Technical Note N° 186, partes I y II, para mayor información.

No cabe duda que en zonas áridas y semiáridas, el agua tiene la característica de ser un bien escaso, a veces relativamente renovable, que lo potencia como elemento vital para la población y su desarrollo. Tal es la situación en el área que nos ocupa, cuya sensibilidad al recurso hídrico la hace altamente vulnerable, como ha sucedido en distintas oportunidades en la historia del desarrollo de la Provincia de Mendoza, y muy particularmente, hacia fines de la década del 60.

La provincia de Mendoza tiene dos fuentes naturales de agua, el agua de sus ríos y sus aguas subterráneas. de napa libre y napas confinadas. La provisión de agua potable está a cargo de la Empresa obras Sanitarias Mendoza, algunas municipalidades, cooperativas, uniones vecinales e incluso servicio totalmente privados.

Históricamente, el suministro de agua para consumo humano mostró las alternativas siguientes:

Antes del terremoto de 1861, un canal de piedra llevaba agua desde el Challao hasta la Plaza Constitución (hoy Plaza Pedro del Castillo). Al destruirse el acueducto la población debe recurrir al agua proveniente ya sea del Tajamar o del zanjón Cacique Guaymallén. Para purificarla se utilizaba un muy elemental sistema de clarificación por reposo, ayudado por la colocación de hojas de pencas. También existía un servicio de aguatero a domicilio, que transportaba el agua en toneles y ofrecía el agua por balde de unos 5 litros, al precio de 10 centavos, de la moneda de ese entonces.

En 1876 se construye la primera red de agua corriente, con una toma en el Challao, conectada a un depósito de almacenaje, desde donde, mediante una cañería de hierro fundido, se la transportaba hasta la calle San Nicolás (hoy San Martín), desde donde se distribuía por caños de barro cocido, los que, en el año 1882, son reemplazados por cañerías de hierro fundido e hierro galvanizado.

En 1900 se inician los estudios para la captación de aguas del río Blanco, en Luján de Cuyo, pues estas aguas poseían mayor calidad, debido a su menor grado de dureza. La toma se concreta en 1911, mediante obras consistentes en la construcción de una galería filtrante bajo el lecho del río, a 4 km arriba de su desembocadura en el río Mendoza, con cañerías de una extensión de 52 km, hasta depósitos en Alto Godoy, al oeste de la ciudad de Mendoza, con capacidad de 6.000 metros cúbicos, cada uno.

La Empresa Obras Sanitarias Mendoza, está en el ámbito del Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente, Urbanismo y Vivienda, abasteciendo el 85% del consumo del Gran Mendoza (Capital, Godoy Cruz, Las Heras, Guaymallén, Maipú y Luján), con aguas tomadas del río Blanco, afluente del río Mendoza, y de éste río, y complementa esa toma con el bombeo desde fuentes subterráneas. La captación superficial es de unos 468.000 m³/día, mientras que el bombeo aporta unos 60.000 m³/día. Cinco plantas potabilizadoras convencionales procesan el agua cruda, la convierten en agua apta para el consumo humano y la distribuyen.

En poblados y ciudades más chicas, el agua que se consume es de fuentes subterráneas, pertenecientes al acuífero profundo. El tratamiento de las mismas, cuando necesario, se realiza parcialmente con el uso de clorinadores. En algunos lugares, la administración del agua está hecha por Obras Sanitarias Mendoza, pero en otros lados el manejo del agua potable se hace por cooperativas. Como fuera mencionado, también hay empresas privadas, como en el caso del Conjunto Urbano Los Cerros y áreas dedicadas al turismo, que realizan la extracción del agua de pozos y la controlan y potabilizan, para uso humano.

El problema más serio que se presenta a las administraciones responsables del suministro de agua es su gran demanda. Según los datos de Obras Sanitarias Mendoza, el consumo de la provincia es bastante superior a la media mundial, en zonas con las mismas características geofísicas. Funcionarios del Departamento General de Irrigación opinan que el consumo es casi el doble al correspondientes en países desarrollados y mayor que el que se registra en la pampa húmeda (Los Andes, 26-8-95).

Una media razonable para esta zona sería de 15 a 20 metros cúbicos mensuales por conexión, pero en localidades como Chacras de Coria es de aproximadamente de 60 metros cúbicos. Lo preocupante de este abuso de consumo, que produce la correspondiente inquietud en los prestadores del servicio, es el impacto de las tendencias de crecimiento población sobre los volúmenes demandados y, lógicamente, sobre las inversiones crecientes en las instalaciones y servicios involucrados en la potabilización y la distribución. Poco se dice, sin embargo, de los impactos posibles de un cambio climático, aunque ya se hayan experimentado los efectos de carencias de nevadas en las altas cumbres (La Niña o anti-El Niño). Los cuadros y indican la evolución de la cobertura de servicios de agua potable, entre 1991 y 1996, e informan sobre la población con servicio de agua potable.

Sin embargo, en la actualidad, con un consumo per cápita de casi 600 litros por persona y por día - cifra fuertemente influenciada por el consumo en el Gran Mendoza, donde el consumo alcanza a 689 l/p/día, la disponibilidad del recurso, debido a tomas de agua superficial y extracciones de agua subterránea, excede a la demanda. Los [cuadros 13 y 14](#) analizan la evolución de la producción provincial de agua potable. El [cuadro 15](#) indica cual es la contribución nominal de fuentes superficiales y subterráneas en el Gran Mendoza, entre 1987 y 1996.

Corresponde destacar que, a pesar de las características climáticas y geofísicas de la región en la que se inserta esta provincia y de su dependencia de procesos que pueden clasificarse como "quasi-

externos “ para la generación del recurso hídrico, en la provincia de Mendoza el consumo de agua se mide escasamente. **Sólo una parte de la población posee medidores domiciliarios.**

El problema es que el agua potable no es utilizada solamente para bebida e higiene humanas. Debido a la escasez de precipitaciones, también se la usa para riego urbano. Esto indica que cualquier medida de restricción del uso de agua potable, para estos fines de riego de parques y jardines, sin la sustitución del fluido, como ocurre, por ejemplo, en algunos barrios de la Ciudad de Lima (Perú), cuyos jardines y parque se riegan, principalmente, con agua no potabilizada, produciría un daño severo en el paisaje de la zona urbanizada.

De todas maneras, al margen del cambio climático previsto, habida cuenta de la tasa de crecimiento de las ciudades, ya resulta perentorio solucionar el problema de la demanda de agua potable,. En el Gran Mendoza, en corto tiempo, se ha registrado un notable retroceso de la agricultura. Ello se ha debido al abandono de tierras escasamente productivas, las que fueron rápidamente ocupadas para uso residencial.

Entre 1975 y 1995 se modificó el uso de un elevado porcentaje de suelo rural a suelo urbano, debido, también, a la situación de constante crisis de la actividad agrícola y la falta de normas que controlen el mal uso de los suelos. Recuérdese lo dicho antes sobre la habilitación de tierras en los bordes de los oasis.

Entre 1980 y 1991 el Gran Mendoza pasó de 726.560 habitantes a 865.212 habitantes, un crecimiento de más del 158%. Esto es particularmente crítico ya que la expansión del área urbana de la capital significa un aumento dramático en el consumo de agua para uso doméstico. El caso del crecimiento del Gran Mendoza es, en si mismo, un estudio de caso, en el sentido que muestra la gran concentración producida en los últimos años y, consecuentemente, una mayor demanda de agua potable y servicios sanitarios. Observé, a manera de comparación -[cuadros 16](#) y [17](#)- la cantidad de usuarios de agua potable, en la década 1960/70 y la producción de la misma, en metros cúbicos por día. Las estadísticas demográficas indican que, a partir de 1960, la población de Mendoza aumenta en el orden de 100.000 habitantes por década, según los censos de 1960, 1970, 1980 y 1991.

En los últimos 20 años se han incorporado más de 200 barrios nuevos (cuya característica es la horizontalidad), a lo que se agrega la construcción de conjuntos unifamiliares y condominios o loteos tipo “country “ que plantean una gran demanda de agua para piscinas, riego de terrenos parquizados y estanques y lagunitas de carácter paisajista.

Diferente, aunque igualmente demandante de disponibilidad de agua potable, aunque en menor cantidad que las desarrollos horizontales, son los conjuntos habitacionales de efecto masivo. Sin embargo, sus costos pueden ser mayores, debido a las características sísmicas del terreno.

Entre 1949 y 1991, el Instituto Provincial de la Vivienda intervino en la construcción de 232 barrios, en toda la provincia, pero 170 de ellos se construyeron en el Gran Mendoza. Además, el Banco Hipotecario Nacional financió 322 barrios, entre 1985 y 1994. Como ocurre en toda expansión urbana, se acrecienta el desarrollo no residencial, ya que son necesarios depósitos de distribución, servicios de todo tipo y recreación. Esto se manifiesta en el aumento del número de establecimientos que pasaron de 3.044, en 1974 (CNE 1973-74) a 4.141, en 1990 (DEIE, 1988-90).

El consumo de la ciudad de Mendoza, en 1911, era de 1.741.104 metros cúbicos de agua potable (Anuario de la Dirección de Estadística de Mendoza, año 1911). El proceso de urbanización aparejó un aumento en la demanda, tanto para agua de bebida, higiene personal, limpieza de la vivienda y disposición cloacal, que exigieron que entre 1960 y 1970 la producción subiera a 354.520 metros cúbicos por día, esto es 129.399.800 m³/año, o sea un aumento de 7.600 por ciento en unos cincuenta años.

Las cifras indicadas son en cierta forma premonitorias. En este sentido, Llop Fasciolo et al (1993) han realizado una proyección analizando la evolución de la producción de agua potable en el Gran Mendoza, desde 1994 hasta el 2025, de acuerdo con el aumento de población. De acuerdo con este análisis, la demanda de uso doméstico se va a incrementar desde **763.660 m³/día en 1994; a 954.560 m³/día, en el año 2004; 1.171.690 m³/día, en el 2014, y a 1.499.080 m³/día, en el año 2025.** Estas extrapolaciones son corroboradas, al menos hasta el año 2005, con las estimaciones de población realizadas por la Dirección de Estadísticas de la provincia ([Cuadro 18](#)).

9. Los períodos de sequías. Sus consecuencias socio-económicas

Con el fin de disponer de información sobre los impactos de las sequías sobre la economía y la sociedad mendocina en general y con énfasis especial en la agricultura, se ha analizado la escasez de caudales en los ríos mendocinos mediante la información de los periódicos, apropiadamente comparada con datos medidos.

Llama la atención que, a diferencia de lo expresado por algunos autores, el impacto de la escasez hídrica fue bastante serio durante los primeros años de implantación del modelo vitivinícola, como ocurrió en los años 1886, 1908, 1911 y 1916-17. Estas situaciones fueron agravadas por la ineficiencia de la red de riego. En 1911 se observa que a la falta derivada de la escasez de nieve en la cordillera, una generosa política de reparto de derechos eventuales de riego, que originó un descenso de la disponibilidad hídrica en los departamentos situados al este del oasis del norte: San Martín, Rivadavia y Junín. La información periodística hace evidente que, todavía en 1967-68-69 y en 1995 la falta de agua se siente más en los departamentos situados al este del oasis del norte.

Ya desde principio del siglo XX, se observa algo similar en lo que concierne al suministro de agua potable, cuya deficiencia empieza a sentirse, como era lógico esperar, con el crecimiento de la población de la Ciudad de Mendoza. La escasez se siente también con mayor intensidad en los departamentos situados en el oriente.

En este contexto es oportuno mencionar que, muchas veces, la percepción de un hecho climático, a través de la observación de su impacto, resulta diferente al proceso climático en sí mismo. En efecto, se puede observar que los periódicos muchas veces ponen énfasis en la descripción de los eventos como si todo fuera la resultante del hecho atmosférico cuando, en realidad, el impacto en sí mismo resulta de la integración de factores ambientales, del comportamiento humano y del uso del entorno ambiental.

Así, con respecto a la crecida de un río, que es un hecho derivado de una tormenta local o de tormentas que se producen en otro lugar de la cuenca, el impacto depende, inicialmente, de la ubicación del conjunto que es afectado por la crecida. En países desarrollados, donde se ordena convenientemente el uso de la tierra, no hay, como suele ocurrir en nuestro país, gentes viviendo en los valles de drenaje de los ríos, ni gente viviendo en laderas inestables de colinas o montañas, en consecuencia los efectos son distintos que los que perciben quienes viven prácticamente dentro del río.

La apreciación periodística de un hecho atmosférico, como se observa en el comienzo del verano de 1997-98, con respecto al Fenómeno de El Niño es dependiente, también, de la intensidad y la localización del efecto. Así, los habitantes de Cuyo saben que El Niño provee las nevadas que hacen posible la disponibilidad de agua; sin embargo, para la mayoría de los argentinos, la mención generalizada sobre los impactos de esta variabilidad climática sólo recae sobre sus efectos exclusivamente negativos, los excesos hídricos y sus efectos, por ejemplo, en las zonas turísticas afectadas, en las costas balnearias.

De todas maneras, la información refleja el hecho climático y, en lo que vamos a comentar, no cabe ninguna duda que para la población y los medios periodísticos, las sequías de 1967-68 y 1968-69 fueron las más graves para la agricultura y la producción de energía. Pero reconozcamos que si bien con respecto a la generación hidroeléctrica hay una relación muy directa con la disponibilidad de nieve, en el caso de la agricultura existen otros concomitantes que, como el uso del suelo o la expansión de las actividades rurales, etc, agregan elementos de peso comparable al hecho atmosférico, que definen el estado de desastre de una sequía.

Por ello, la evaluación de los procesos climáticos a partir de información periodística exige una metodología especial y, en tanto cuanto es posible, una comparación con los datos reales. Esta es la manera en que se ha procedido en este estudio.

Así, por ejemplo, la medición del impacto, realizado a partir de noticias periodísticas, es contar, sistemática y ordenadamente, la frecuencia de noticias sobre falta de agua en los ríos mendocino, por año. Las quejas por la escasez de agua aparecen, en general, durante los meses octubre, noviembre y diciembre, en los que el riego es imprescindible. Fue solamente en 1967 que las noticias sobre la falta de nieve y la posible merma de agua comenzaron ya en el mes de agosto. Es muy raro que las no-

ticias se prolonguen a los primeros meses del año siguiente, salvo en años excepcionales, cuando el agua ha sido muy escasa, como ocurrió en 1916-17, 1824-25, 1938-39 y 1968-69. Si bien se ha cortado el análisis en 1995, es importante destacar que la emergencia hídrica del año 1996 se prolongó hasta los primeros meses de 1997*.

Lógicamente, se recurre a todas las fuentes periodísticas disponible. Así, por ejemplo, un periódico (Uno, del 24 de marzo de 1997, resume lo acontecido en la temporada 1996-97, según sigue.

“Persiste la emergencia hídrica provincial”

Las intensas lluvias no han podido contrarrestar la sequía que afectó a los ríos provinciales en el período 1996-97, entre noviembre y febrero (Ver nota al pie).

En general, todos los ríos aportaron sólo entre el 50 y el 80 por ciento de lo que es habitual. La realidad fue más seca de lo previsto: 25% por debajo de lo pronosticado y casi 69% menos de los derrames históricos.

El problema de la escasez de agua persiste, sobre todo en el río Mendoza, aunque en los últimos días la disminución de caudales también se hizo notoria en el Diamante. La zona de influencia agrícola del Mendoza fue la que más sufrió las consecuencias de la sequía. Este río operó con un déficit de casi 66%, lo que obligó, por primera vez en la historia, mantener el turno del sistema de distribución en vez del sistema de agua extendida. Estos datos se desprenden del informe de la última reunión del Comité Hidrológico Provincial, realizada la semana pasada, en el Departamento General de Irrigación.

El Comité, integrado por los distintos organismos públicos que investigan el comportamiento de los ríos, analizó la emergencia hídrica de la provincia. Los técnicos coincidieron en que el período 1996-1997 fue el más bajo registrado históricamente para los meses de noviembre y diciembre. El informe señala que si bien en enero los caudales aumentaron como para aliviar la escasez del recurso, se considera que la emergencia hídrica se mantiene, ya que al comenzar febrero se observó nuevamente la disminución de los caudales... la recomendación fue mantener las medidas de uso previstas...

Para los miembros del Comité, **el uso del agua subterránea sigue siendo una de las formas más adecuadas para tratar de menguar el efecto de pobreza del recurso superficial**. Advirtieron sobre la necesidad de continuar alquilando, construyendo y reactivando perforaciones y de mantener los tendidos eléctricos.

El primer registro periodístico sobre falta de nieve en la cordillera data de noviembre de 1886, cuando el diario Los Andes informa también sobre una larga sequía en Chile. Al año siguiente continúa la grave situación, a tal punto que el 13 de octubre de 1887 el diario El Ferrocarril, reseñando la fiesta del Rosario, en las Lagunas de Guanacache, se lamenta escribiendo:

“Lástima es que las gentes pasen tantas privaciones, que es necesario palparlas para creerlas: las lagunas completamente secas, al extremo que hay que cavar pozos en los bajos más húmedos, para sacar agua de malísima calidad para beber “ Para dar agua a los caballos hay que andar no menos de una legua de distancia, fuera de la población, buscando algunos pasos que aún la conservan en la caja del río seco”.

Se ha constatado empíricamente que una alta frecuencia de nevadas no coincide siempre con una gran acumulación de nival, por lo cual varios años con frecuencia de ocurrencia anual superior a la media, como 1886, 1911, 1934, 1967-68 y 1995-96 presentan una mínima altura final de nieve, lo que se puede observar en las noticias periodísticas. En otros casos, hay coincidencia entre escasa frecuencia y poca acumulación. Otra información adicional que provee el periódico es la causa de escasez hídrica que, en la mayoría de los casos se atribuye a la falta de precipitaciones sólidas en la cordillera, en el invierno antecedente, salvo en 1966 (Los Andes 8 de diciembre de 1966) que se afirma que la falta de deshielo se debe a las bajas temperaturas.

* En relación con el año 1970 ver en el Anexo B el análisis de la tormenta registrada en enero.

El trabajo titulado "Oasis Irrigados de la Provincia de Mendoza (*Prieto M. R y R. G. Herrera, 1997*), incluye una voluminosa referencia sobre la información periodística en la que se ha basado el trabajo. Ella está a disposición de quienes se hallen interesados en profundizar sobre la metodología de este tipo de utilización de información sustitutiva(proxy data).

Limitándonos a la sequía de fines de la década del 60, ya notificada en párrafos anteriores, consideramos que es oportuno destacar que durante la misma se registró una caída del PBI provincial del orden del 35% y que la falta de agua en los ríos limitó marcadamente la producción de energía hidroeléctrica, obligando a la operación de las usinas térmicas, con el correspondiente degradamiento de la calidad ambiental (aumento de la contaminación por CO₂ y óxidos de nitrógeno).

Para quienes hemos desarrollado este estudio de vulnerabilidad, esta sequía tuvo la particularidad de producir un conjunto de reacciones importantes. El Banco de Los Andes y la Universidad Nacional de Cuyo convocaron a unas Jornadas Técnico-Científicas sobre "**El Agua y el Futuro Regional**" (Mendoza 10-14 de abril de 1973), que generaron un primer conjunto de lo que llamaremos Conclusiones-Recommendaciones, incluidas en la Síntesis Final que elaboró el entonces Licenciado M. J. P. Ramlot, que aportan positivamente a nuestro objetivo.

Esto es, a convocar a los niveles decisión política, incluidos los niveles provinciales oficiales, privados y de movimientos civiles participativos (ONGs -Organizaciones No Gubernamentales) para llevar a cabo una planificación apropiada del uso de los recursos ambientales, en particular, del recurso hídrico en esta zona de la Región Cuyana.

A este respecto, el equipo responsable de este Estudio de Vulnerabilidad de los Oasis Pedemontanos de Cuyo propone las siguientes acciones.

10. Los factores ambientales y el futuro socio-económico de la región de los oasis pedemontanos

La voluminosa información recogida, imposible de reproducir en toda su extensión en un Informe de esta naturaleza, pero que se halla a disposición de las autoridades y niveles de decisión de cada provincia involucrada, confirma el hecho conocido de la estrecha dependencia del bienestar socio-económico de la región de los oasis pedemontanos, respecto de la disponibilidad de nieve en las altas cumbres y hace evidente que **cada una de las fases de la variabilidad climática incide en la deficiencia o abundancia del recurso hídrico.**

La cuestión de los **efectos del cambio climático**, sobre cuyos impactos en la disponibilidad del recurso hídrico regional está orientado este subproyecto, aunque las dimensiones y características del área en las que se registran las nevadas -la estrecha banda de las altas cumbres- no permiten establecer escenarios futuros, con la precisión mínima necesaria, sugiere que la posible situación futura deberá ser analizada mediante una estimación de impactos integrados que, como se ha mencionado ya, dependen también de factores no climáticos - aumento de áreas bajo riego, incremento poblacional, continuidad de malos manejos del recurso, etc.

En cuanto hace a los factores climáticos exclusivamente, este análisis integrado condujo, también a **considerar el problema de la región de los oasis con su marco de tierras áridas.** A este respecto, después de haber estimado los posibles efectos del proceso de calentamiento terrestre sobre la variabilidad climática, se consideraron los posibles efectos del cambio climático en zonas vecinas y alejadas, que servirían para evaluar posibles impactos sobre la región cuyana, dependientes del cambio climático global.

Además, en relación con las nieves y glaciares en la alta cordillera, se puede prever que el calentamiento terrestre debido al efecto invernadero disminuirá la extensión de la cobertura nieve en las cumbres y que, tal y como se menciona en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC (Informe de su Grupo de Trabajo II, 1996), los glaciares andinos, salvo los del extremo patagónico del país, desaparecerán en el curso del próximo siglo. Estas circunstancias indicarían que, por lo menos, el **calentamiento terrestre influiría afectando adversamente a los mecanismos de la fusión nival estival.**

Ahora bien, en lo que hace a los efectos del cambio climático en el área de Cuyo, según lo indicamos ([ver Tabla del punto 7.4](#)) los escenarios futuros probables indican un aumento en las temperaturas y precipitaciones de invierno y verano, para los años 2025 y 2050. Los cálculos efectuados con esos datos probables, que se muestran en el Anexo D, indican cuales serían las implicaciones de esos cambios.

Para el año 2025 el escenario adoptado muestra un incremento en la evapotranspiración estival (Diciembre-Enero y Febrero) del orden de 18 mm, equivalente a un 5%, por encima de los valores actuales, mientras que para el año 2050 ese incremento estival sería del orden de 90 mm, equivalente a un 22% de los valores estacionales actuales. Además, los valores calculados indican que no habría cambios para el periodo invernal del 2025, pero en el 2050 habría también un incremento del orden del 26% (unos 63 mm más de evapotranspiración potencial), para los meses de Junio, Julio y Agosto.

En resumen, los cálculos basados en datos probables muestran que habría un aumento anual importante de la evapotranspiración hacia el año 2050.

A esta situación debe agregarse la consideración del hecho geofísico importante, destacado por F. I. Morton que indica que **las condiciones de evaporación en una zona irrigada rodeada por un desierto o por una zona árida extensa, como ocurre con la región de los oasis pedemontanos, sufre un aumento en las tasas y rapidez de evaporación.** En lo que hace a esta cuestión, también deberá tomarse en cuenta, como ya se ha indicado (ver párrafo 6.1.4), que las temperaturas sobre el suelo exceden a las correspondientes en la caseta meteorológica en 2,5°C, agregando un factor adverso adicional (ver Anexo D)

Los balances hídricos se harían más deficitarios, condición ambiental que disminuiría la eficiencia del riego, afectando a la región de los oasis con implicaciones negativas sobre la disponibilidad neta de agua.

Según fue enfatizado, el cambio climático es uno, entre otros, de los factores que deben ser tomados en cuenta, necesaria e ineludiblemente, cuando se busca el desarrollo sostenible de una región.

Recordemos ahora que la región de los oasis pedemontanos, instalada en una de las regiones áridas de Argentina, había sido un ejemplo del uso racional y efectivo del recurso faltante en la propia región: el recurso hídrico, "importado" de las nieves de la Alta Cordillera. La información sobre el gerenciamiento y el uso del agua, comentado en los párrafos anteriores, indican que ese concepto de buen ejemplo no es aplicable en la actualidad.

Aunque no se ha tenido acceso a toda la legislación sobre el uso del agua de los oasis, es sabido que se dispone de normas y reglas, las que, al estar por la información recogida, no siempre fueron aplicadas con el rigor necesario. Además, la presión poblacional y, también, algunas de carácter político-económico, llevaron a una expansión y a un cambio de usos de las áreas de los oasis que fueron llevadas a cabo sin las correspondientes **evaluaciones de impacto.**

Si bien se reconoce que no es fácil hacer evaluación de impacto cuando se carece de información básica, suficientemente densa, espacial y temporalmente y, sobre todo, confiable, puede inferirse que los niveles de decisión -tanto políticos como de empresa - hicieron caso omiso de las recomendaciones que emergieron de diferentes foros científicos y tecnológicos, convocados en la región, para resolver esta situación. Como se ha mencionado en el texto del Informe, la decadencia de los sistemas de observación ha sido generalizada y las provincias involucradas en este estudio, que también la han sufrido, se encuentran entre las más afectadas, por la sensibilidad de su recurso hídrico frente a las condiciones climáticas.

Indudablemente, ante las cuestiones tratadas en este estudio de vulnerabilidad, la trascendencia de esta situación de falencia de sistemas observacionales, aparece mucho más clara. Sin embargo, una vez más, debe enfatizarse que ella es tanto más grave cuanto estamos inmersos en una tendencia de calentamiento global, cuyos efectos regionales no son fácilmente discernibles. **Por ello, el sistema de observaciones debe, ineludiblemente, ser complementado con un sistema de monitoreo y, de ser posible, de avisos de cambios en la disponibilidad del recurso agua.** Esta será la única solución, si se desea hacer frente con éxito a una adaptación apropiada al cambio global, siguiendo una política de desarrollo sostenible.

Otros desarrollos urgentemente necesarios.

Además, **deberán priorizarse los estudios e investigaciones** a escalas apropiadas, sobre los factores geofísicos que generan el cambio climático. A este respecto, recuérdese que en la página 19 de las Conclusiones de las Jornadas sobre El Agua y el Futuro Regional, se menciona, inter alia, que: **“Un futuro regional de hondo contenido social supone la introducción generalizada en la práctica agrícola de regímenes de riego adecuados a las características de los suelos, tipos de cultivos y microclimas.”**

Esta conclusión sugiere, como se ha hecho en los segmentos correspondientes de este informe, que es **necesario iniciar estudios para definir áreas agrícolas apropiadas para cada cultivo, promoviendo la zonificación agrícola-ganadera de los oasis irrigados; evaluar la capacidad óptima y máxima del ecosistema artificial de los oasis para sustentar dichos cultivos y, fundamentalmente, para sustentar poblaciones urbanas y rurales; estudiar y definir los requerimientos hídricos de los cultivos tipo de la región, etc.**

Sobre esta información se podrán desarrollar, en forma racional e integrada, tanto las medidas a corto plazo -medidas de monitoreo y alertas- como las medidas a largo plazo, que definirá, en última instancia, los límites que la naturaleza impone al crecimiento sostenible, en esta región de Cuyo.

Según se ha indicado, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, a la vez órgano asesor científico-tecnológico de la Conferencia de las partes de la CMCCNU, lleva adelante evaluaciones científicas, de impacto y de aspectos socio-económicos del cambio climático, así como desarrolla Informes Técnicos y Especiales, y metodologías de adaptación al cambio. La información que provee el IPCC constituyen una base sólida para encarar los estudios que las autoridades involucradas deben promover sin demora alguna. En ello va el futuro económico y social de la región de los oasis.

Además, el Departamento de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Buenos Aires, que participa en el IPCC, ha desarrollado trabajos importantes en la materia, como los mencionados en este Informe, y el Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera (CIMA) del CONICET, desarrolla modelos que, en un futuro, serán la clave para el estudio del cambio climático en la región de los oasis.

Se dispone, además, de información del Centro de Predicción del Clima (Avisos de Diagnóstico), que opera la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA- USA) que está involucrada en tareas operativas que están permitiendo el uso de alertas sobre procesos de variabilidad climática, como el ENOS. En la actualidad esta información permite proveer asistencia a las autoridades del Perú y Brasil en el manejo de sus actividades productivas y de defensa comunitaria, frente a los procesos de variabilidad climática.

11. Acciones que deberían ser desarrolladas

En vista de lo expuesto en este Informe, destacada ya la limitación de la aparente flexibilidad que provee, de momento, la complementación de riego con aguas subterráneas, reconocida también la vulnerabilidad de los sistemas hidrológicos pedemontanos frente a la variabilidad climática dependiente del Fenómeno ENOS y, también, evaluados los posibles impactos del calentamiento terrestre por efecto del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, las autoridades oficiales y privadas debieran tomar en cuenta la necesidad de:

a) mejorar los sistemas de observación científica y monitoreo

b) mejorar la disponibilidad de previsiones, usando tanto cuanto fuera necesario tecnología importada, con sistemas de operación apoyados en avisos de las características de la variabilidad climática esperada (cada año).

c) implementar medidas de conservación del agua.

d) responder a la demanda creciente de agua mediante la instalación de medidores, ajuste de cupos de riego y precios apropiados.

e) establecer mecanismos institucionales que aseguren que el agua sea dirigida hacia donde es utilizada más productivamente

f) modificando las prácticas de riego agrícola

g) mejorando los manejos para casos de eventos extremos (p.e. aluviones/inundaciones) y los sistemas de alerta, evacuación y de normalización de situación, luego de concluido el desastre.

Además, tal como lo recomienda el IPCC, la autoridad designada deberá definir una serie de principios que sirvan para guiar a los gerentes actuales de los recursos hídricos en la evaluación, selección e implementación de respuestas de adaptación apropiadas. Tales estrategias deberán ser ejecutadas cuando:

1) resulten beneficiosas y justificables dentro de los criterios de evaluación que se adopten.

2) sean eficiente y de costo efectivo

3) sirvan a propósitos sociales, económicos y ambientales múltiples

4) sean adaptables a las circunstancias cambiantes y a la innovación tecnológica

5) sean compatibles con el concepto de desarrollo sostenible y

6) sean técnicamente realizables y ejecutables.

Aunque aparezca como reiterativo, abundando en la materia, en lo que hace al manejo de los recursos hídricos bajo las incertidumbres regionales relativas al cambio climático, la cuestión no es sólo si las administraciones, en este caso las provinciales, son capaces de adaptarse a la incertidumbre futura del clima regional, sino si ellas pueden realizar análisis fundados, científica y tecnológicamente, sobre los efectos potenciales del cambio climático.

Repetimos que las condiciones de temperatura y precipitación esperada para los años 2025 y 2050, se refieren exclusivamente a los llanos y, también, que no se dispone hoy modelo climático alguno que permita definir las condiciones de las nevadas en la estrecha franja de las Altas Cumbres Andinas de las cuales depende la disponibilidad hídrica de los oasis. La concurrencia de estos factores que, aumentarían la evaporación del agua disponible en la región de los oasis y afectarían, por fusión aumentada, debido al calentamiento terrestre, por lo menos cambiando las condiciones de la fusión nival estival, junto con la actual tendencia a ampliar **sin estudios previos de impacto**, el uso de los recursos hídricos, sin tener, aparentemente, en cuenta el hecho que ambos -los recursos superficiales y los subterráneos- se

nutren de la misma nieve cordillerana, integran un escenario futuro en alguna medida adverso. **Esto indica la existencia de una barrera cercana a condiciones ambientales que tenderían a limitar al desarrollo sostenible en la región.**

En vista de estas condiciones, habida cuenta de la sensibilidad de los recursos hídricos pedemontanos respecto del clima, se hace, alta y urgentemente recomendable, sugerir las siguientes medidas.

Primera medida

En cada provincia, si no lo está ya, definir cual será la institución/agencia designada provincial que se hará cargo del seguimiento de los procesos de variabilidad climática y de cambio climático y de sus efectos sobre los recursos hídricos (precipitaciones sólidas y líquidas) en las cuencas que alimentan a los oasis. Si ya existiera este tipo de institución, deberían reforzarse los procedimientos orientados a la defensa del recurso hídrico y el cumplimiento de las ordenanzas vigentes. Recuérdese que, en todos los casos, la complementación de riego con agua subterráneas es una medida que no agrega agua al sistema, que, para fines prácticos generales, única y exclusivamente depende de las nevadas en las altas cumbres.

Esta autoridad será la responsable del desarrollo de las redes de observación y monitoreo de las variables climáticas e hidrológicas que, imprescindiblemente, requiere cada provincia

Segunda Medida

Realizar los arreglos necesarios para la recepción de información sobre el comportamiento anual de la variabilidad climática, particularmente la derivada del ENOS.

Promover el estudio de otros factores de variabilidad que pudieran afectar a la región de los oasis.

Tercera Medida

Iniciar de inmediato acciones orientadas a la defensa del recurso hídrico, según se ha indicado en el párrafo 10 del Informe y de acuerdo con lo recomendado por el IPCC.

Cuarta Medida

Auspiciar la investigación científica y tecnológica de los diversos aspectos geofísicos, sociales y económicos vinculados a las condiciones actuales y al desarrollo sostenible en la región de los oasis pedemontanos y en las regiones áridas adyacentes, de cada provincia.

Tabla 1: Velocidad media por dirección y frecuencia de direcciones, anuales.
(en escala 1000)

Estación	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA
	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	f	vm	
LA RIOJA																	
La Rioja	7	15	15	13	19	13	26	13	101	15	131	15	47	13	16	11	638
Chemical*	11	12	80	18	201	14	294	14	87	12	5	13	4	14	4	11	314
Chepes*	287	12	190	16	31	6	8	8	51	9	57	13	63	7	4	10	309
SAN JUAN																	
Valle Fértil	9	11	148	3	63	13	129	15	3	13	85	15	18	11	21	11	524
San Juan	53	11	30	11	15	9	41	13	370	19	85	13	13	13	9	20	383
Jáchal	21	6	35	7	74	6	398	7	199	9	41	6	65	17	17	7	150
Valle de los Patos (Sup.)	11	7	14	9	9	9	14	13	14	13	470	15	70	11	67	9	332
MENDOZA																	
Mendoza	26	13	65	13	55	9	91	13	133	13	55	11	18	6	8	15	550
San Carlos	138	9	44	9	16	9	101	11	128	7	76	9	26	11	89	9	383
San Rafael	84	11	82	7	84	7	117	9	38	9	149	7	21	7	24	9	401
Malargüe	20	11	74	7	31	9	21	13	13	11	56	19	96	22	32	29	658

Tabla 2. Nubosidad en función de la elevación, en el lado este de los Andes.
(en por ciento)

En la latitud de Mendoza, 33°S
Período 1941 - 1960

	Enero	Julio	Año
Mendoza (827 m)	38	51	43
Villavicencio (1789 m)	27	38	38
Puente del Inca (2.720 m)	22	48	33
Cristo Redentor (3.829 m)	28	60	4

Tabla 3.- Temperaturas medias mensuales y extremas.
(En La Rioja, San Juan y Mendoza)

<i>Estación La Rioja Aero</i>													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
Temp Media	27,5	25,5	23,1	19,0	15,3	11,1	11,0	13,4	17,9	22,5	25,3	27,0	19,9
Temp. Max. Abs.	45,1	43,6	40,5	38,0	34,4	29,9	32,0	36,8	40,7	41,3	41,6	46,4	46,4
Temp. Min. Abs.	10,7	11,4	8,8	2,9	-2,8	-4,9	-5,4	-4,1	-0,6	5,8	7,1	7,7	-5,4
<i>Estación San Juan Aero</i>													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
Temp. Media	26,6	24,7	21,9	16,4	11,8	7,8	8,0	10,1	14,6	19,3	22,5	25,5	17,4
Temp. Max Abs.	42,6	42,8	40,9	34,3	35,7	32,5	33,3	35,1	36,5	38,9	41,2	44,3	44,3
Temp. Min. Abs.	7,8	7,5	2,5	-1,6	-3,3	-6,6	-8,0	-5,5	-5,1	-0,5	2,1	7,4	-8,0
<i>Estación Mendoza Aero</i>													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
Temp. media	25,1	23,2	20,4	15,5	11,6	7,9	8,0	10,0	13,9	18,2	21,1	24,1	16,6
Temp. Máx. Abs.	40,0	40,6	37,3	31,8	30,4	30,0	33,0	29,6	34,7	36,9	38,0	40,0	40,6
Temp. Min. Abs.	7,5	8,1	2,8	-0,1	-2,4	-5,4	-7,8	-5,0	-1,9	0,4	3,4	5,3	-7,8

Tabla 4. Tensión de Vapor y Humedad Relativa

<i>La Rioja Aero</i>													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
Tensión Vapor(mb)	21,4	20,8	20,0	15,2	12,3	9,0	8,3	8,3	9,8	13,0	15,0	18,9	14,3
Humedad Relativa	61	66	72	70	71	68	63	55	49	48	49	56	51
<i>San Juan Aero</i>													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
Tensión Vapor (mb)	15,8	15,3	14,8	11,1	8,9	6,5	6,1	6,0	6,8	8,8	10,5	13,8	10,4
Humedad Relativa	47	51	57	61	66	63	60	51	43	41	41	44	52
<i>Mendoza Aero</i>													
	Ene	Feb	Mar	Abr	Nay	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
Tensión Vapor (mb)	15,2	15,2	14,5	11,2	9,2	6,9	6,6	6,4	7,5	9,8	10,8	13,7	10,6
Humedad Relativa	51	57	63	65	67	63	62	54	48	50	48	51	57

Tabla 5. Valores de precipitación medias mensuales y anuales (1971-80)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
Chemical	8	6	7	4	1	1	0,6	1	2	3	5	7	45,6
Chepes	6	6	5	3	1	1	0,9	1	2	2	4	6	37,9
La Rioja	69	81	69	24	9	2	1	8	11	12	28	68	382
San Juan	20	28	10	3	1	3	1	3	2	3	8	7	89
Jáchal	45	57	20	12	1	2	2	6	3	4	3	17	142
Valle de los Patos Superior	9	6	4	20	32	64	61	18	19	15	13	4	265
Puente del Inca	4	2	2	8	55	114	52	33	22	23	4	1	320
Mendoza Aero	41	39	29	9	4	5	6	4	6	10	17	27	197
Chacras de Coria	33	37	29	12	8	6	5	6	7	14	29	34	220
San Martín	35	43	28	9	2	7	5	4	7	10	22	28	200
San Carlos	37	65	56	19	7	8	12	10	23	17	46	43	343
San Rafael Aero	42	55	46	27	6	20	9	17	28	16	52	51	369
Colonia Alvear	72	49	63	31	11	23	6	15	38	14	39	56	417
Malargüe Aero	26	35	20	18	34	36	44	15	17	14	23	28	310

Cuadro N° 1
Recursos Hídricos Superficiales (Ríos principales)

Río	Estación (años)	Período (m³/s)	Qmedio anual 1a, 1b, 1c)	N° en los mapas
San Juan	Km. 47,3	84	65,8	1
Mendoza	Usina Cacheuta	80	50,0	2
Atuel	Rincón de Atuel	86	35,0	3
Diamante	Los Reyunos	59	34,8	4
Tunuyán	Valle de Uco	11	28,7	5
Blanco	El Horcajo	43	24,1	6
Tupungato	Punta de Vacas	43	22,9	7
Desguadero	Arco de Desag.	15	14,7/26,4	(8/9')
Jáchal	Pachimoco	68	10,2	9
Vinchina	Vinchina	15	1,3	10
Atuel	Puente Sosneado	22	42,6	11
Diamante	La Jaula	24	36,1	12
Saladillo	Cañada Ancha	54	10,3	13
Grande	La Gotera	23	114,0	14
Barrancas	Barrancas	34	35,1	15

- ★ Estaciones de aforos principales
- Estaciones de aforos secundarios

Fuente: Estadísticas Hidrológicas.

Cuadro N° 2
Otros Datos Complementarios

Río	Area de la Cuenca (Km²)	Estaciones de Aforo (c/100 Km²)	Indice de Cobertura
San Juan	26700	0,5	10,5
Mendoza	34800	1,1	30,8
Diamante	16600	1,1	38,5
Atuel	9700	1,1	34,1
Tunuyán	15700	2,9	202,4
Jáchal	26700	5,5	10,5

No se ha incluido en este resumen al río Colorado por considerarlo en el Sistema Hídrico de la Patagonia. Tampoco figuran las estaciones con registros muy cortos.

Fuente: OEA-CFI. Recursos Hidráulicos de la Argentina, 1964

Cuadro N° 3
SISTEMA HIDROLÓGICO DEL RÍO DESAGUADERO – Características de los principales ríos (por su módulo)

Río	Estación	Lat.	Long.	Período	Anual [Hm ³]	Derrame [l/sKm ²]	Q específico [m ³ /s]	Q máx. día [m ³ /s]	Q mín. día [m ³ /s]	Qm anual	N°	
San Juan 1	km 47,3	31°32'	68°53'	09-10/93-94	prom.	2078	2,57	181	30,2	65,8	1	
					mín.		0,77	44	14,0	19,8		
					máx.		8,76	663	55,0	224,0		
Mendoza 2	Usina Cacheuta	33°01'	69°07'	09-10/89-90	prom.	1579	5,53	179	18,1	50,0	2	
					mín.		803	2,82	54	9,0		25,5
					máx.		3597	12,6	512	25,0		114,0
Diamante 3	Los Reyunos	34°34'	68°34'	17-18/76-77	prom.	1100	8,40	110	13,8	34,8	3	
					mín.		521	3,98	39	8,0		16,5
					máx.		2533	19,30	255	30,0		80,1
Atuel 4	Rincón del Atuel/La Ang.	35°02'	68°52'	06-07/92-93	prom.	1105	9,21	91,4	14,8	35,0	4	
					mín.		595	4,97	37,0	6,0		18,9
					máx.		2193	18,30	208,0	26,0		69,5
Tunuyán 5	Valle de Uco	33°47'	69°15'	82-83/93-94 (muy corto)	prom.	906	12,10	94,1	8,19	28,7	5	
					mín.		489	6,51	47,0	1,00		15,5
					máx.		1708	22,80	211,0	13,4		54,2
Blanco 6	El Horcajo	31°55'	69°41'	50-51/93-94	prom.	760	5,03	90,8	5,65	24,1	6	
					mín.		168	1,12	12,0	1,30		5,3
					máx.		2763	18,2	508,0	9,76		87,4
Tupungato 7	Punta de Vacas	32°51'	69°46'	48-49/93-94	prom.	723	12,7	84,0	6,31	22,9	7	
					mín.		394	6,95	34,0	2,60		12,5
					máx.		1498	26,3	293,0	13,0		47,4
Desaguadero 8	Arco del Desaguadero (Area de la cuenca: 10.212 km ²)	33°23'	67°10'	36-37/51-52	prom.	457	1,42	49,1	1,34	14,5	8	
					mín.		0	0	0	0		
					máx.		2401	7,45	306,0	9,20		76,1
Desaguadero 8'	Canalejas (Río Desaguadero y áreas vecinas sin drenaje definido)	35°11'	66°30'	87-88/93-94 (muy corto)	prom.	834	-	86,8	4,64	25,4	8'	
					mín.		79,5	-	6,1	0,5		2,5
					máx.		3419	-	313,0	21,7		108,0
Jáchal 9	Pachimoco (Area de la cuenca: 25.500 km ²)	30°13'	68°50'	21-22/89-90	prom.	321	0,40	47,7	4,97	10,2	9	
					mín.		117	0,14	6,0	2,00		3,7
					máx.		1137	1,41	214,0	10,2		36,1

No se consideran los ríos Saladillo (13), Grande (14) y Barrancas (15) por pertenecer a la cuenca del río Colorado. El Vinchinas (10) tiene módulo muy bajo (pcia. de La Rioja) y el 11 es otra estación sobre el río Atuel, cuyo interés está dado por su ubicación aguas arriba (Puente Sosneado) de El Nihuil 1 (módulo 42,6 m³/s) y el 12 corresponde al río Diamante (estación La Jaula, módulo 36,1 m³/s).

Cuadro N° 4
Distribución Anual del régimen pluviométrico

Provincia	Estación	Prec. Mínima			Prec. Máxima		
		Trimestre	mm	% total del año	Trimestre	mm	% total del año
La Rioja	Aimogasta	JJA	0,4	0,6	DEF	45	68,2
	Chepes	JJA	13,0	5,0	DEF	150	57,7
	Chilecito	JJA	7,0	3,9	EFM	110	61,8
	Gob. Gordillo	JJA	10,0	3,2	DEF	171	54,1
	LaRioja	JJA	12,0	3,7	EFM	178	54,4
	Gaspar Campos	JJA	23,0	7,7	OND	178	38,5
	Colonia Alvear	JJA	24,0	8,9	DEF	99	36,7
	Jocoli	JJA	9,0	9,1	EFM	47	47,5
Mendoza	La Dormida	JJA	11,0	5,4	DEF	91	44,6
	La Paz	JJA	15,0	6,0	DEF	131	52,4
	Malargüe	OND	45,0	19,1	EFM	70	29,8
	Mendoza	JJA	21,0	10,9	EFM	78	40,6
	Pampa del Tigre	JJA	23,0	6,6	EFM	140	40,9
	Rivadavia	JJA	17,0	8,2	DEF	74	40,6
San Juan	Cañada Honda	JJA	11,0	9,6	EFM	56	49,1
	Caucete	JJA	11,0	11,5	DEF	43	44,8
	San Juan	MJJ	7,0	7,3	EFM	52	54,2

Cuadro N° 5
Variabilidad Relativa Mensual

PROVINCIA	ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
La Rioja	Chepes	51,2	67,7	71,7	112,0	157,1	137,5	165,0	163,3	100,0	64,8	79,3	65,4	31,1
	Chilecito	64,4	58,9	80,4	82,9	85,0	140,0	106,7	116,7	100,0	86,2	83,1	66,7	38,8
San Juan	Caucete	84,2	88,5	119,0	148,9	130,0	130,0	112,5	145,0	122,9	100,0	125,0	123,6	44,6
Mendoza	Mendoza	70,7	68,5	92,7	88,2	98,2	115,0	108,6	100,0	72,5	50,5	54,7	98,4	34,9
	Gral. Alvear	66,9	79,1	93,4	94,0	86,0	114,0	112,5	94,5	88,9	62,7	82,3	64,4	30,2

Fuente: SMN Estadísticas Meteorológicas.

Cuadro N° 6

Departamentos integrantes de cada oasis

Oasis	Departamentos
Norte	Capital Godoy Cruz Las Heras Maipú Luján Lavalle Rivadavia Junín San Martín Santa Rosa La Paz
Centro	Tunuyán Tupungato San Carlos
Sur	San Rafael General Alvear Malargüe

Cuadro 7
Distribución Urbana y Rural hasta 1970, por oasis

AÑOS	NORTE		CENTRO		SUR	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
1869	9.902	47.969	0	6.181	0	1.361
1895	29.280	68.780	0	8.230	1.039	8.757
1914	127.235	97.351	2.365	11.508	6.361	32.715
1947	252.531	175.068	2.437	35.389	41.607	81.199
1960	424.848	185.990	21.053	29.380	76.997	76.460
1970	535.649	196.874	16.440	42.240	83.370	87.075

Cuadro 8
Distribución de la población por oasis, en Mendoza

Años	Norte	Centro	Sur
1869	57.871	6.181	1.361
1895	98.060	8.230	9.846
1914	224.586	13.873	39.076
1947	427.599	37.826	122.806
1960	607.805	50.433	153.457
1970	732.523	58.680	170.445

Cuadro 9
Tasa de crecimiento anual de la población de los oasis(Mendoza)

Período	Norte	Centro	Sur
1869/95	19,8	11,0	58,1
1895/14	41,3	26,9	62,8
1914/47	18,9	28,1	31,3
1947/60	22,4	22,0	17,1
1960/70	18,6	15,1	10,5

Cuadro 10
Superficie con alfalfa, en Mendoza

Año	Ha
1888	69.496
1895	82.031
1909	117.539
1914	143.820

Cuadro 11
Area de alfalfa en Mendoza
 (Año agrícola 1924/25)

Departamento	Superficie (Ha)
Capital	—
Gral Alvear	19.800
G.Cruz	48
Guaymallén	541
Junín	4.500
La Paz	523
Las Heras	6.500
Lavalle	9.000
Luján	6.796
Maipú	966
Rivadavia	7.000
San Carlos	6.300
San Martín	7.453
San Rafael	43.270
Santa Rosa	2.701
Tunuyán	9.000
Tupungato	6.000
TOTAL	115.394

Cuadro 12
Cultivos de vid y alfalfa en San Rafael (1927)

Cultivo	Superficie
Alfalfa	60.915 Ha
Viña	14.909 Ha

Cuadro 13
Evolución cobertura de servicios de agua potable. 1991/1995 - Mendoza

Año	Población									
	En Localidades					Provincia				
	Total	Servida	%	Servida por OSMSE	% de	Total	Servida	% OSMSE	Servida por OSMSE	% de
1991	1.086.594	939.962	86,51	769.184	81,83	1.413.763	1.010.337	71,46	874.254	77,62
1992	1.168.324	1.027.148	87,92	781.512	76,09	1.438.975	1.049.768	72,95	785.931	74,87
1993	1.182.106	1.131.994	95,76	824.544	72,84	1.455.708	1.158.460	79,58	827.110	71,4
1994	1.200.903	1.159.425	96,55	897.908	77,44	1.479.549	1.240.634	83,35	915.420	73,79
1995	1.276.102	1.232.027	96,55	945.134	77,44	1.572.197	1.318.321	83,35	972.743	73,79

Cuadro 14
Población con servicio de agua potable por ente prestador según departamento año 1993
Provincia de Mendoza

Departamento	Pobl. Total	Población Servida		Ente Prestador						Sin Servicio	
		Habitantes	%	O.S.M.	%	Municipio	%	Otros	%	Hab.	%
Capital	122.341	121.118	99	116.048	95,8	0	0	5.070	4,2	1.223	1
Godoy Cruz	186.674	170.297	91,23	170.297	100	0	0	—	0	16.377	8,77
Guaymallén	232.873	199.629	85,72	158.336	79,3	1.248	0,6	40.045	20,1	33.244	14,28
Gral. Alvear	42.549	30.476	71,63	24.689	81	0	0	5.787	19	12.073	28,37
Junín	29.078	19.228	66,13	13.853	72	909	4,7	4.466	23,2	9.850	33,87
Las Heras	163.597	135.688	82,94	116.843	86,1	0	0	18.845	13,9	27.909	17,06
La Paz	8.169	6.789	83,11	6.789	100	0	0	0	0	1.380	16,89
Lavalle	27.505	10.880	39,56	8.281	76,1	0	0	2.599	23,9	16.625	60,44
Luján de Cuyo	83.999	66.846	79,58	18.164	27,2	46.753	69,9	1.929	2,9	17.153	20,42
Maipú	126.751	103.469	81,63	0	0	95.361	92,2	8.108	7,8	23.282	18,37
Malargüe	22.838	15.525	67,98	13.838	89,1	0	0	1.687	10,9	7.313	32,02
Rivadavia	47.813	35.340	73,91	23.047	65,2	0	0	12.923	34,8	12.473	26,09
San Carlos	24.731	14.656	59,26	14.388	98,2	0	0	268	1,8	10.075	40,74
San Martín	100.475	76.904	76,54	60.407	78,5	0	0	16.497	21,5	23.571	23,46
San Rafael	161.203	106.000	65,76	82.285	77,6	843	0,8	22.872	21,6	55.203	34,24
Santa Rosa	14.396	7.931	55,09	7.709	97,2	0	0	222	2,8	6.465	44,91
Tunuyán	37.076	26.424	71,27	10.136	38,4	0	0	16.288	61,6	10.652	28,73
Tupungato	23.640	11.264	47,65	0	0	9.016	80	2.248	20	12.376	52,35
TOTAL	1.455.708	1.158.464	80	845.110	73	154.130	13	159.224	14	297.244	20

Cuadro 15
Producción de Agua Potable en el Gran Mendoza (en m³)

Años	Superficial	Subterránea	Total
1987	105.718.000	1.881.000	107.599.000
1988	114.834.000	2.646.000	117.480.000
1989	119.892.000	6.479.000	126.371.000
1990	127.614.000	12.536.000	140.150.000
1991	141.888.000	20.127.000	162.015.000
1992	144.000.000	22.281.000	166.282.000
1993	144.858.000	10.517.000	155.375.000
1994	142.293.902	6.958.477	149.252.379
1995	127.665.183	9.054.994	136.720.177
1996	135.098.574	15.696.132	150.794.706

Fuente: Obras Sanitarias Mendoza S.E. Gerencia de Planeamiento-División Estadísticas.

Cuadro 16
Cantidad de usuarios de agua potable años 1960/70

Entidades proveedoras	Población actual	Usuarios		Total
		Superficie	Subter.	
O.S.N.	522.249	368.057	67.971	436.028
Municipalidad	123.129	72.566	12.826	85.392
DOSS	32.810	20.410	9.096	29.506
DOSS-SNAP	26.234	7.535	15.878	23.413
Cooperativas	25.432	12.194	12.496	24.690
TOTAL	729.864	480.762	118.267	599.029

Cuadro 17

Entidades proveedoras	PRODUCCIÓN		TOTAL
	Superficie	Subter.	
O.S.N.	250.800	35.000	285.800
Municipalidad	38.000	5.100	43.100
DOSS	8.800	3.620	12.420
DOSS-SNAP	1.800	7.360	9.160
Cooperativas	2.420	1.620	4.040
TOTAL	301.820	52.700	354.520

Cuadro 18
Población total por departamentos estimada al 30 de junio de cada año (1)
1991-2005. Mendoza.

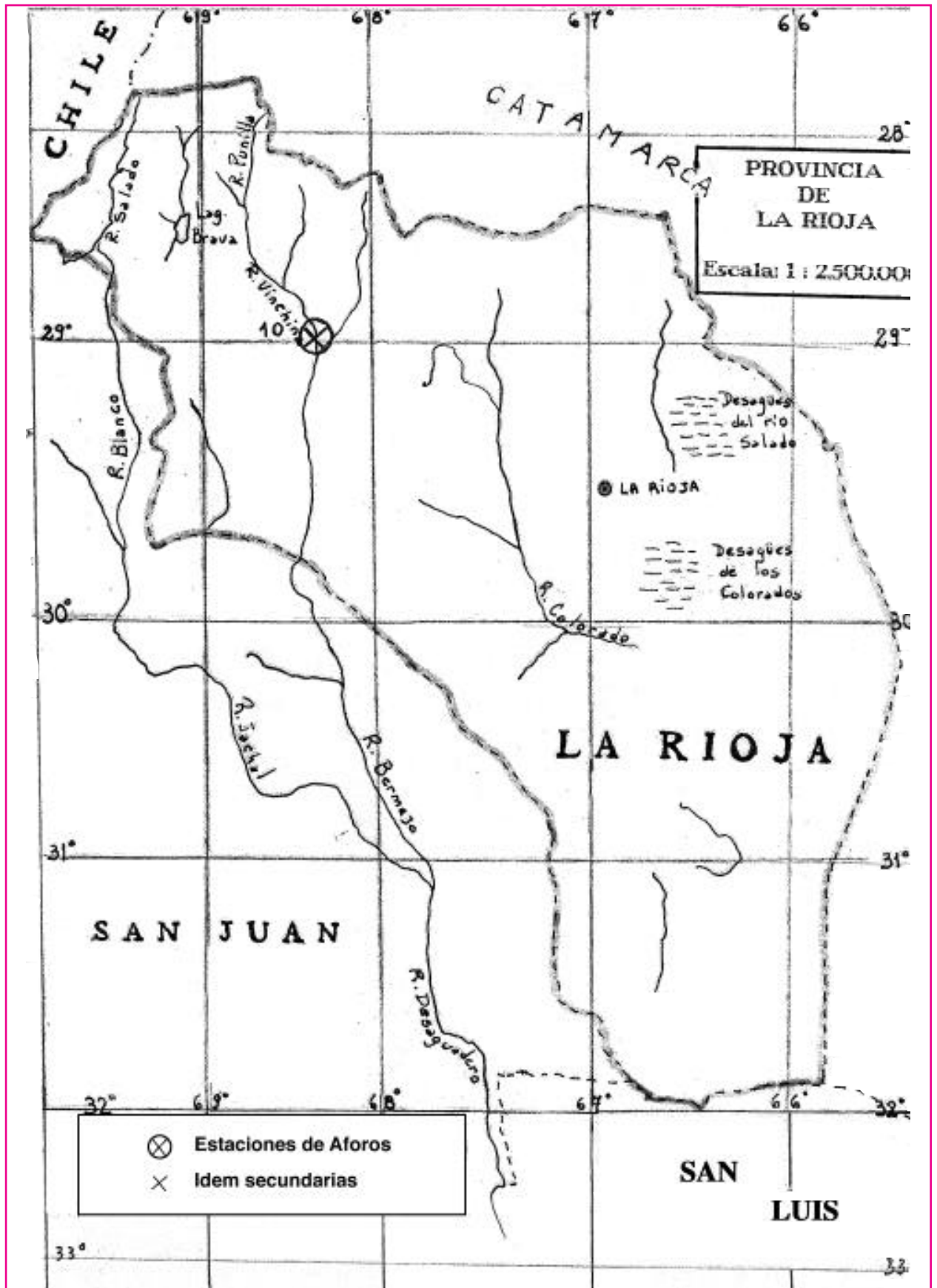
POBLACIÓN ESTIMADA AL 30 DE JUNIO											
DEPARTAM.	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2005
Capital	123.128	122.820	122.911	122.986	123.031	123.046	123.045	123.027	122.995	122.949	122.551
Gral. Alvear	42.872	42.707	42.696	42.680	42.654	42.619	42.579	42.534	42.485	42.431	42.117
Godoy Cruz	181.394	185.257	188.896	192.543	196.173	199.785	203.394	206.998	210.597	214.190	232.036
Guaymallén	224.226	228.187	232.014	235.832	239.606	243.343	247.055	250.748	254.416	258.063	275.927
Junín	28.743	28.961	29.215	29.465	29.706	29.938	30.165	30.386	30.602	30.813	31.794
La Paz	8.103	8.138	8.189	8.238	8.285	8.330	8.373	8.415	8.455	8.493	8.667
Las Heras	158.071	161.929	165.511	169.114	172.716	176.316	179.928	183.549	187.178	190.815	209.075
Lavalle	27.278	27.453	27.669	27.879	28.082	28.277	28.466	28.649	28.828	29.002	29.803
Luján	80.736	82.652	84.435	86.227	88.078	89.805	91.597	93.391	95.189	96.989	106.004
Maipú	126.559	129.584	132.398	135.227	138.054	140.878	143.708	146.544	149.385	152.230	166.489
Malargüe	21.952	22.515	23.035	23.558	24.083	24.608	25.136	25.666	26.198	26.731	29.422
Rivadavia	47.582	47.828	48.155	48.479	48.779	49.070	49.352	49.624	49.888	50.143	51.305
San Carlos	24.411	24.641	24.892	25.140	25.380	25.614	25.843	26.068	26.287	26.503	27.519
San Martín	99.416	100.188	101.082	101.958	102.804	103.622	104.420	105.199	105.960	106.702	110.162
San Rafael	160.121	160.889	161.945	162.972	163.952	164.885	165.786	166.657	167.498	168.311	171.995
Santa Rosa	14.427	14.309	14.257	14.204	14.149	14.092	14.035	13.976	13.918	13.859	13.565
Tunuyán	36.096	36.705	37.298	37.888	38.472	39.048	39.620	40.189	40.753	41.313	44.048
Tupungato	22.579	23.225	23.816	24.414	25.015	25.619	26.227	26.841	27.459	28.081	31.247
TOTAL	1.427.704	1.447.988	1.468.414	1.488.799	1.508.959	1.528.895	1.548.729	1.568.461	1.588.091	1.607.618	1.703.726

Nota: (1) Estas estimaciones se apoyan en el crecimiento intercensal que engloba la evolución de la fecundidad, la mortalidad y la migración del período 1980-1991. Las mismas han sido elaboradas partiendo de supuestos relativos a comportamientos demográficos históricamente regulares. ("Estimaciones de la Población por departamento Período 1990-2005". Serie Análisis Demográfico N° 8. Pág. 5. INDEC).

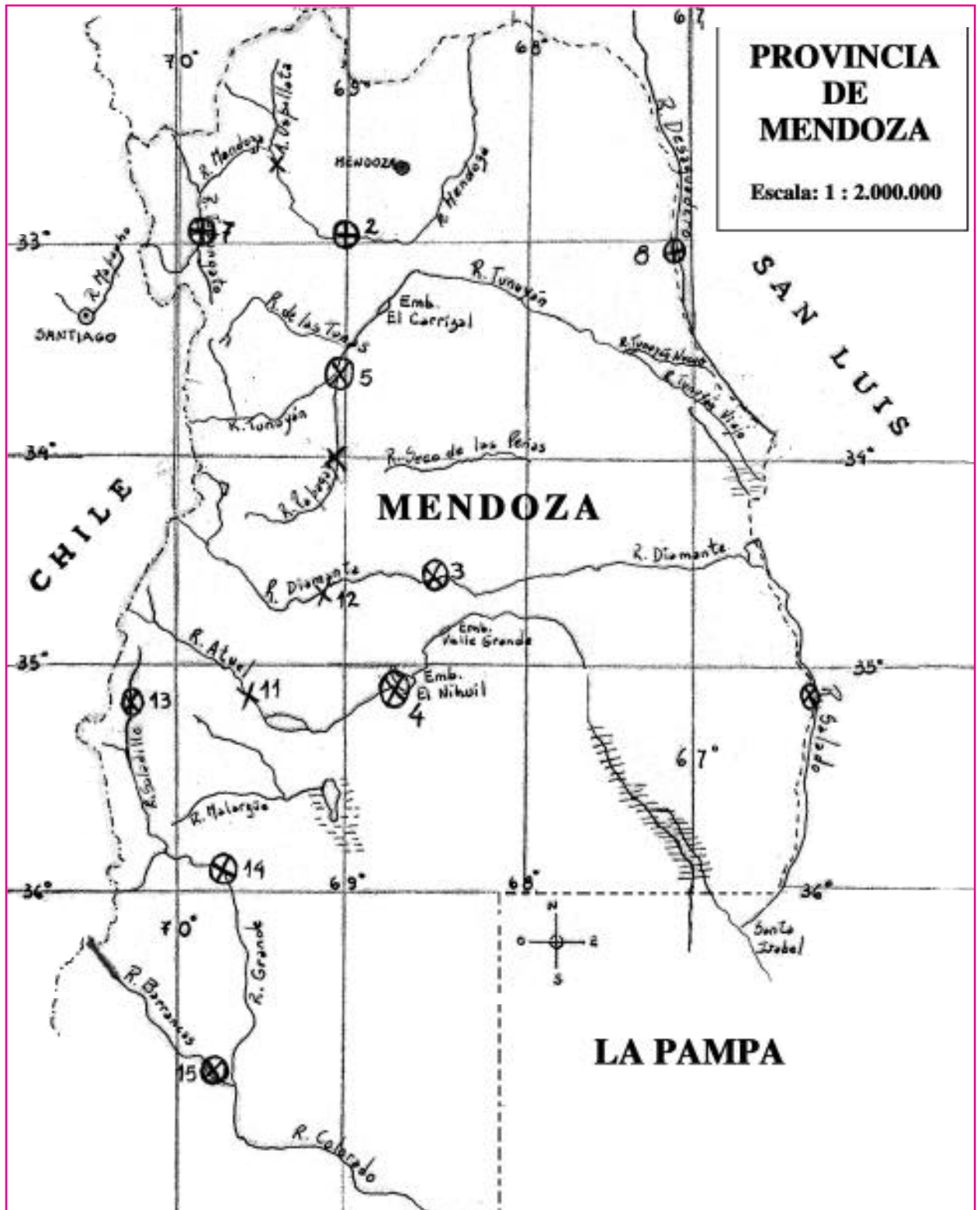
Fuente: La fuente para el año 2005 es: INDEC. "Estimaciones de la Población por departamento Período 1990-2005". Serie Análisis Demográfico N° 8.

La fuente para el resto de la información es: INDEC-CELADE. Documento de Trabajo Inédito realizado sobre la base de la desagregación de la proyección provincial de la "Serie Análisis Demográfico N° 8".

Sistema Hidrográfico de la Provincia de La Rioja
Mapa 1 a) La Rioja



Sistema Hidrográfico de la Provincia de Mendoza
Mapa 1 c) Mendoza



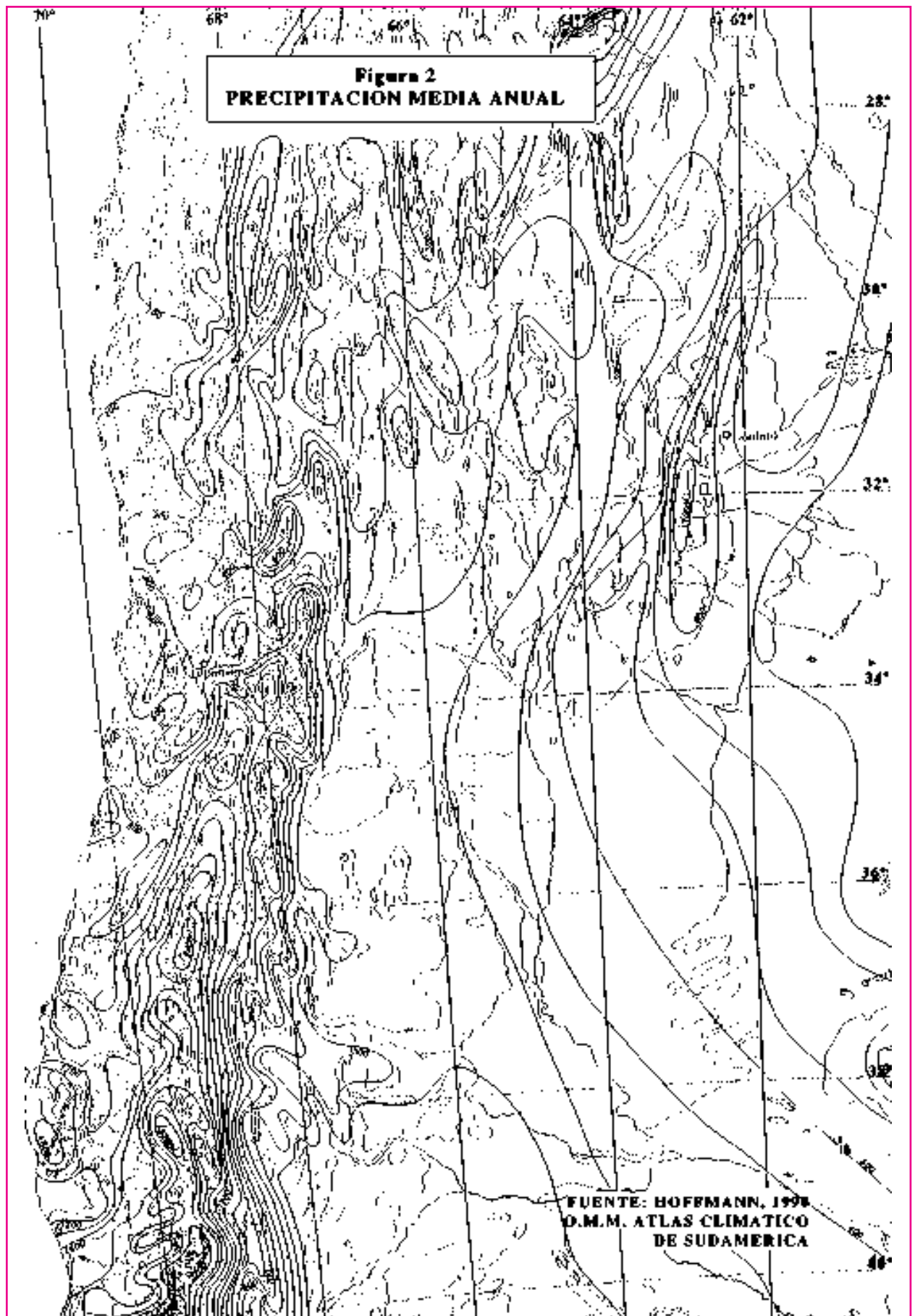


Figura 2
PRECIPITACION MEDIA ANUAL

FUENTE: HOFFMANN, 1998
O.M.M. ATLAS CLIMATICO
DE SUDAMERICA

Figura 3
Variaciones de la Temperatura Media Anual, en Superficie
1901–1995

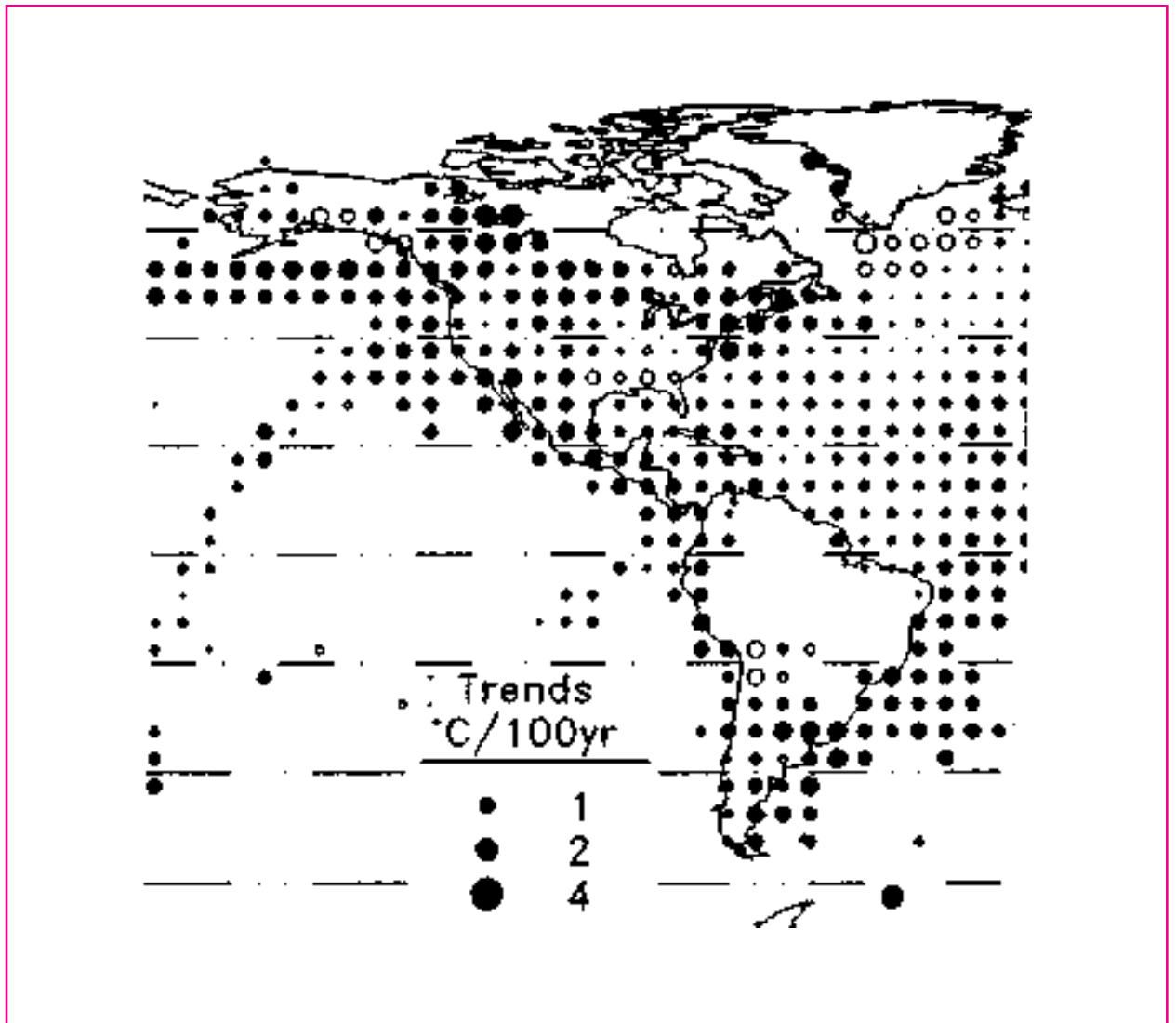


Figura 4
Variaciones de la Precipitación Anual
1901-1995

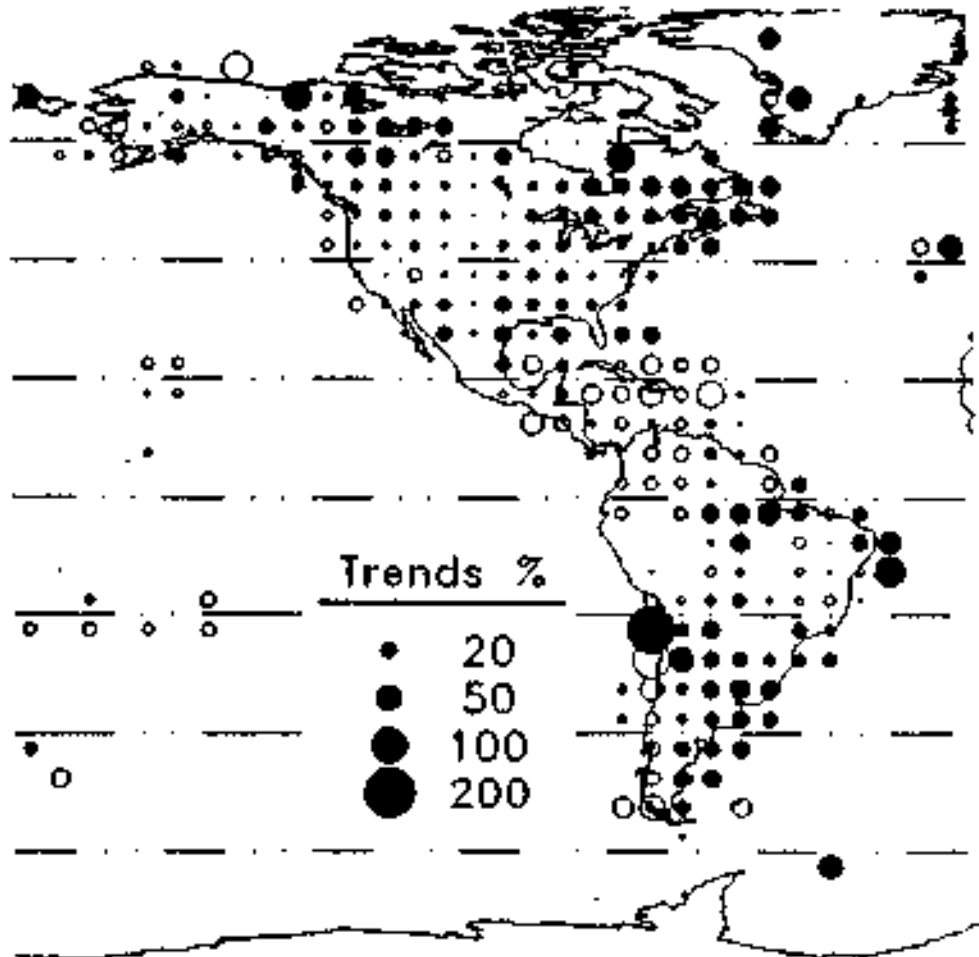
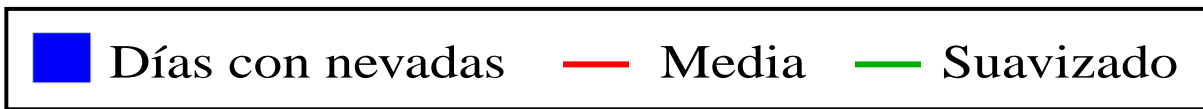
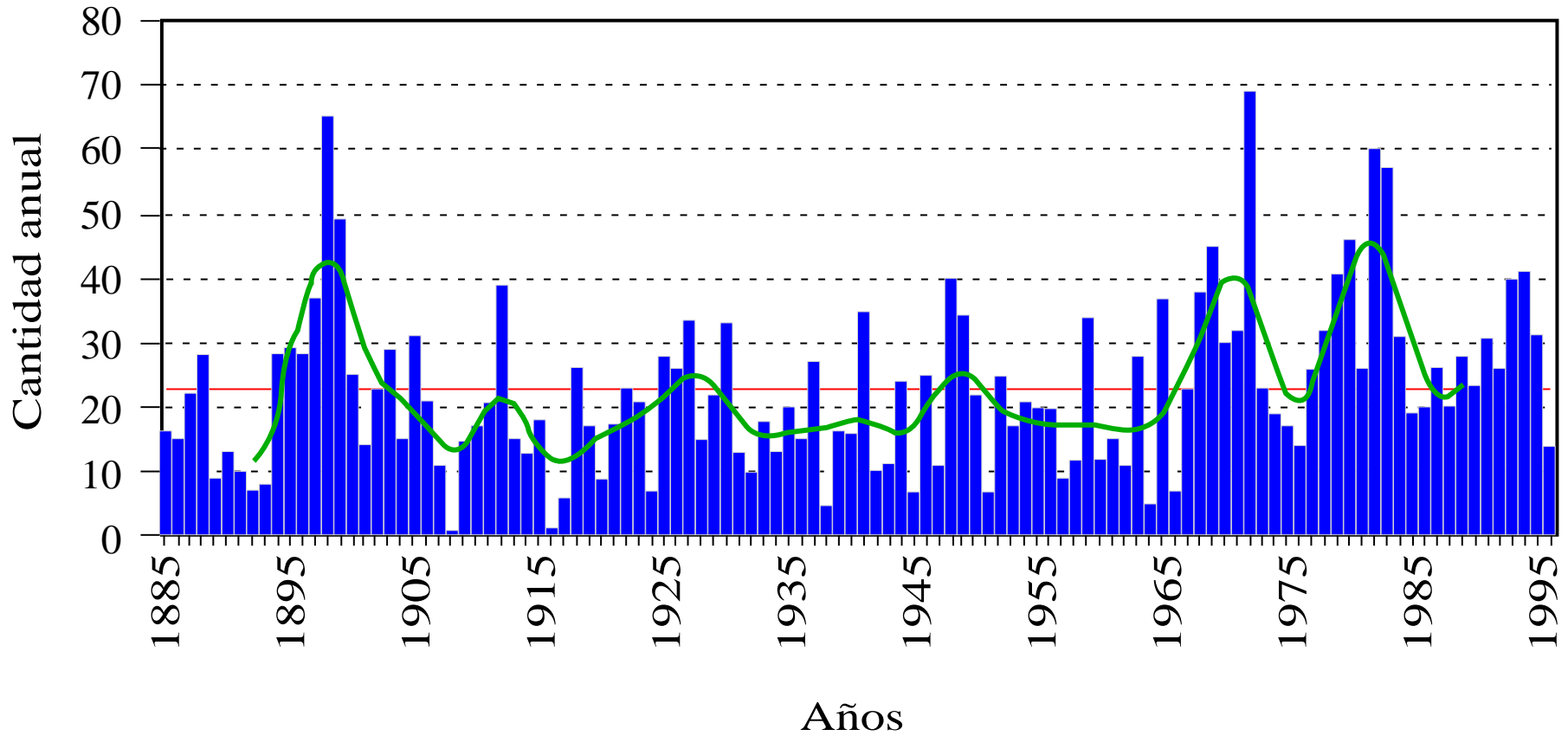
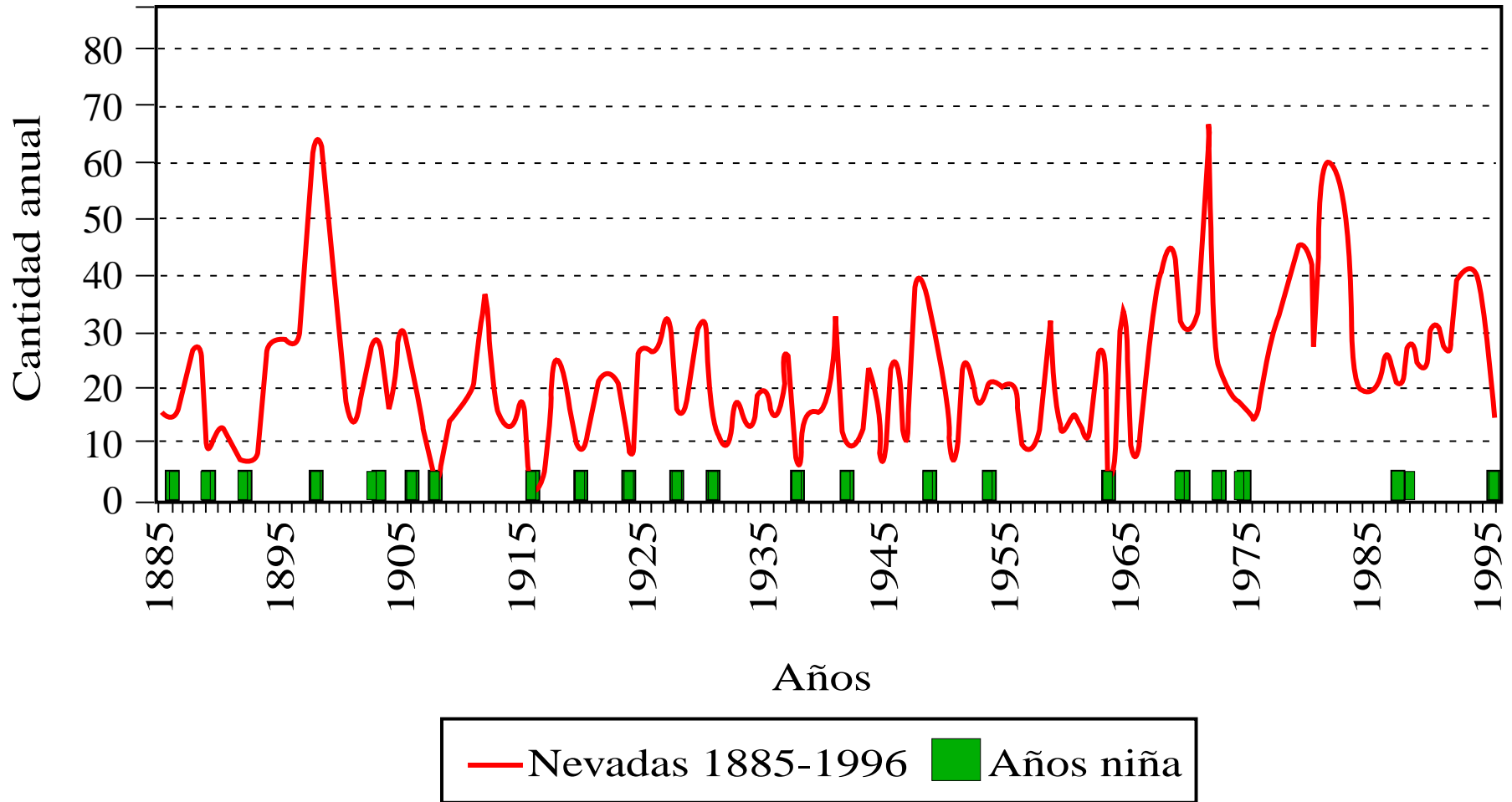


Figura 5
Nevadas entre 1885 y 1996



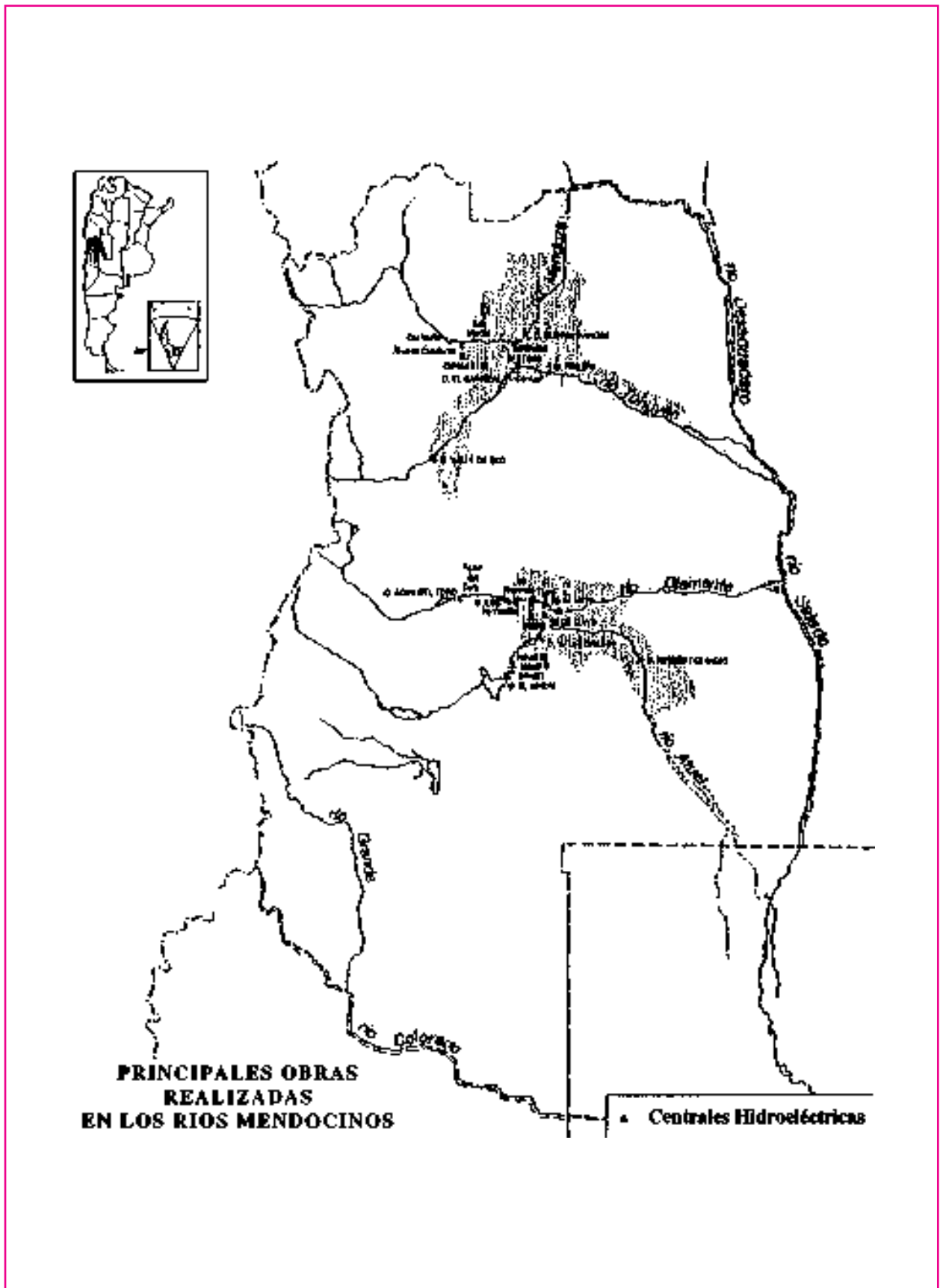
Días con nevadas en cordillera en el período 1885–1996, en barras.
En el trazado se aprecian los ciclos de mayor y menor frecuencia de nevadas en 98 años.

Figura 6
"La Niña" y las nevadas.



Frecuencia anual de días con nevadas en cordillera (1885–1996) y años con presencia de Niña.
Obsérvese que generalmente hay coincidencia entre la disminución de la frecuencia anual de nevadas en Cordillera y la presencia de un año con Niña.

Figura 7
Oasis irrigados de la Provincia de Mendoza



Anexos

Cálculo de los Balances de Agua

En las figuras 1, 2 y 3, y en las planillas adjuntas se detallan los valores de: la precipitación media (\overline{P}), la temperatura media (\overline{T}), la evapotranspiración (ETP) calculada con la fórmula de Penman, ídem medida en tanque tipo A, todas referidas a períodos mensuales y anuales.

Como la fórmula de Penman no es muy aplicable a zonas áridas, se han calculado (a nivel mensual) valores del tanque A multiplicados por 0.7. En este caso por no haber almacenaje, no se ha aplicado el método de Thornthwaite y Matter (1952). La deficiencia del agua es de 600 mm/año en promedio. Los resultados ponen de relieve el gran déficit de agua, la ausencia total de almacenaje, lo que ya se había señalado en el capítulo que se denominó CLIMATOLOGÍA DEL AGUA.

La falta de almacenaje de agua en una gran extensión del país (es máxima en la provincia de San Juan) explica la ausencia de ríos caudalosos que lo crucen de E a O, a excepción de los que son alimentados por deshielos en la Cordillera. Esta característica de los ríos del O de la Argentina, la hacen muy vulnerable al impacto del fenómenos atmosféricos que produzcan calentamiento en las fuentes de alimentación o a procesos como “La Niña” que perturban la circulación general de la atmósfera tal como lo han señalado muchos autores (Aceituno, Vargas, Baroos, etc.)

Estas consideraciones son válidas para valores medios, pero los escasos casos en que se producen lluvias torrenciales, la infiltración es grande y el almacenaje es transitorio, como se vio en Climatología del Agua. Esta situación es la que exige la necesidad del riego (por aguas de superficie y subterráneo). Es interesante destacar que el carácter seco de gran parte del territorio de nuestro país, se debe, en parte a que el invierno es una estación de consumo y no de reserva de agua. En cambio en las latitudes comparables del hemisferio norte, las temperaturas invernales marcadamente más bajas, atenúan o anulan la evapotranspiración y facilitan así la acumulación de agua, en forma de hielo y nieve. Esta reserva proporciona en primavera abundante humedad al suelo y agua de derrame en las cuencas que disponen de ella. En la Climatología del Agua se ha visto que pocas veces se sobrepasa el límite de marchitez y, prácticamente, nunca se llega a la capacidad de campo.

La relación de humedad (Thornthwaite, 1948) se expresa por la ecuación

$$\frac{P - ETP}{ETP}, \text{ generalmente calculada para cada mes del año. Por ejemplo para La Rioja,}$$

$$\text{en enero } \frac{74,7 - 171}{171} = -0,56; \text{ para Mendoza, en enero } \frac{31,2 - 172}{172} = -0,81, \text{ y para San}$$

$$\text{Juan, también para el mismo mes } \frac{18,1 - 182}{182} = -0,90 \text{ (el valor de mayor aridez)}$$

LA RIOJA

(Aero) Períodos: (\bar{P}) 1901-1997| (\bar{T}) 1951-1970| (ETP)1941-60|

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año (mm/año)
\bar{P}													
Precipitación media (mm)	74.7	77.1	57.3	18.9	9.2	3.2	3.3	4.8	6.9	18.6	34.5	52.0	349.5
\bar{T}													
Temperatura media (°C)	27.6	26.0	23.5	19.6	15.3	11.2	10.8	13.9	18.0	22.2	25.3	27.1	200.0
ETP													
Evapotransp. potencial Penman (mm)	171	133	112	74	44	30	35	57	87	121	156	179	1200
ETP ★	183	140	129	90	63	57	57	90	120	135	162	180	1406
(tanque x 0.7) (mm) ●	5.9	5.0	4.3	3.0	2.1	1.9	1.9	3.0	4.0	4.5	5.4	6.0	-

Referencias

★ ETP (medida en tanque x coeficiente 0.7) en mm/mes

● ETP (medida en tanque x coeficiente 0.7) en mm/día

Comentarios

• No se ha efectuado el balance por Thornthwaite, porque en ningún momento hay almacenaje de agua.

(Ver Climatología del Agua. En todos los meses hay déficit.)

• Llama la atención el alto valor de la evapotranspiración medida en tanque (multiplicada por 0.7 coeficiente medio) que excede en 200 mm/año la calculada por Penman.

LA RIOJA

(Aero 2) *Períodos: (\bar{P}) 1901-1996/ (\bar{T}) 1901-1996/ (ETP)1941-60/*

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año (mm/año)
\bar{P} Precipitación media (mm)	18.1	20.7	10.5	2.5	2.0	2.4	3.1	3.4	3.4	3.3	6.1	10.9	91.6
\bar{T} Temperatura media (°C)	25.8	24.4	21.5	16.5	11.9	8.4	8.2	10.9	14.6	18.5	22.1	24.6	170.2
ETP Evapotransp. potencial Penman(mm)	182	149	125	74	44	29	33	57	88	125	163	190	1259
ETP ★ (tanque x 0.7)	168	140	126	84	51	45	45	63	93	123	162	-	1106
(mm) ●	5.6	5.0	4.2	2.8	1.7	1.5	1.5	2.1	3.1	4.1	5.4	-	-

Referencias

★ ETP (medida en tanque x coeficiente 0.7) en mm/mes

● ETP (medida en tanque x coeficiente 0.7) en mm/día

Comentarios

- No se ha efectuado el balance por Thornthwaite, porque en ningún momento hay almacenaje de agua. (Ver Climatología del Agua. En todos los meses hay déficit.)

DATOS PARA LOS BALANCES

MENDOZA

(Observatorio) Períodos: (\bar{P}) 1896-1995/ (\bar{T}) 1901-90/ (ETP)1901-60/

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año (mm/año)
\bar{P}													
Precipitación media (mm)	31.2	31.7	27.2	11.9	10.1	7.5	7.2	7.7	13.3	20.3	23.5	26.6	213.0
\bar{T}													
Temperatura media (°C)	23.6	22.4	19.7	15.1	11.0	7.6	7.7	9.8	13.6	16.7	20.0	22.8	15.8
ETP													
Evapotransp. potencial Penman (mm)	172	135	101	59	33	28	34	53	80	115	152	178	1220
ETP ★	174	143	111	78	69	48	57	75	99	126	156	177	1200
(tanque x 0.7) (mm) ●	5.8	5.1	3.7	2.6	2.3	1.6	1.9	2.5	3.3	4.2	5.2	5.9	-

Referencias

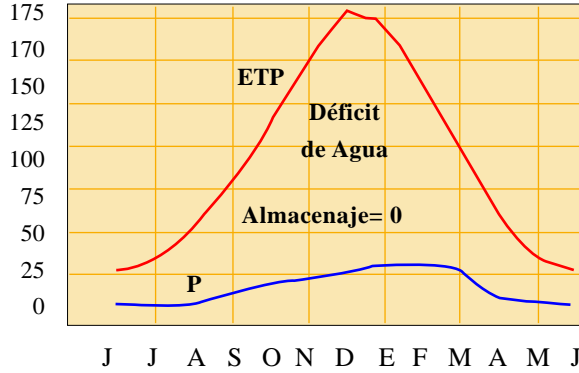
★ ETP (medida en tanque x coeficiente 0.7) en mm/mes

● ETP (medida en tanque x coeficiente 0.7) en mm/día

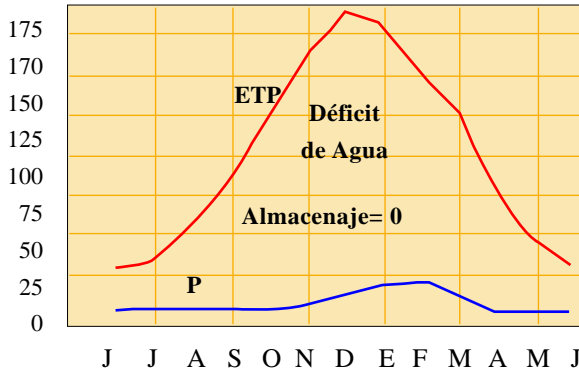
Comentarios

- No se ha efectuado el balance por Thornthwaite, porque en ningún momento hay almacenaje de agua. (Ver Climatología del Agua. En todos los meses hay déficit.)

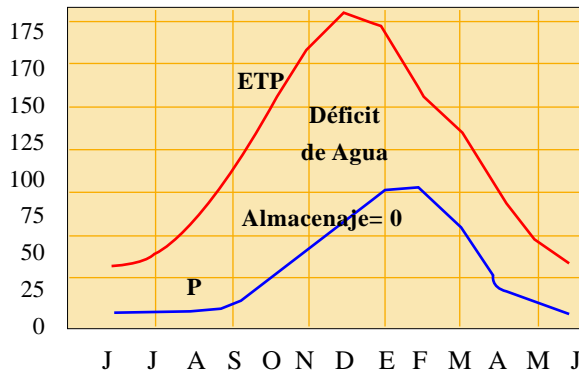
MENDOZA, BALANCE HÍDRICO



SAN JUAN, BALANCE HÍDRICO



LA RIOJA, BALANCE HÍDRICO



Anexo B

Los Aluviones en las Provincias de Cuyo

Aperiódicamente, pero con gran magnitud, se producen estos fenómenos naturales altamente destructivos. Un aluvión es una masa heterogénea formada por piedras, hielo, nieve, barro, árboles, que avanza con velocidad en la falda de las montañas. En el caso particular de los oasis del oeste, se originan en la Cordillera y Precordillera de los Andes.

El más importante de los tiempos actuales (siglo XX) ha sido el producido en la ciudad de Mendoza, el 4 de enero de 1970, como consecuencia de la ruptura del Dique Frías que siguió su cauce, derivó al canal Guaymallén y produjo una gran inundación por desborde, arrasando a su paso autos y toda clase de elementos, incluso animales ahogados.

A raíz de este evento el Gobierno de la Provincia formó una Comisión de Emergencia y contrató una empresa especializada en el estudio integral del fenómeno, así como las medidas adecuadas para prevenir la ocurrencia de hechos similares. El autor de este informe tuvo la oportunidad de actuar en aquella oportunidad y participar en el estudio que se efectuó.

El objetivo del estudio fue abarcar distintos elementos que incidieron en el aluvión:

1. Trazado de las curvas cantidad-duración-área, incluyendo el trazado de mapas de isohietas, su planimetrío y cálculo de volumen de lluvia caída.
2. Cálculo de la lluvia máxima en el menor período compatible con la información disponible. Este objetivo involucra la determinación de series pluviométricas, cálculo de probabilidad, determinación del período de retorno y caracterización del tiempo de precipitación máxima.
3. Formulación de un modelo para el estudio de la precipitación máxima probable sobre cauces de distintas características.
4. Recomendación de medidas adecuadas para la instalación de una red observacional, el proceso de la información y su difusión.
5. Posteriormente (varios años después) se diseñó un sistema telemétrico de alarma, que está actualmente en funcionamiento.

Cabe señalar que la magnitud del fenómeno fue desproporcionado con respecto al área de la cuenca del arroyo Frías (casi siempre seco), que es de 30 km² aproximadamente.

El *régimen de precipitación* de la zona, se estudió en base a la red pluviométrica de la provincia de Mendoza, que era supervisado por el Servicio Meteorológico Nacional y por el Departamento General de Irrigación. La densidad de la red era baja (hoy es menor) aproximadamente 10 estaciones por cuadrante de 2° x 2°. En aquel momento en el N de la provincia de Buenos Aires era de 45, en Córdoba era de 30 y en la región mediterránea más de 20. Esta situación se agravaba por la mala distribución, que era crítica en algunas zonas, especialmente en la región cordillerana y su piedemonte. Había 8 pluviógrafos (SMN) y otros 9 (DGI). (Fig. N°1).

La posterior paralización de las redes ferroviarias (en cuyas estaciones estaban ubicados los pluviómetros) hizo más crítica la situación, especialmente por la aridez de la zona que exige mayor cobertura.

Otro aspecto a tener en cuenta, al estudiar los regímenes de precipitación puntual de estaciones cercanas, son la extensión de las series de observaciones y la contemporaneidad de las mismas. En el estudio que estoy comentando, los registros de las cuatro estaciones básicas (Mendoza Observatorio, Mendoza F. C., Chacras de Coria y Mendoza Aero, ésta última en El Plumerillo) difieren en ambos aspectos, por lo que fue necesario efectuar un ordenamiento de los valores estadísticos.

El *instrumental* observacional fue el pluviómetro tipo A hasta 1932 y desde esa fecha hasta hoy, dicho aparato fue reemplazado por el tipo B. El pluviómetro tipo A es de forma irregular y su boca de recepción tiene 12,5 cm de diámetro; el tipo B es cilíndrico, con 16 cm de diámetro.

Según Hoffmann (1970) es corriente, que por errores u omisiones en la observación y en la anotación, la información no resulta fidedigna, especialmente la proveniente de estaciones que operan en puestos no pertenecientes a la red del S. M. N. Dada la baja densidad de estaciones meteorológicas, no se pueden desechar los datos provenientes de dichos puestos (generalmente estancias y establecimientos vinculados con el agro); en este caso se efectuó un control de calidad, estudiando los cam-

pos pluviométricos diarios. Como características más comunes los puestos acusan sistemáticamente menos precipitación que las estaciones de la red, anotan en un día la suma de días consecutivos, omiten la lectura en días feriados y otras fallas. Comparando las series no registran precipitaciones diarias de hasta 1 mm y las comprendidas entre 1 y 5 mm aparecen con menor frecuencia que las de la red (Quintela, 1987).

Las series depuradas han eliminado gran parte de los errores (se desecharon las frecuencias de puestos pluviométricos) pero aún así debe estimarse un error probable del 10%.

La marcha anual de la precipitación. Al estudiar la distribución de la lluvia durante el año, utilizando promedios mensuales, se redujeron las observaciones a meses de igual duración. La [fig. N° 2](#) muestra algunos histogramas que indican el predominio de lluvias de verano.

La *frecuencia* de días de lluvia se han tabulado en la [tabla N° 1](#) (figuras en el texto) que contiene los promedios mensuales (mm) y la frecuencia media y anual de lluvia > 1,0 mm.

La *densidad de lluvia* es la relación entre la media mensual o anual de la lluvia y el promedio de frecuencia correspondiente. El valor anual correspondiente para Mendoza es 7,5, muy bajo, compatible con las características de precipitación en la zona.

La *variabilidad* no se ha efectuado con un registro de 40 años en Mendoza Aero, epicentro de la zona en estudio, por su récord menor. Aunque las series de precipitación no ajustan con una distribución normal, teniendo en cuenta el largo registro de Mendoza Observatorio, se ha efectuado un cálculo de variabilidad, asumiendo, en primera aproximación que esta distribución es correcta.

Se calculó el valor de las desviaciones de cada año con respecto a la media de 40 años:

$$(P = 192 \text{ mm}), \text{ siendo } \delta = P - \bar{P}$$

La frecuencia obtenida fue:

Entre -3δ y $-2\delta = 1$

Entre -2δ y $-\delta = 4$

Entre $-\delta$ y $0 = 17$

Entre 0 y $+\delta = 14$

Entre $+\delta$ y $+2\delta = 4$

Entre $+2\delta$ y $+3\delta = 2$

- La variabilidad media = 58,0 mm (30,2 %)
- Coeficiente de dispersión = 78,3
- Desviación estandar $s = 0,741$ (teórico en distribución normal (0,792))
- Coeficiente de variabilidad CV = 0,387
- Error probable F % = 4%

Estudio hidrometeorológico de precipitación en la zona

Se efectuó el análisis cantidad–duración–área del régimen de lluvias, a fin de determinar las cantidades máximas de precipitación en distintos períodos y áreas. Para determinar la precipitación media se utilizó el método de las isohietas.

En líneas generales, se pudieron obtener:

- a) información pluviográfica resultante de las tormentas seleccionadas.
- b) intensidad máxima media de lluvia en cada estación pluviográfica; para períodos variables de las estaciones sin registrador solo es posible obtener información suplementaria por medio de curvas de masa.
- c) lluvias contemporáneas (acumuladas) para todas las estaciones dentro de la tormenta, tabuladas para períodos crecientes con iguales incrementos de tiempo.

Estos valores se utilizan para trazar:

- 1) mapas de isohietas, para períodos cortos.
- 2) curvas acumuladas representando la altura promedio de lluvias contemporáneas en diferentes zonas del área de la tormenta. Estos datos son útiles para estudiar las relaciones lluvia–escurrimiento en cuencas de drenaje.
- 3) curvas de cantidad–duración, representando la altura media máxima de lluvia caída, en varios períodos de tiempo, sobre áreas variables. Estos datos pueden usarse a fin de estimar la tormenta máxima posible que se usará como base para determinar las capacidades de presas o protectores de crecidas.

Selección de tormentas. Para efectuar la selección de tormentas críticas se realizó el análisis de 5 en 5 minutos de 256 lluvias, se calculó la intensidad máxima de 400 lluvias y se efectuó la lectura de fajas de pluviógrafo de 794 lluvias.

De este análisis surgieron como tormentas más intensas las correspondientes a los días 31 de diciembre de 1959 y 4 de enero de 1970. La primera fue la mayor y la segunda produjo el aluvión de Frías.

En la [tabla N° 2](#) se muestran los datos contemporáneos para varias estaciones de la zona de la segunda tormenta. De su lectura surge el carácter sumamente local de las precipitaciones pudiéndose observar que entre las 18 y 18,30 horas, precipitan en Charcas de Coria 45 mm y en el mismo intervalo solo 0,2 mm en Mendoza.

Este hecho agudiza el inconveniente de la carencia de información en la parte superior de la cuenca de Frías, donde se presume que se han producido focos de precipitación intensa según surge del volumen de agua derramada por el cauce. Esto impide tener seguridad con respecto al campo de isohietas trazado, ya que, parcialmente, ha sido necesario extrapolar los valores conocidos en base a datos de derrame. Los datos de muchas de las estaciones son de registro semanal, por lo cual el análisis solo ha sido posible realizarlo de 30 en 30 minutos.

En base a los datos obtenidos de las fajas de los pluviógrafos de registro diario de las estaciones Mendoza Observatorio y Chacras de Coria, se seleccionaron para cada estación las lluvias máximas para 5,10,15,30,45,60 y 90 minutos.

Para Mendoza y Chacras de Coria se trazaron las curvas de probabilidad, no pudiendo hacerse lo mismo para Mendoza Aero (El Plumerillo) por el registro insuficiente (7 años).

La [fig. N° 3](#) muestra las rectas de probabilidad para la estación Mendoza Observatorio, para los tiempos de concentración de 30 y 60 min. trazada en papel logarítmico (eje de ordenadas: intensidad de precipitación y el eje de abscisas (escala gaussiana) para la frecuencia porcentual acumulada.

La relación entre la precipitación y la raíz cuadrada del área es lineal (Linsley et al., 1967) para un período de 200 años y se cumple la ley de variación $P = 163 - 11 \sqrt{A}$, P en mm, A en km² ([Fig. 4](#)).

El cálculo de las curvas de intensidad media, partiendo del mapa de las isohietas de la tormenta total, se efectuó para un período de recurrencia de 1 en 100 años. Si se adopta una posición más rigurosa, con una recurrencia de 200 años, se obtiene una precipitación máxima de 105 mm.

Las intensidades máximas para lluvias de corta duración sobre pequeñas áreas (valor puntual) se graficaron en la [Fig. 5](#). Las curvas de intensidades máximas indican que las mayores precipitaciones se presentan en 70 min., tiempo máximo de duración del chaparrón en la zona. También se pone en evidencia el rápido decrecimiento de la intensidad de la precipitación en los primeros 60 minutos, siendo mucho mayor dicho decrecimiento en los primeros 30 min., lo que demuestra el carácter local de las lluvias en la zona.

En el [Fig. 6](#) se ven los tres núcleos de mayor precipitación en Chacras de Coria, Nancuñan y Montoya, en la provincia. El más importante es el que afectó a la ciudad de Mendoza ([Fig. N°6](#)).

Eventos importantes, vinculados con *aluviones*, producidos en el Gran Mendoza, desde 1959 hasta 1981 (información periódica).

Análisis de la tormenta ocurrida en Mendoza el 4 de enero de 1970

Extractado del Informe de los Lic. L. Medina y L. Plaza.

En ese Informe se presentó el análisis pormenorizado de la tormenta que originó la mayor inundación ocurrida en la ciudad de Mendoza.

La región de Mendoza es particularmente favorable para el desarrollo de tormentas convectivas. Los efectos dinámicos de la perturbación provocada por la Cordillera de los Andes, perpendicular a la dirección de los vientos (que fluyen casi permanentemente de O a E), el calentamiento diferencial de las laderas y la circulación diurna de las brisas de montaña, son otros factores que contribuyen a una intensa actividad convectiva, observándose la máxima frecuencia de tormentas en los meses de diciembre, enero y febrero.

Para el estudio de la tormenta mencionada, se contó con los siguientes elementos de archivo.

- a) mapa sinóptico de superficie.
- b) mapas sinópticos de altura (200 y 500 hP)
- c) datos de las redes pluviométricas y pluviográficas de la provincia de Mendoza.
- d) nefoanálisis correspondientes a los días 3, 4 y 5 de enero de 1970, efectuado por el Servicio Meteorológico de la Armada, mediante la interpretación de las fotos de los campos nubosos por el satélite meteorológico. (Todavía el SMN no tenía el APT, con el que hace este tipo de análisis).
- e) descripción de la tormenta.

Situación meteorológica a la 9.00 hs local: la carta sinóptica de superficie correspondiente a esa hora, indicaba, centrada sobre la Rioja la baja térmica característica de esa época del año, un frente frío orientado aproximadamente paralelo a los círculos de latitud, en posición media 34°S y un sistema de alta presión centrado sobre el Atlántico en 44°S y 59°O.

El mapa sinóptico de 500 hP permitió apreciar un sistema de baja presión, centrado en 35°S y 71°O asociado a una gran vaguada (zona de mínima presión con eje orientado de NO a SE, pasando sobre la ciudad de Neuquén y la península de Valdez. El mapa de 200 hP mostraba una marcada similitud con el de 500 hP, indicando una profunda perturbación en la circulación zonal. El eje del sistema de baja presión se ha inclinado levemente con la altura hacia el SO y está centrado en 36° - 72°O. En igual forma el eje de la vaguada se muestra paralelo al eje de 500 hP, pasando por el S. de Rawson (Chubut).

Se deduce que la provincia de Mendoza se encontraba ubicada en la parte delantera de la vaguada de altura, donde predominan los movimientos de ascenso en las masas de aire.

El nefoanálisis correspondiente a ese día permitió ver, sobre la Patagonia Norte, un sistema nuboso con cúmulos potentes y cumulonimbus asociados a la vaguada de altura.

Por otra parte, el estudio del campo de la temperatura potencial equivalente en 850 hP (parámetro característico de las masas de aire, invariante a los movimientos de ascenso y descenso de las mismas) permitía apreciar un marcado gradiente en el O del país, donde las isolinéas se orientaban en dirección norte-sur, curvándose luego hacia el este, en la latitud media de 35°S, coincidente con la posición del frente frío en la carta de superficie. Esa distribución de las isolinéas indica la existencia de una masa de aire cálido y húmedo en la mitad norte del país.

La marcha diaria de varios elementos meteorológicos en la estación Mendoza Aero (El Plumerillo):

En la temperatura se observó que las máximas ocurrieron entre las 15 y 16 horas aproximadamente de los días 3, 4 y 5 de enero. Además, el termograma correspondiente al día 4 se distingue por un marcado y brusco descenso de 10°C entre las 21 y 22 hs. Esta disminución de la temperatura indica, junto con otros factores, el pasaje del frente frío. El termograma del día 5 muestra, durante las 24 hs temperaturas inferiores a la de los días 3 y 4.

La marcha horaria de los elementos meteorológicos, indica nubes cumulonimbus y precipitaciones acompañadas con tormenta a partir de las 18 hs del día 4, situación que se prolongó hasta las 4 horas del día 5, con chaparrones violentos. Se observa un viento fuerte del O a las 21 hs y su variación con el ascenso de la presión a partir de las 22 hs. Como lo demostró la marcha diaria de la presión, desde las 6 hs del día 4 la presión se mantuvo menor que la del día anterior, con marcado descenso a partir de las 15 hs, indicando la proximidad del frente frío. Esta tendencia se interrumpe a las 21 horas por la alta tormenta asociada al viento y fuerte chaparrón que se registra a esa hora. El frente frío

se desplazó en las doce horas anteriores a su paso por el Plumerillo con una velocidad media de 13 km/hora.

Distribución de las precipitaciones. La Fig. N° 6 muestra la distribución de las precipitaciones en el día analizado, dentro de la provincia de Mendoza. Se observan tres núcleos de máxima precipitación en las proximidades de Chacras de Coria, Nacuñan y Montoya. El mayor de ellos es el primero, con un máximo probable de 140 mm/24 hs, producto de tres chaparrones.

Cálculo de la máxima cantidad probable de *agua precipitable* (PMP). Puede calcularse por métodos termodinámicos partiendo de la ecuación:

$$P_i = \frac{-0,622}{RT} \left(\frac{de}{dz} + \frac{eg}{RT} \right) w \Delta z$$

Donde P_i es la precipitación potencial para la capa de aire, ascendiendo en forma pseudodiabática, R la constante de los gases ideales, T la temperatura °K, e la tensión de vapor del aire saturado de la temperatura T, z es la altura de la masa de aire, g la aceleración de la gravedad, w es la velocidad vertical de desplazamiento de la capa y Δz su espesor.

Teniendo en cuenta que excepto la velocidad vertical el espesor de la capa, las demás variables dependen solo de la altura (presión) y de la temperatura de la parcela de aire, estos parámetros dan lugar a una graficación tal como la realizada por Fulks (Pettersen, 1956).

Para calcular la máxima cantidad de agua precipitable, se divide a la atmósfera en varias capas, en función proporcionada por los radiosondeos del área de la tormenta, se determina el agua precipitable contenida en cada una de ellas y finalmente, se suman esas cantidades parciales.

En Mendoza no se realizaron sondeos el día 4 de enero de 1970, ni en los días anteriores, por lo cual no fue posible aplicar, en ese día, el método apropiado. En cambio, la existencia de datos aerológicos del día 31 de diciembre de 1959, permitió aplicarlo para la tormenta correspondiente a esa fecha, que fue la segunda tormenta en intensidad, según los registros disponibles. Sobre la presunción de condiciones ambientales similares, se tomó provecho de dicho sondeo, a fin de tener una idea de las cantidades de agua precipitada. Para ello se utilizó el sondeo del día anterior a la precipitación intensa (30 de diciembre de 1959), realizado a las 09.00 hora local.

La cantidad máxima de agua precipitable fue calculada en 72,7 mm/hora, cantidad aceptable si se considera que los chaparrones tienen, en general, corta duración y que la intensidad de la lluvia del día siguiente fue de unos 89 mm/hora.

Con respecto al caso que nos ha ocupado, debemos comentar que el radar de 3 cm, ubicado en la localidad de San Martín, no pudo ser utilizado por falta de mantenimiento del equipo.

La conclusión más importante de este trabajo fue la recomendación de instalar un sistema de avisos y alertas de inundaciones, para la protección del Gran Mendoza.

Años más tarde pudo instalarse tal tipo de sistema, cuyas características operativas y procedimientos del centro se agregan a este Anexo, por gentileza del Ing. Pedro Fernández

(INCYTH). Esta es otra referencia a la importancia que debe asignarse a la observación ambiental, particularmente en casos de sistemas de alerta hidrometeorológica.

Principales inundaciones producidas en el Gran Mendoza

- 03-01-1959.** De la precordillera bajó una creciente que inundó viviendas en sección 4ª y Las Heras.
- 31-12-1959.** Lluvia de gran intensidad. Inundación en la calle San Martín por obstrucción del canal Frías. Caudal aproximado sobre calle San Martín: 15 m³ / s. Corte de caminos en Cordillera.
- 07-03-1962.** Fuerte lluvia con viento y descargas eléctricas en la ciudad. Alas 23 comenzó a bajar creciente por los arroyos secos que desembocan en el zanjón de los Ciruelos, sin causar destrozos.
- 04-12-1962.** Fuerte pp. después de las 7.30 hs. Las calles del Gran Mendoza se cubrieron de agua.
- 23-02-1963.** Grandes lluvias. Socavamiento en las vías del FFCC en Cordillera. Grandes crecidas bajaban por los ríos secos al G. Mendoza. Grandes destrozos en Bº. San Ignacio y Villa del Parque.
- 25-12-1963.** Inundaciones en calles de la ciudad.
- 09-12-1967.** Grandes pp. en la precordillera. Crecientes en las calles de Capital, Las Heras y Guaymallén.
- 27-01-1969.** Tormenta de granizo acompañada de fuerte lluvia. Una de las inundaciones más grandes que se registra en esta Capital (según diario de la época).
- 03-01-1970.** Víctimas y daños causó un aluvión en la capital. Furiosos torrentes de agua marrón bajó de los cerros y colmó la capacidad de los colectores. Se rompió el dique de contención Frías y se inundó parte de la ciudad. Fue arrasado por las aguas un puente en Godoy Cruz. El agua anegó viviendas y destruyó automóviles. Evacuaciones masivas.
- 10-12-1972.** Lluvia en la ciudad dio por resultado inundaciones en Avda. San Martín y 4ª Sección.
- 17-03-1973.** Cayeron 65 mm de pp. en Mendoza. inundaciones y evacuados.
- 24-01-1974.** Intensas lluvias en ciudad alrededores. Inundaciones en la 3ª y 4ª sección.
- 13-02-1974.** Nuevas crecientes por lluvias provocaron destrozos en el Anfiteatro y el Centro Universitario.
- 27-03-1981.** Cayeron más de 30 mm. Fuerte tormenta de lluvia y granizo en capital y Las Heras. Provocó anegamientos e inundaciones de calles y viviendas.
- No me ha llegado información posterior a la última fecha.

Mientras escribo este informe (17-enero-1997) leo en el diario "La Nación" una noticia llegada desde Mendoza, en la que se informa que un *aluvión* arrasó un automóvil y tres camiones, en el cauce de la ruta provincial 84 y el arroyo seco las Avispas, a unos 34 km al SO de la ciudad.

El fenómeno de gran intensidad arrastró a los vehículos unos 800 m y despidió a los 6 ocupantes, cuyos cadáveres aparecieron esparcidos en distintos lugares. La altura del conglomerado de agua, rocas y barro alcanzó una altura de 3 m. Los tres camiones cargados con pesadas mercaderías volcaron, salvándose dos personas y desapareciendo un tercer ocupante. El aluvión destruyó totalmente el pavimento de la ruta.

Esta dolorosa noticia, denota que pese al sistema de alarma, del que me ocuparé en este mismo informe, no cubre todas las graves consecuencias de los aluviones que azotan a la zona de Gran Mendoza y/o alrededores.

Figura 1

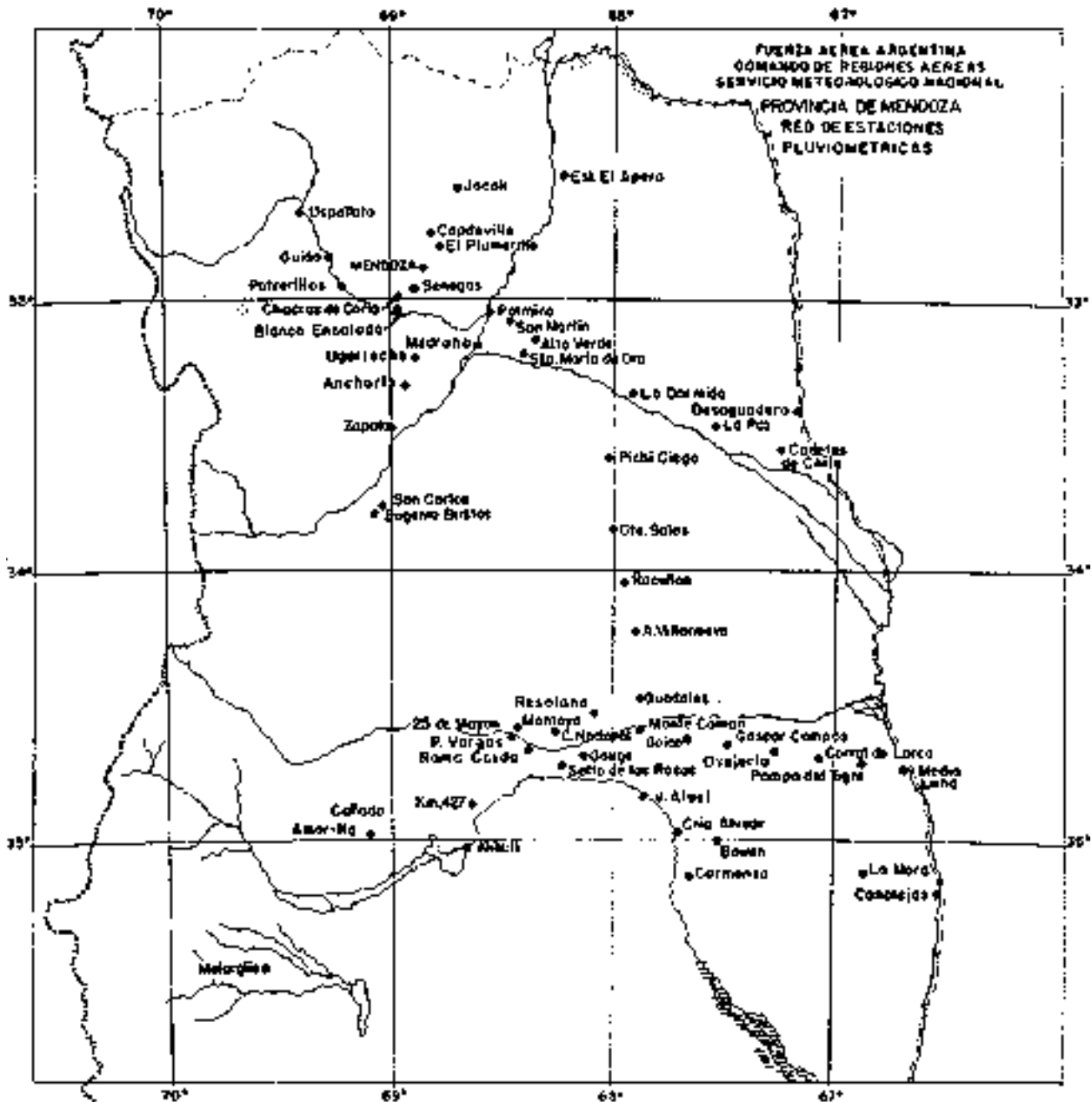


Figura 2

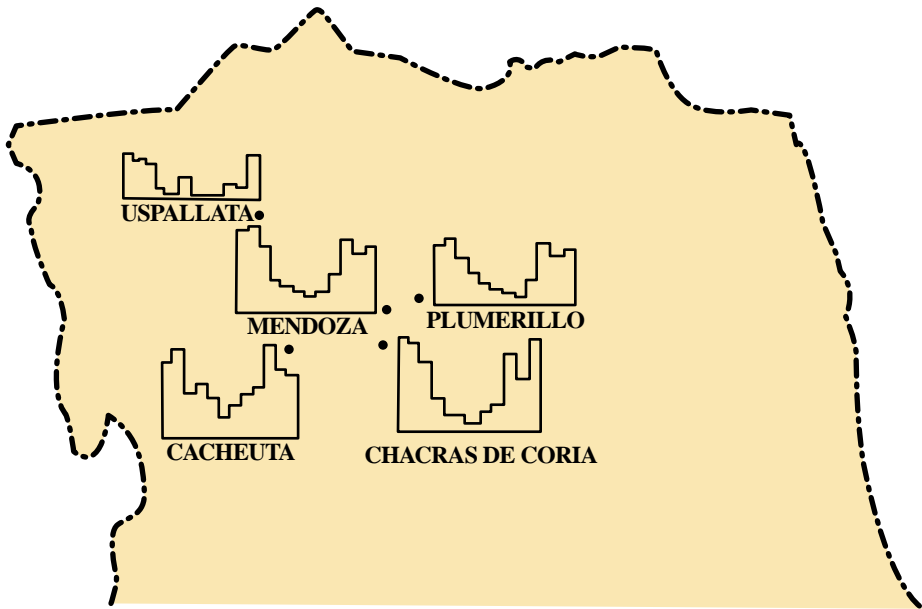
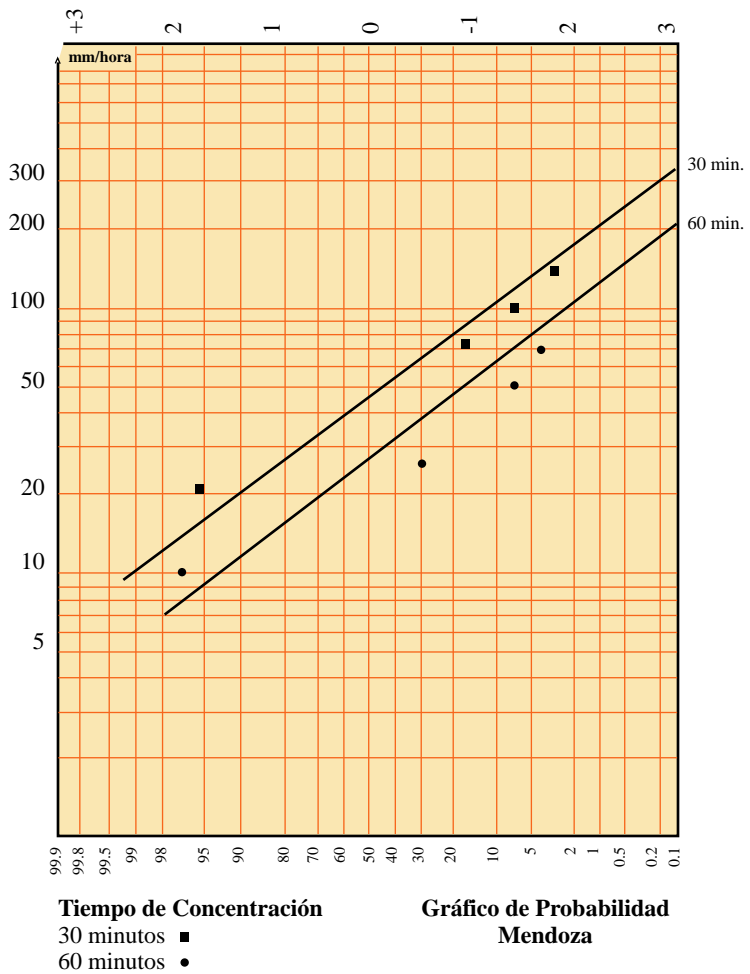


Figura 3



Promedios Mensuales de Lluvia (mm) para meses de igual duración

Estación	Mes												Año
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Mendoza	28,1	29,3	23,4	10,5	9,8	8,9	6,9	7,8	13,4	26,1	20,9	23,8	208,9
El Plumerillo	21,0	23,3	15,1	11,2	7,7	5,8	5,1	4,0	9,2	21,9	18,0	18,7	161,0
Chacras de Coria	33,6	31,9	24,8	12,3	6,1	6,1	5,2	8,6	10,2	28,3	19,6	30,4	217,1
Cacheuta	25,6	31,4	15,4	18,0	14,2	8,4	11,1	14,6	17,8	33,0	23,4	22,9	235,8
Uspallata	15,2	13,8	10,9	3,4	1,7	7,0	1,1	0,9	1,0	5,9	5,7	14,6	81,2

Frecuencia Media Anual de Lluvia $\geq 1,0$ mm

Estación	Mes												Año
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Mendoza 1908-1946	3	4	3	2	2	1	1	1	3	3	2	3	28

Tabla N° 2**Tabulación de Datos Contemporáneos de Lluvia (4-1-1970)**

Estación	Hora														
	14	14,30	15	15,30	16	16,30	17	17,30	18	18,30	19	19,30	20	20,30	21
El Molino	1,2	0,05	0,05	1,6	2,2	0,3	8,0	7,0	3,5	2,0					1,1
Papagallo			2,5	1,0	9,5	1,5	5,5	1,4	0,2	0,2	0,2	2,0	2,1	0,4	0,1
Jaucha											0,4	4,0	1,2	1,3	
Ing. D. Sardina															26
Ogarteche															
Tupungato (Aero)							0,2	0,1	0,1		0,1	0,7	0,1	0,1	0,1
Estancia La Resunga			←0,8→												
Las Tunas									0,8	0,1	0,1	3,0	0,5	2,4	
Dique Valle de Uco					2,0	0,2	1,0	0,9	←0,1→	0,5	0,8	0,5	1,5		
Chacras de Coria*								19,2	45,0		1,7	2,7	2,3	2,8	
Mendoza (Observatorio)*						0,0	8,5	0,2			1,1	3,4	1,3	5,0	

Nota: * Pluviógrafo diario (semanal, en las restantes estaciones).

Figura 4

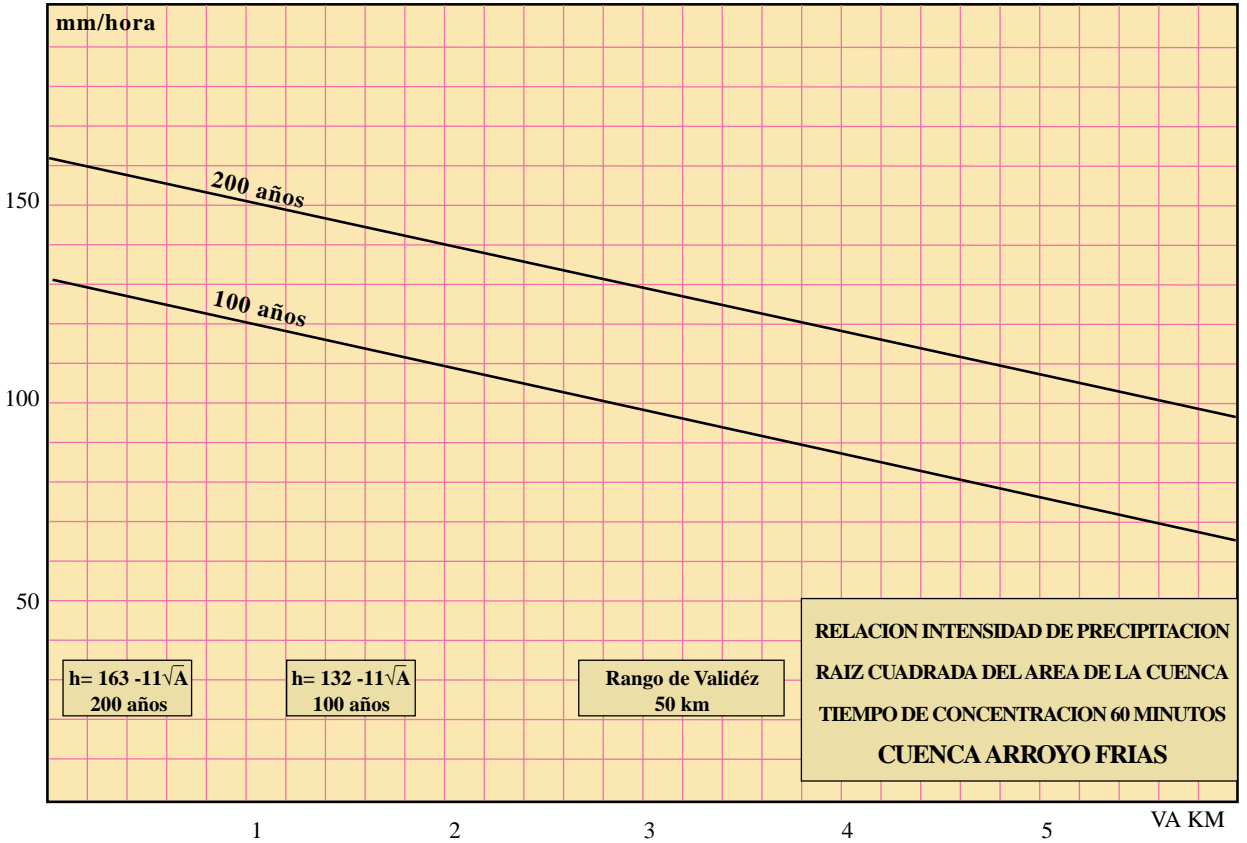


Figura 5

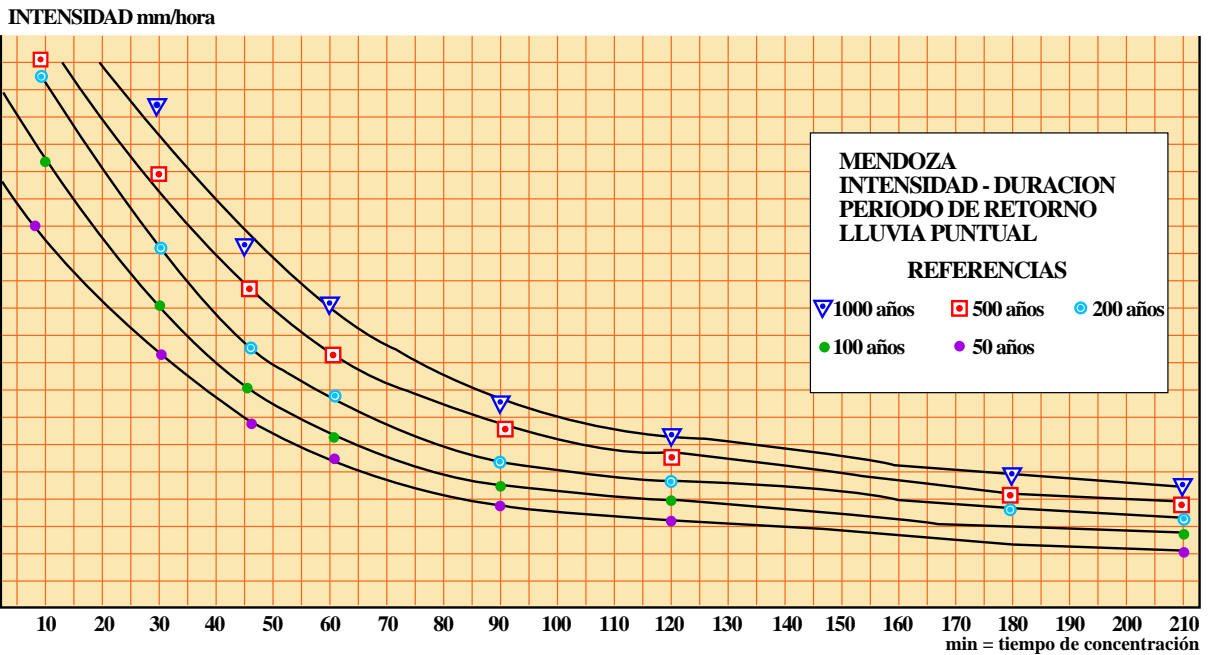
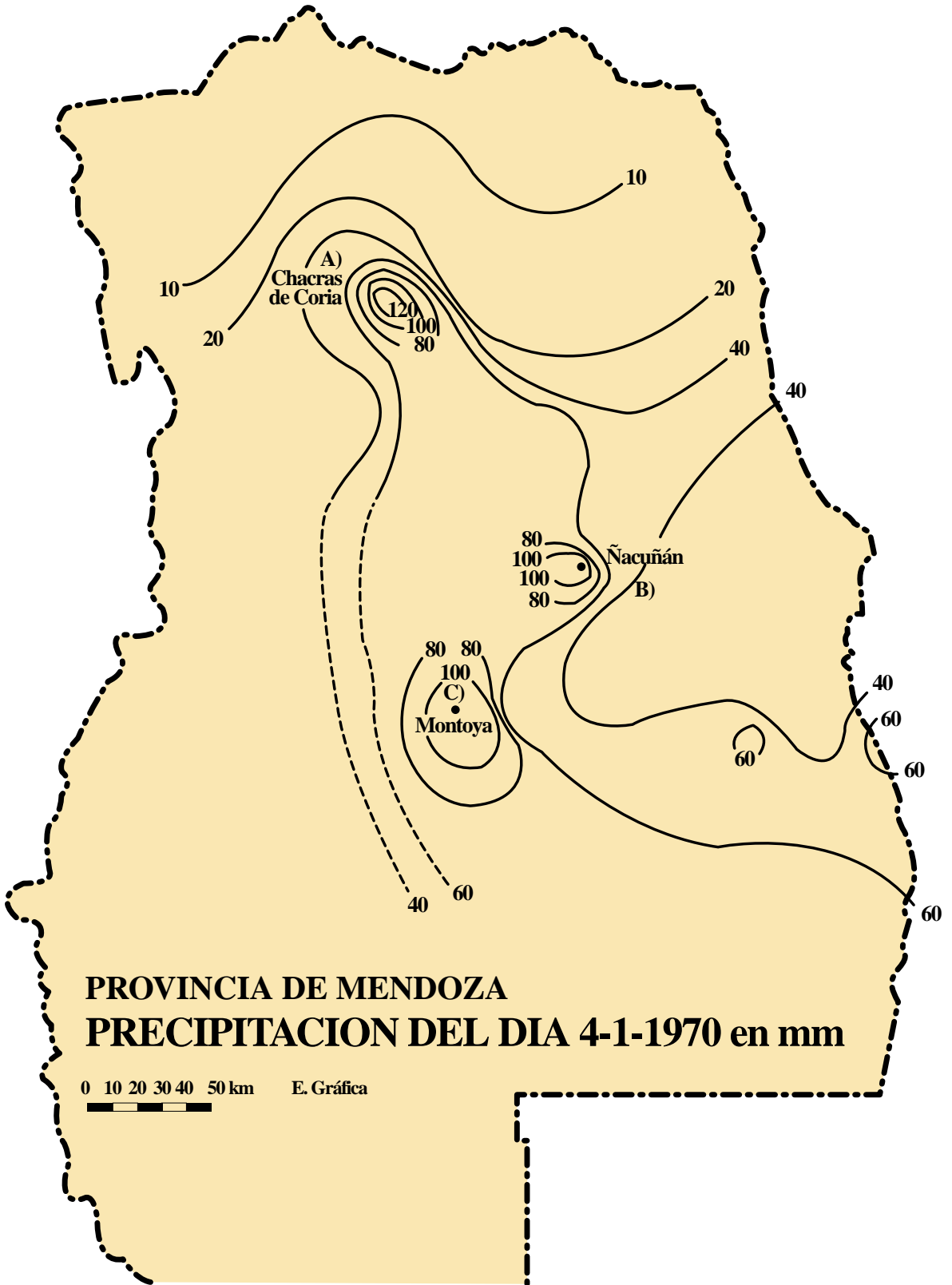


Figura 6



RED HIDROMETEOROLÓGICA TELEMÉTRICA DEL INCyTH-CRA Y SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICA DEL GRAN MENDOZA

1. Red telemétrica

El Centro Regional Andino del INCyTH operó entre 1975 y 1982 una red de estaciones hidrometeorológicas en el área pedemontana de la cadena precordillerana al Oeste de la Ciudad de Mendoza, cuyo principal objetivo fue la obtención de información sobre campos de tormentas convectivas, su distribución espacial, temporal y secuencias.

A partir de 1982 esta red de instrumental fue automatizada y ampliada con un sistema de teletransmisión de datos “por eventos” (event-reporting), primero en este tipo puesto en funcionamiento en el país, cuyas características funcionales le permiten trabajar en “tiempo real”, es decir que la información sobre precipitación o escurrimiento está disponible en una central de recepción y procesamiento simultáneamente con la ocurrencia del fenómeno hidrológico o meteorológico en estudio o evaluación. Esta aptitud del sistema permitió un replanteo total de los objetivos de la red extendiéndolos al plano operativo.

En base a estas consideraciones los objetivos de la nueva red eran:

Investigación

- 1) Disponibilidad de información sobre precipitación en distintos puntos en un área de aproximadamente 625 km² al oeste de la ciudad de Mendoza, con límite en línea de altas cumbres del cordón precordillerano a los fines de realizar estudios sobre:
 - Distribución espacial y temporal y secuencias de tormentas convectivas, causa de los aluviones.
 - Análisis de intensidad, duración y frecuencia y definición de modelos de tormentas y determinación de la tormenta de proyecto para Mendoza.
 - Datos pluviográficos para el uso de los modelos de lluvia-caudal operados por el C.R.A. (Hymo 10, HEC-1, Sacramento).
- 2) Instrumentación de la cuenca piloto Divisadero Largo con una mayor densidad de estaciones con pluviómetros y una estación de aforo con el fin de realizar estudios de detalle en:
 - Investigaciones y calibración de modelos hidrológicos.
 - Determinación de parámetros de uso en modelación hidrológica de cuencas montanas y pedemontanas de zonas áridas.

Operativos

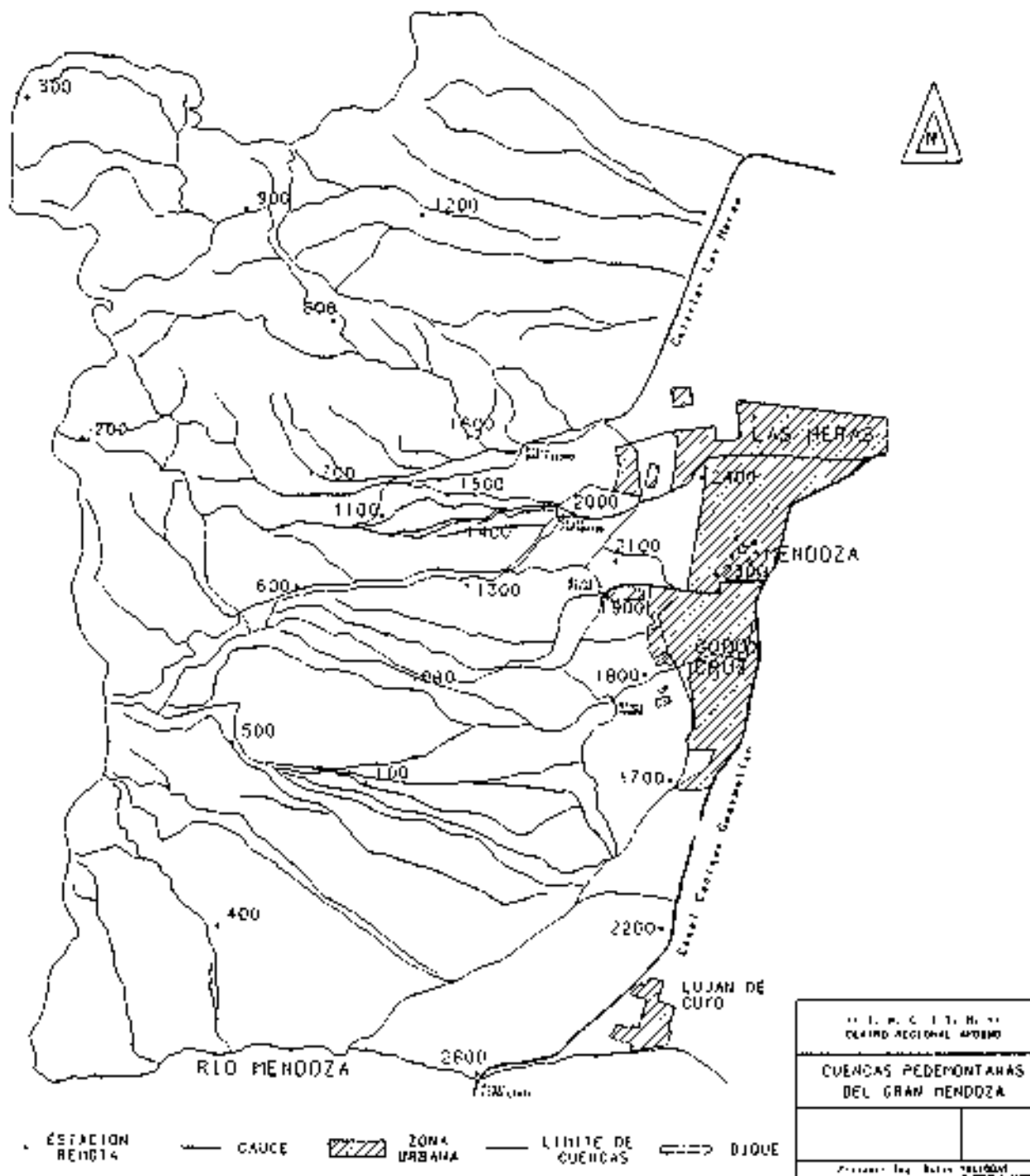
- 1) Disponer de un sistema de alerta hidrológica de aluviones para la ciudad de Mendoza y departamentos vecinos ([Figura 7](#)).
- 2) Medición de niveles y estimación de caudales en los ríos Mendoza (en estación Guido) y Tunuyán (en estación Sardina y en Zapata). Estas estaciones se enlazan con la central vía repetidora Cerro Bueyes.

Características Meteorológicas e Hidrológicas de las áreas implementadas

El sistema de alerta hidrológico del Centro Regional Andino está integrado por dos subsistemas que responden a características hidrometeorológicas totalmente definidas y diferentes:

- Red de alerta hidrometeorológica del piedemonte precordillerano, al oeste de la ciudad de Mendoza y departamentos vecinos ([Figura 7](#)).

Figura 7
Red Telemétrica



100 La Picada
 200 Cerro Pajarito
 300 Cerro Pelado
 400 La Crucecita
 500 El Peral
 600 El Chambon
 700 San Isidro

800 Las Tres Quebradas
 900 Casa de Piedra
 1000 Punta del Agua
 1100 Divisadero Largo I
 1200 El Pantanillo
 1300 Papagayos
 1400 Divisadero Largo II

1500 Divisadero Largo III
 1600 La Quebrada
 1700 Aeroclub La Puntilla
 1800 Dique Maure
 1900 Dique Frías
 2000 Divisadero Largo IV
 2100 Cuenca Las Cabras

2200 Chacras de Coria
 2300 I.N.C.T. T.M.
 2400 Boulogne Sur Mer
 2500 Dique Cipolletti

- Red de alerta hidrológica fluvial que incluye los ríos Mendoza y Tunuyán (aunque solo se opera en el río Mendoza a nivel de alerta).

En la zona pedemontana al oeste de la ciudad de Mendoza no existen ríos como tales, solo torrentes que permanecen secos la mayor parte del año o que presentan ínfimos escurrimientos provenientes de unas pocas vertientes.

En esta área las nevadas son débiles y poco frecuentes y la precipitación media anual raramente supera los 300 mm. Sin embargo la mayor parte de estas lluvias precipita durante el verano, originadas por tormentas de tipo convectivo de alta intensidad y corta duración. Existen registros históricos de 90 mm en una hora y registros instantáneos de 4 mm por minuto.

Estas tormentas de alta intensidad saturan rápidamente el perfil superior de los suelos de las cuencas cuya capacidad de abstracción inicial para suelo seco raramente supera los 10 mm o lo que es más frecuente la intensidad de la lluvia supera la velocidad de infiltración del suelo seco iniciando de inmediato el escurrimiento que en pocos minutos transforma las quebradas secas en torrentes incontrolables de agua, lodo y rocas.

Los tiempos de concentración oscilan entre pocas horas a 15-30 minutos según área y pendientes; los puntos más altos están a 3000 m y los más bajos a 800 m separados menos de 30 Km.

A modo de ejemplo se puede citar que el 28/12/85 una lluvia centrada sobre la cuenca piloto de Divisadero Largo de 5 km², de 45 mm en 50 minutos produjo un caudal pico de 50 m³/s estando el suelo al iniciarse la lluvia seco con 12 días anteriores sin lluvia.

Las tormentas convectivas se producen al azar en cualquier punto de las cuencas de la zona de alerta. Sus núcleos abarcan áreas parciales ya que los estudios realizados indican campos generalmente elípticos de 10 a 15 Km de eje mayor y 5 a 10 Km de eje menor. El decaimiento espacial es muy marcado, en la tormenta mencionada del 28/12/85 la estación 1400 registró 45 mm, bajando 25 mm en estaciones situadas a 1 Km y a 2 mm en estaciones situadas a 5 Km.

Si bien una buena parte de estas cuencas tienen obras de regulación, los aliviaderos superan la capacidad de los canales evacuadores, los cuales atraviesan la ciudad y a su vez convergen en el canal de riego Cacique Guaymallén que en reiteradas oportunidades ha visto superada su capacidad, cuando a su dotación normal de riego se suman los aportes aluvionales.

Las características de este fenómeno aluvional de tormentas de alta intensidad de precipitación localizadas en áreas relativamente pequeñas y el muy corto tiempo de concentración de estas cuencas debido a su pendiente elevada y escasa protección vegetal, crea condiciones muy dificultosas para un sistema de alerta hidrológica exigiendo un sistema de transmisión en verdadero tiempo real, sin pérdidas de tiempo y hace imprescindible la operación simultánea de un radar meteorológico.

2. Sistema de alerta hidrológico

El Sistema de Alerta Hidrológico del Gran Mendoza, se montó en base al soporte técnico de la red hidrometeorológica del INCyTR del radar de la provincia de Mendoza de San Martín y de los Servicios de Pronóstico del Servicio Meteorológico Nacional. Toda la información se concentra en la terminal de la red en el INCyTH (CRA) donde se recibe por vía radial con el apoyo de la Red de Comunicaciones de la Presidencia de la Nación. (Figura 8).

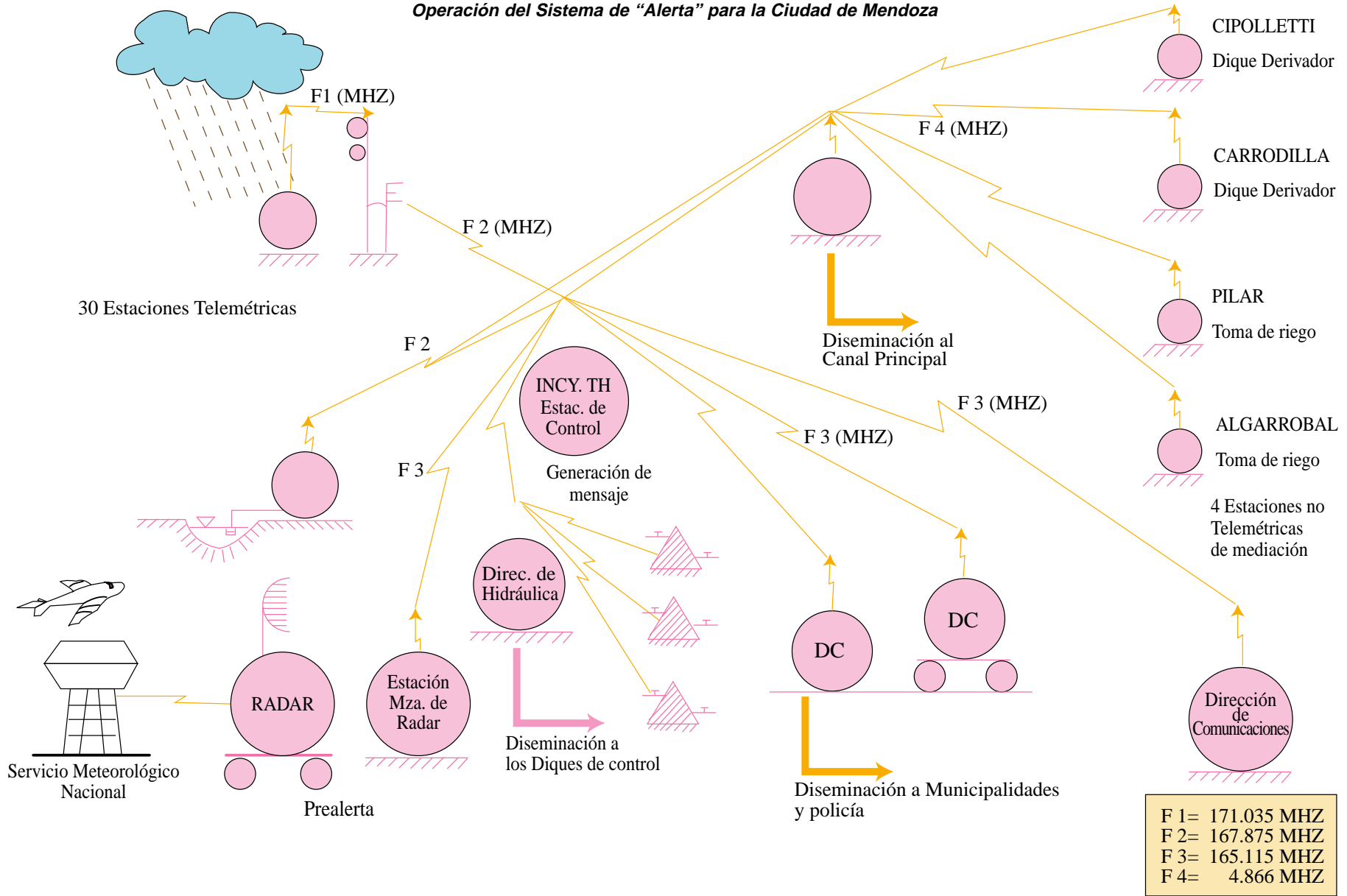
La información se disemina a los siguientes organismos que son usuarios del sistema.

- Dirección Provincial de Defensa Civil.
- Departamento General de Irrigación.
- Dirección de Hidráulica.
- Obras Sanitarias Mendoza.

Los técnicos del INCyTH operan la terminal de la red y el centro de recepción durante las emergencias, conjuntamente con técnicos de la Dirección de Hidráulica.

Durante la campaña 91/92 se comenzó a dar información de las tormentas a Obras Sanitarias Mendoza para la operación del cierre de compuertas en la planta del Río Blanco, en Potrerillos, de modo de evitar el ingreso de sedimentos a los filtros, con el consiguiente problema para el suministro de agua potable a la ciudad.

Figura 8
Operación del Sistema de "Alerta" para la Ciudad de Mendoza



3. Conformación del sistema de alerta

El operativo de alerta se monta todos los años (desde el verano 1986/87) a partir de noviembre y hasta el mes de abril.

Como se expresa en el punto 2, intervienen en este operativo los siguientes organismos:

INCyTH–Centro Regional Andino (Red).

Dirección Provincia; Agrícola (Radar).

Servicio Meteorológico Nacional (Situación sinóptica y pronóstico).

Como organismos que producen la información:

Red de Comunicaciones de la Presidencia de la Nación.

Como organismo que coordina las comunicaciones:

Dirección Provincial de Defensa Civil.

Dirección de Hidráulica.

Departamento General de Irrigación.

Obras Sanitarias Mendoza.

Como organismos que reciben la información y coordinan y ejecutan la acción.

Todos los años con la buena voluntad y el entusiasmo de todos estos organismos (sin que exista convenio escrito alguno) se ha llevado a cabo una exitosa acción que por el momento se concentró en las siguientes funciones:

- Defensa Civil:

Recibe la información del radar y de la red telemétrica en relación con áreas que pueden ser afectadas o que están siendo afectadas. Esto les permite por medio de su coordinación con policía, bomberos y municipalidades, llegar a los lugares afectados y concentrar en ellos su acción, ya que tiene la información precisa de zonas afectadas o no afectadas.

Para su acción de carácter a veces preventivo, resulta absolutamente necesaria la información del radar.

- Dirección de Hidráulica:

Recibe la información en forma directa ya que técnicos de su jurisdicción realizan guardias en la central de recepción de datos del INCyTH y recaban información del radar y del S.M.N.

Su acción se concentra en la afectación de los diques de control (Maure, Frías, Papagayos) y en los canales evacuadores que desaguan al canal Cacique Guaymallén.

- Departamento General de Irrigación:

Recibe la información del radar y de la red y la utiliza en el manejo de los aportes de los canales de riego, principalmente en relación al Cacique Guaymallén. Este canal, en el verano está dotado con hasta 30 m³/s para riego y es además colector de todos los canales aluvionales en un frente de más de 20 Km. desde la zona de Chacras de Coria hasta el Zanjón de Los Ciruelos.

Cortar la dotación de riego oportunamente ante situaciones de alerta, permite incrementar la capacidad de conducción de aguas aluvionales en el Canal y disminuir el riesgo de rebalse y roturas.

En este operativo el aviso del radar (como prealerta) es fundamental porque el aviso de la red cuando ya precipita es muy corto, teniendo en cuenta el tiempo que tarda en vaciarse el canal Guaymallén.

- Obras Sanitarias Mendoza:

Recibe la información de la red (hay una estación en el Cerro Blanco) y del radar ante una condición de alerta, cierra las compuertas de su planta de Potrerillos evitando el ingreso de aguas cargadas de sedimentos a los filtros.

La acción se piensa ir mejorándola con la experiencia que se vaya adquiriendo.

4. Operativo de alerta

Durante la temporada de alerta, se recibe en el Radar de San Martín, el pronóstico del S.M.N. sobre la posibilidad o no de convección (días positivos o negativos). En días positivos ese pronóstico se repite a la tarde.

Esa información es transmitida a Defensa Civil y al INCyTH que a su vez la diseminan en otros organismos.

Si el día es positivo, se inicia una intensa acción del radar que produce el seguimiento de las celdas convectivas (ecos o núcleos) determinando y difundiendo con la frecuencia necesaria la posición de los ecos, su velocidad y probable desplazamiento, su elevación y su extensión. Por la experiencia de los técnicos del radar se estima también la probabilidad de lluvias o granizo y si el eco es fuerte, moderado o débil y lo que es muy importante se pronostica su situación de crecimiento o desaparición.

En caso de producirse precipitaciones en la zona de la red, la información de extensión, intensidad y posibilidad de crecientes en zonas específicas es comunicada a Defensa Civil, Hidráulica, Departamento General de Irrigación y Obras Sanitarias Mendoza (cuando afecta el área del río Blanco).

En caso de aluviones los organismos específicos ejercen la acción y la información recabada es reportada al INCyTH para ser registrada en su cuaderno de novedades y acrecentar la experiencia del operativo.

5. Trascendencia y acciones futuras

Este sistema de alerta hidrológico que integra una red terrestre con un radar y la acción coordinada de varios organismos, es único en el país y es reconocido a nivel mundial (se han presentado trabajos en congresos nacionales e internacionales y se ha recibido el reconocimiento de países de primer nivel.) Es mucho lo que se puede seguir haciendo a medida que la experiencia y la tecnología permitan avanzar, pero es un esfuerzo que se debe continuar.

La digitalización de los radares permitirá su calibración con los datos de la red y poder entonces extender la estimación de lluvia caída a áreas no cubiertas por la red terrestre pero alcanzadas por el radar.

Otro elemento a incorporar es la recepción de imágenes de satélites.

REFERENCIAS (seleccionadas)

1. **Bleasdale A.** (1958). A compound raingage for assesing some possible errors in point rainfall measurements. Met. Office Hyr. Memor N° 3.
2. **Brooks C.** and **N. Carruthers** (1953). Handbook of statistical methods in meteorology. Her Stationery Office. London.
3. **Bruce J.P.** and **R. Clark** (1966). Introduction to Hydrometeorology Pergarnon Press. London.
4. **C.F.L** (1964) Evaluación de los recursos naturales de la Argentina. Tomo IV. Recursos Hidráulicos superficiales.
5. **Chow V.T.** (1964) Handbook of Applied Hydrology. Mc. Graw Hill Co. New York.
6. **Hoffmann J.A.** Características de las series de precipitación en la República Argentina (1970). Meteorológica 1 (3).
7. **Linsley R.K., M.A. Kohler y J.L Paulhus** (1967). Hidrología para Ingenieros, Mc Graw Hill Latinoamericana S.A., Bogotá.
8. **Marchetti A.** (1952). Estudio del régimen pluviométrico de la República Argentina. Meteoros II (2).
9. **Medina L.** y **M.C. Moyano** (1975). Estudio piloto de lluvias intensas en la República Argentina.
10. **Minetti J.L. et al** (1986). CIRSAJ. Informe Técnico N° 8. El régimen de precipitaciones en San Juan y su entorno.
11. **O.M.M.** Guía de prácticas hidrológicas (1967).
12. **Pettersen S.** (1953). Weather Analysis and Forecasting. Mc. Graw Hill.
13. **Quintela, R.M.** (1987). Estudio hidrometeorológico de cuencas con datos insuficientes. CONICET (CIBIOM) 3 tomos.

ANEXO C

Análisis de la Situación Hidrológica en la Región de los Oasis

Agua subterránea en la región cuyana

Para obtener un balance de agua (ciclo hidrológico) es indispensable conocer el régimen de agua subterránea con la mayor precisión posible. Esto no es fácil de lograr, por las características de su caudal, su ubicación y su determinación cuantitativa y cualitativa. Siempre es una parte del ciclo hidrológico de magnitud considerable. Por ejemplo, en USA la quinta parte del total del agua usada es de origen subterránea. En el caso de las regiones áridas es frecuentemente la única fuente segura de abastecimiento para irrigación. Aparte de su uso directo, representa una fase muy importante del ciclo hidrológico. La mayor parte del flujo en corrientes intermitentes puede filtrarse bajo la superficie. Dado que es el estado y movimiento del agua subterránea están íntimamente ligadas con la estructura geológica del terreno, la comprensión de los controles geológicos es un prerequisite para el entendimiento de los procesos de hidrología subsuperficial (Linsley, Kohler y Paulhus, 1975).

Las dos regiones principales, están separadas por una superficie irregular llamada nivel freático o water-table, en inglés). La napa o capa freática (en un acuífero no confinado) es el lugar geométrico de los puntos donde la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica. Por encima del nivel freático está la zona de aereación, en la cual los poros del suelo pueden contener aire o agua.

En el caso particular de nuestro estudio, se obtuvo un relevamiento de la información disponible en distintas fuentes oficiales en las provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja

- a) Red de freatómetros y pozos en Mendoza.
- b) Frecuencias de nevadas en Puente del Inca (Mendoza). Promedios mensuales.
- c) Alturas máximas de nieve en la Cordillera, por año (período 1895-1996).
- d) Evaluación hidrogeológica general del área Machingasta - Bañado de los Pantanos (provincia de La Rioja). CRAS (Centro Regional de Agua Subterránea, San Juan, 1995).
- e) Estado actual del conocimiento de los recursos hídricos de la provincia de La Rioja (CRAS, 1995).
- f) Panorama Hidrogeológico de La Rioja (H. Crespo, 1982).
- g) Series Estadísticas del Banco de San Juan (1942-1972).
- h) Datos freatométricos. Dirección de Hidráulica de la provincia de San Juan, 1983-1992).

Serie de trabajos publicados por el CRAS, sobre aguas subterráneas de las provincias de La Rioja y San Juan.

Esta información muy importante, no está desagregada ni clasificada sistemáticamente, lo que hace difícil su estudio. Hemos preferido presentar un trabajo sobre estudio de balances hidrológicos naturales (sin riego) para 3 localidades importantes de las tres provincias, con el aporte del Ing. Juan A. Forte Lay.

Algunas consideraciones teórico-prácticas

En la zona freática, los intersticios están llenos de agua (zona de saturación).

Esta zona puede extenderse a una profundidad considerable, pero a medida que aumenta la profundidad el peso de la sobrecarga tiende a cerrar los poros, de manera que es poca el agua que se encuentra en el suelo a profundidades superiores a los 3 Km.

Algunas veces el agua subterránea se halla en una formación recubierta por un estrato impermeable, formando un acuífero confinado o artesiano. Los acuíferos confinados se encuentran generalmente a presión debido al peso de la sobrecarga. Si un pozo llega a penetrar la capa confinante, el agua subirá hasta alcanzar el nivel piezométrico equivalente artesiano del nivel freático. Si el nivel piezométrico se halla por encima de la superficie de la superficie del terreno, el pozo descargará como un manantial. En las planillas adjuntas pueden observarse dos aspectos característicos : a) el diferente potencial de aprovechamiento de cada pozo y b) el rendimiento específico de cada perforación. Cada tipo de pozo tiene un cierto contenido de humedad por metro de profundidad. Buchingham (1907) fue el primero en proponer la caracterización de los fenómenos suelo-humedad, con base en relaciones de energía. Introdujo el concepto de potencial de capilar, que se define como el trabajo realizado para mover una unidad de masa de agua desde el plano de referencia hasta cualquier punto de la columna de suelo. En esta forma, el potencial capilar representa la energía potencial por unidad de masa de agua. Por definición, el potencial es negativo, puesto que el agua se moverá arriba por acción capilar sin necesidad de trabajo externo. El potencial capilar (está relacionado con la aceleración de la gravedad (g) y la altura (y) que es negativa con relación al plano de referencia, por medio de la ecuación $\psi = gy$

Los primeros estudiosos del suelo (Schofield, 1935, Veihmeyer et al, 1931, Belcher et al, 1950, etc) trataron de definir los diferentes estados del agua en el suelo por medio de puntos de equilibrio. Las figs. indican la no existencia de límites confinados, pero aún así los puntos de equilibrio son convenientes para estudiar y discutir la humedad de los suelos. Los dos puntos de mayor interés son la capacidad de campo y el punto de marchitez. La capacidad de campo se define como el drenaje natural del suelo por gravedad. Colman (1947) ha demostrado que la capacidad de campo es esencialmente el agua retenida en el suelo cuando está sometido a una tensión de 1/3 de atmósfera, Veilmeyer y Hendrickson (1931) encontraron que la humedad equivalente puede también definir aproximadamente la capacidad de campo de los suelos finos. La humedad equivalente es el agua retenida en una mezcla de suelo de 9,5 milímetros de profundidad, después de ser sometida a centrifugación por 30 minutos a una velocidad equivalente a una fuerza de 1000 g.

Importancia del agua subterránea en la zona estudiada

En los climas áridos y semiáridos, el agua subterránea juega un papel preponderante. En la región de los Oasis del Oeste de la Argentina, el riego, sistematizado desde varios siglos atrás (ya existía desde antes de la colonización) ha tenido tanta importancia, que para tener una idea de cual sería el balance natural (sin riego) se ha efectuado un estudio especial, con el asesoramiento del Ing. Juan A. Forte Lay. (Fig. 3 a 14).

En Hidrología se denominan acuíferos aquella rocas que permiten la penetración y circulación de las aguas. En la región en estudio por las características de gran variabilidad del clima, se presentan períodos (naturales) de sequías y lluvias, En este caso, por la escasez de las precipitaciones, éstas poco influyen en el ciclo hidrológico, salvo en la alimentación por bombeo de la red de riego. La mayor parte del agua subterránea se forma por la infiltración de agua proveniente de la atmósfera. Para tener una apreciación correcta del volumen realmente aprovechable a nivel mundial, un 97% corresponde a los océanos, un 0,6 % a las aguas subterráneas y solamente un 0,0001% escurre por los ríos. En la zona de Cuyo existen un importante caudal de aguas mineralizadas, que fluyen como manantiales, debajo de una cubierta de rodados. En el piedemonte se forma un tapiz vegetal que, en parte está alimentado por aportes subsuperficiales. Según el mapa hidrogeológico, realizado por la subsecretaría de Geología y Minería (1963), la precordillera de San Juan y Mendoza comparte las características de las cuencas interserranas, con poco aporte de agua pluvial. Comprende los bolsones del Bermejo, de Matusanos y el valle del Huaco y de aguas mediocres en San Juan. Mas al sur, los valles del Ullum

y Zonda y el del Tulum, cuentan con acuíferos abundantes. Los del valle de Tulum se relacionan todos por las aguas de riego. Su calidad es variable; las aguas surgentes se hallan al E y EN de la ciudad, con grandes caudales y descenso de los niveles por sobreexplotación, lo que hace necesario bombear aguas de antiguas surgentes. En él vierten las aguas de los ríos que forman las corrientes del Jachal en la depresión de Iglesia y del San Juan, que drenan al macizo andino, de modo que alimentación de los acuíferos depende del régimen nival de los ríos. Las aguas se ubican en los estratos Calchaquíes y en los conoides de piedemonte que los recubren. Los primeros actúan como diques de contención, originando vertientes que se ubican de N a S.

La infiltración lateral de las aguas pluviales origina reservas subterráneas abundantes y de buena calidad.

La provincia de Mendoza tiene en su extremo norte, rasgos semejantes a los de San Juan. La Cuenca del Tunuyán es una depresión tectónica con amplio desarrollo de estratos de material detríticos altamente permeable, portadores de los acuíferos alimentados por las aguas fluviales de régimen nival. Estas son surgentes o semisurgentes, buenas o muy buenas, en profundidades entre 50 y 500 m. La planicie de los ríos Diamante y Atuel, como La Pampa del Diamante cuenta con acuíferos en general salinizados por su relación con sedimentos terciarios. La zona austral recubierta por sedimentos y rocas volcánicas, presenta aguadas y vertientes con acuíferos a poca profundidad. En las acumulaciones medanosas, entre la Sierra de El Nevado y el río Atuel, se halla agua potable.

En La Rioja se da un escenario distinto; en realidad se presentan tres grandes áreas. Cuenca de Antinaco - Los Colorados, enmarcada por los Cordones de Velasco y Famatina, de donde provienen las aguas de escorrentía, tiene una extraordinaria potencia. En Chilecito existen más de 200 perforaciones para riego. Otra zona de importancia es la de Vichigasta y, de gran caudal, la de los Colorados. El Bolsón de Jagüe y la cuenca de Vinchoina, son otros reservorios potenciales. Dada la escasez de agua superficial, aquí el agua subterránea es un recurso fundamental y su manejo debe adecuarse a la capacidad de recarga a los acuíferos.

En las Figuras N° 3 a N° 14, ya citadas, se han estudiado la climatología del agua en el suelo de tres localidades: La Rioja, Mendoza y San Rafael (pcia. De Mendoza), elegidas por la longitud de las series y el grado de confiabilidad de observaciones disponibles. El trabajo se efectuó a partir del balance hidrológico diario.

La Fig. N° 3 se basa en promedios decádicos de almacenaje de agua a partir del balance hidrológico diario, con evapotranspiración potencial media, calculada con el método de Penman (en lugar de hacerlo con Thornthwaite, como es habitual, porque Penman da valores más confiables). Se adoptó un valor de 200 mm para la capacidad de campo y un punto de marchitez y permanente de 70 mm. Estos valores se basan en experiencias de campo realizadas en lugares cercanos a los elegidos para el cálculo. Este gráfico muestra que en La Rioja, aunque el estado de sequía es casi permanente, al fin el verano se dan estados intermedios (sequía condicional y probabilidad de humedad óptima [lluvia estivales]).

En la Figura N°4 se dan también para LaRioja los porcentajes decádicos en el mejor año, desde el punto de vista de la disponibilidad de aguas subterráneas. La recta en rojo da el punto de marchitez permanente, que representa el máximo nivel de la sequía absoluta; la línea azul es el máximo nivel de la sequía condicional, nivel a que llega la mitad del agua útil. La Figura siguiente, muestra un año muy pobre en agua edáfica. La N° 6 representa la variabilidad de los promedios anuales de la reserva diaria de agua en el suelo. Nótese que solo en un año se produce que las reservas caen en el sector de sequía condicional, para La Rioja. La Fig. 7 corresponde a Mendoza Aero y puede observarse que es el más árido de los tres ejemplos elegidos. La N° 8 se refiere a la marcha de las reservas en un año húmedo en Mendoza y el si-

guiente (Nº 9) a los mismos almacenajes del año más seco (1971-1972) y el Nº10, los valores medios (período 1961-1995). La [Fig. Nº11](#) se refiere a San Rafael (al S en la provincia de Mendoza). Esta ciudad está ubicada en una zona menos árida que Mendoza, pero aún así la producción se logra por riego. Se diferencia de las otras dos ciudades en que tiene sus máximos fluviales (muy restringidos) se presentan en el período invierno-primavera. En el verano hay mayores precipitaciones, pero la estacionalidad de las mismas no es muy marcada y, por lo tanto, prevalece el efecto de la evapotranspiración potencial. Las tres últimas Figuras repiten las características del mes más húmedo, el más seco y los almacenajes medios para San Rafael ([Nº 12](#), [13](#) y [14](#)).

Figura 2
Curvas de tensión de humedad para un suelo típico

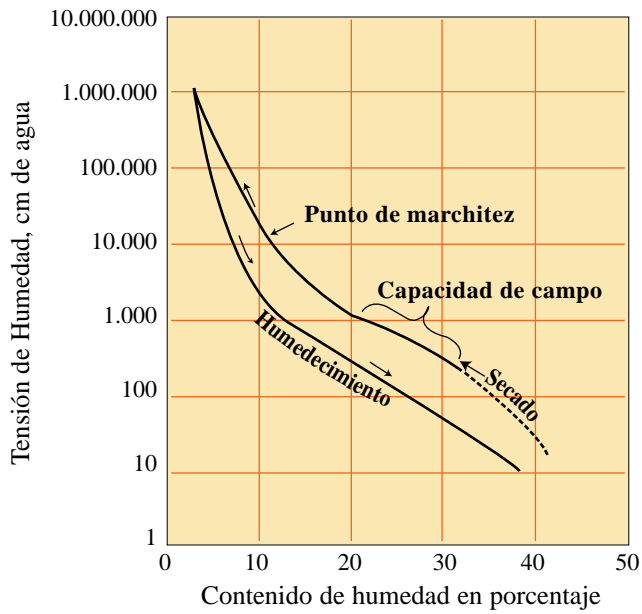
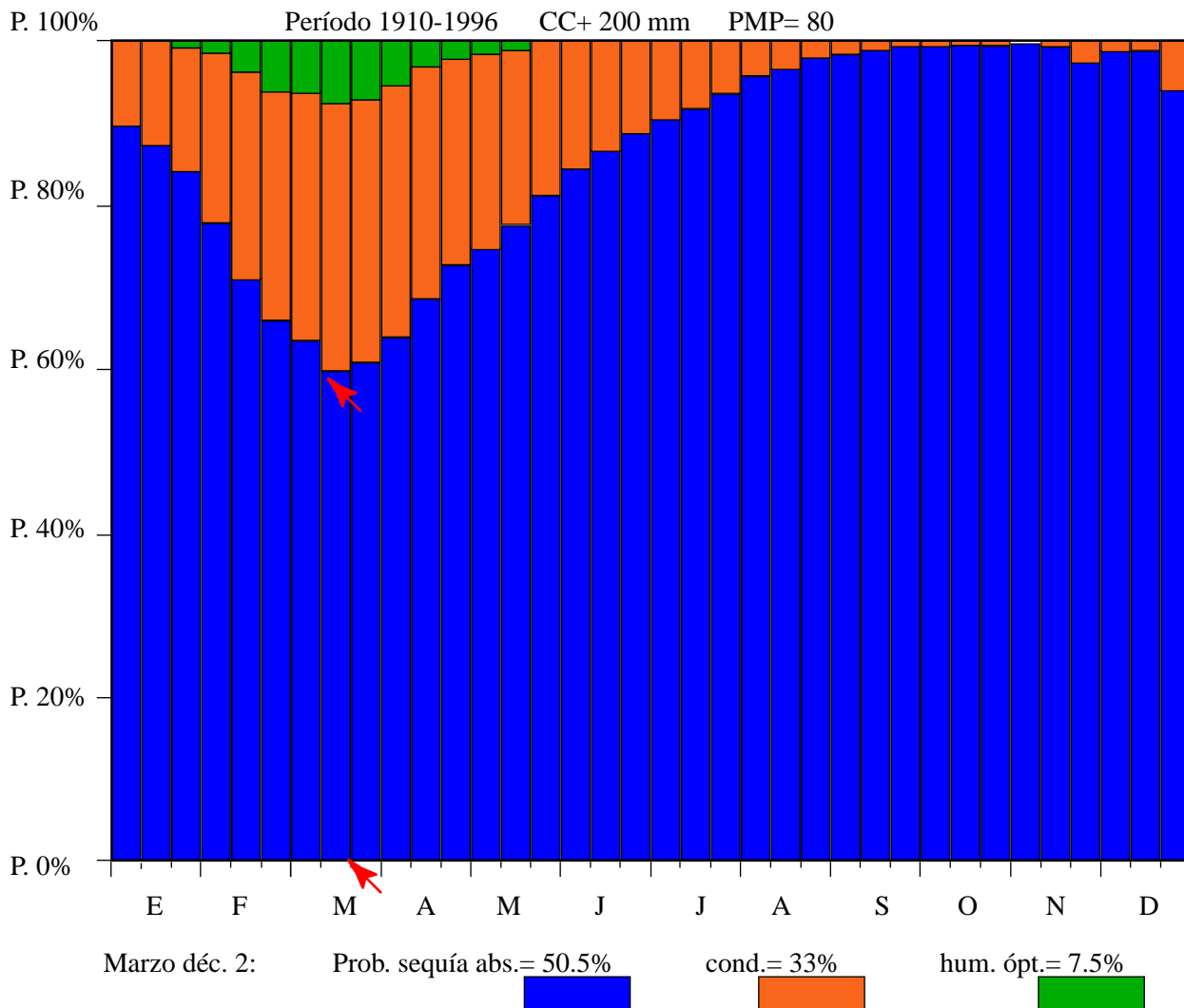


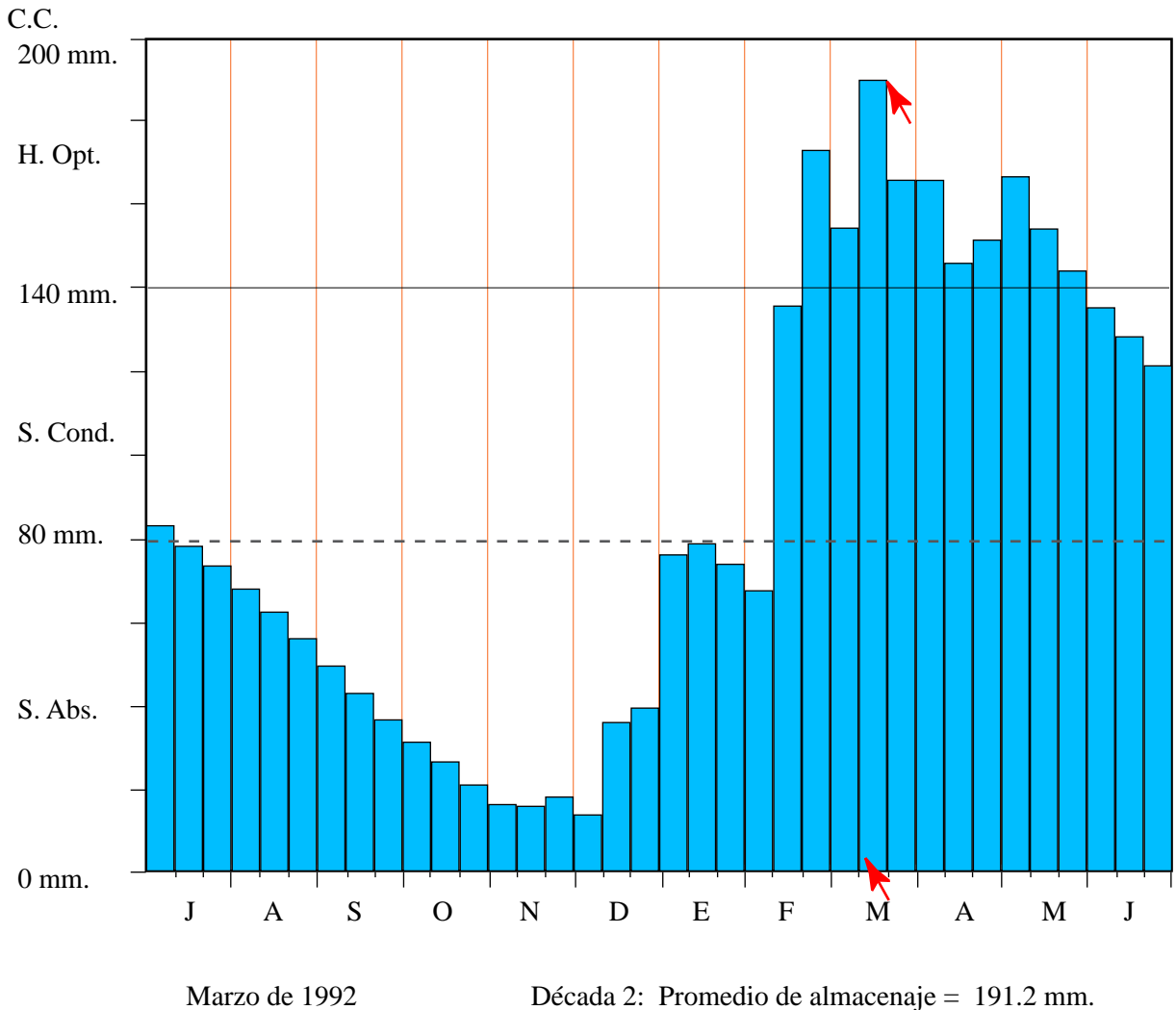
Figura 3
Climatología del Agua en el suelo en La Rioja Met. - luego Aero



La climatología del agua en el suelo para La Rioja y en el resto de las estaciones fue obtenida por promedios decádicos de almacenaje de agua provenientes del balance hidrológico diario con evapotranspiración potencial (Etp) media de Penman (1948), para una capacidad de campo de 200 mm y un punto de marchitez permanente (PMP) de 80 mm; estas constantes hídricas fueron las más representativas en las tres estaciones estudiadas de acuerdo con algunos antecedentes experimentales realizados en Patquía (La Rioja) y Ñacuñán (Mendoza). Se establecieron tres categorías de humedad edáfica: a) sequía absoluta (por debajo del PMP), b) sequía condicional (entre el PMP y la mitad del agua útil) y c) humedad óptima (por encima del nivel anterior). Las 36 series de promedios decádicos fueron ajustadas mediante la distribución teórica de Beta(1) de dos parámetros para obtener las probabilidades de ocurrencia.

El régimen en La Rioja nos muestra que aunque el estado de sequía absoluta es predominante durante todo el año existe una época al fin del verano en que son claramente más frecuentes los estados intermedios (sequía condicional) y aun ligeras probabilidades de humedad óptima que se producen como consecuencia del marcado régimen de lluvias estivales al disminuir la Etp hacia el otoño. El peor momento desde el punto de vista hídrico es al promediar la primavera (primera década de noviembre) en que aun con lluvias en aumento nunca se llega a compensar la alta Etp de la época.

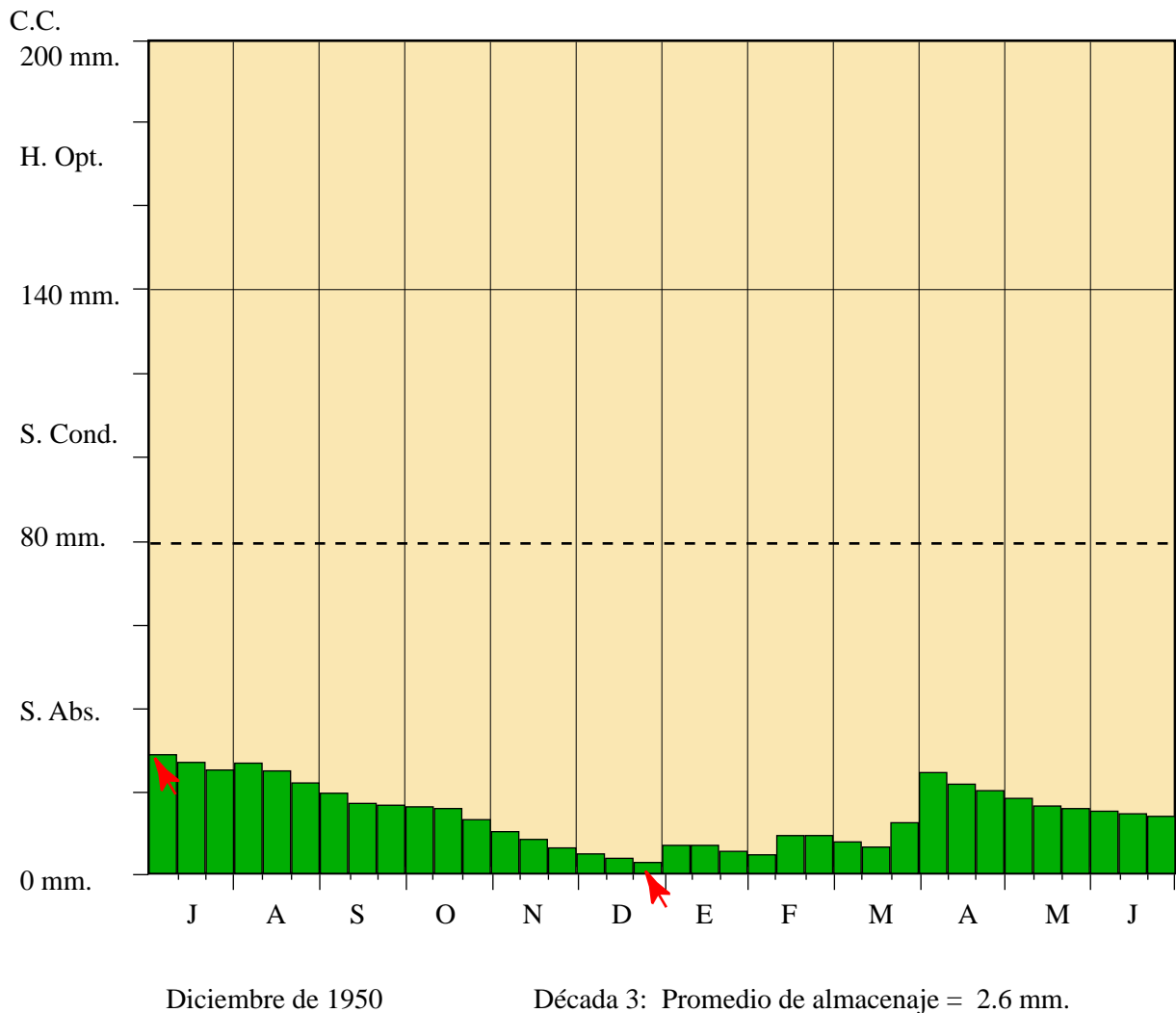
Figura 4
Almacenajes Decádicos de agua en el suelo en La Rioja Met. - luego Aero
Entre julio de 1991 y junio de 1992



Se describe un año de buenos almacenajes de agua edáfica en La Rioja. Luego de culminar la sequía en la primera década de diciembre de 1991, los promedios decádicos de almacenaje diario comienzan a aumentar hasta llegar al máximo en la segunda década de marzo de 1992 con un promedio de 191,2 mm (sobre 200 de capacidad de almacenaje); es probable que algún día de esa década se haya alcanzado la capacidad de campo y aun producirse excesos; es un caso excepcional para la zona pues existen 10 décadas consecutivas con reservas promedio en la categoría de humedad óptima desde fines de febrero a fines de mayo.

Nota: la línea de punteada indica el punto de marchitez permanente (aproximadamente un 40% de la capacidad de campo en este tipo de suelos) y es el máximo nivel de la sequía absoluta. La línea horizontal superior es el máximo nivel de la sequía condicional y está representado por el nivel a que llega la mitad del agua útil; por encima del mismo se encuentra la humedad óptima para los vegetales.

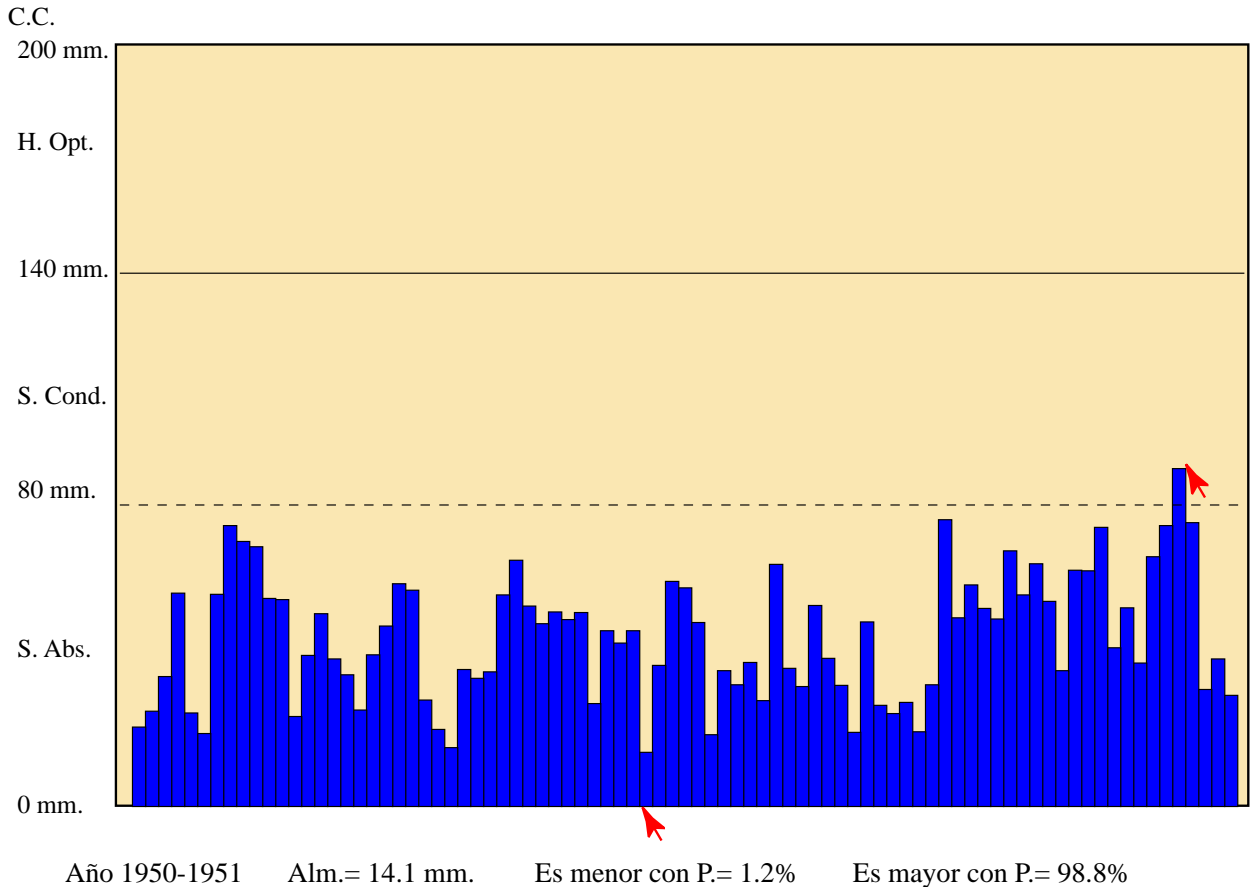
Figura 5
Almacenajes Decádicos de agua en el suelo en La Rioja Met. - luego Aero
Entre julio de 1950 y junio de 1951



Se describe un año con muy pobres reservas de agua edáfica en La Rioja.

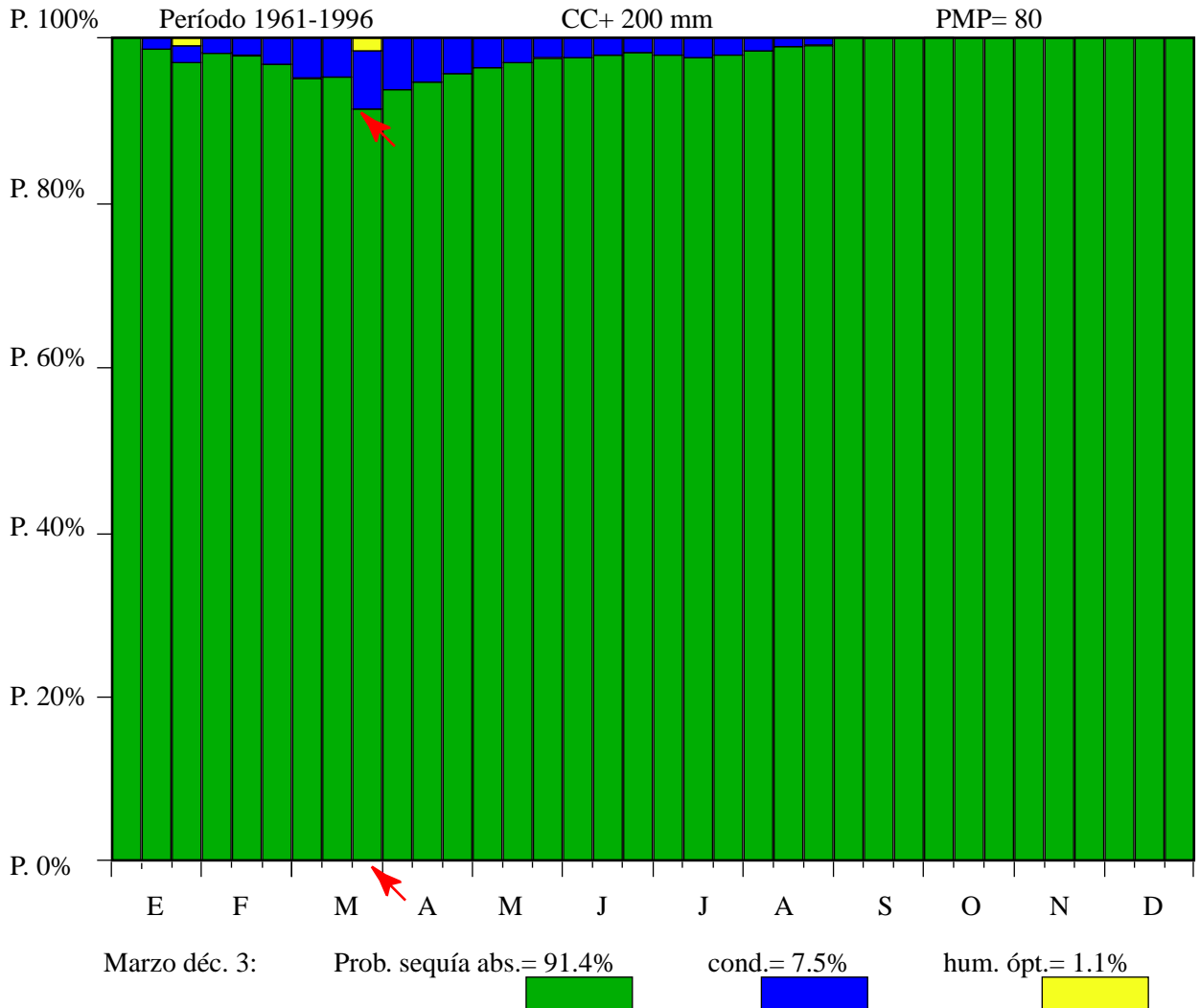
La culminación de la sequía se produce a fines de diciembre de 1950. El valor más alto lo encontramos, paradójicamente, en julio de ese mismo año con alrededor de 24 mm de reserva. Todo el año desde julio de 1950 hasta junio de 1951 se mantiene con valores extremadamente bajos.

Figura 6
Almacenajes Medios entre el 1º de julio y el 30 de junio
(Período 1910–1995), en la localidad de La Rioja Met. - luego Aero



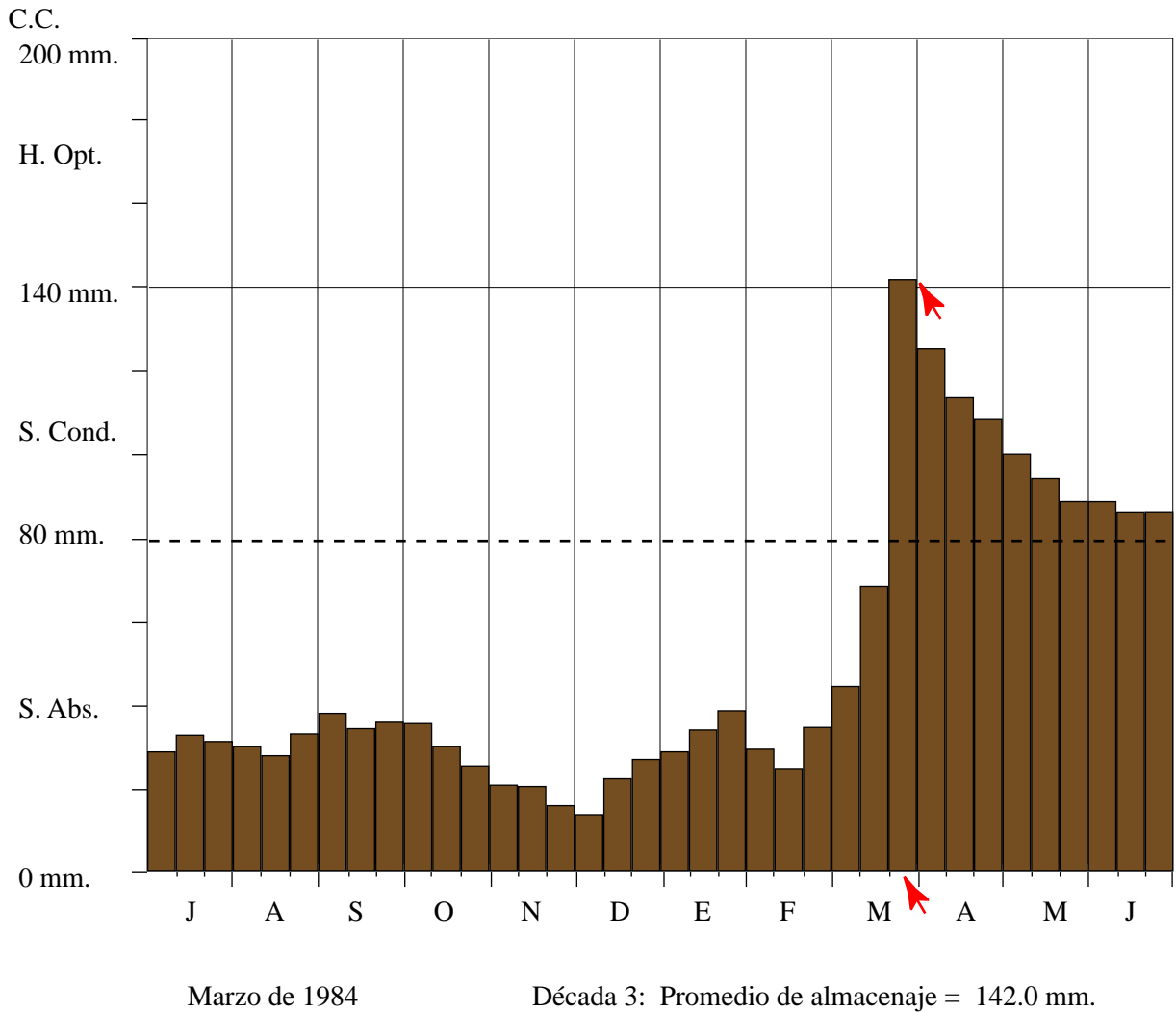
Se describe la variabilidad de los promedios anuales de la reserva diaria de agua en el suelo de La Rioja. Se nota que aun promediando los valores diarios de un año la variabilidad es muy grande dentro de los valores bajos que caracterizan a la serie. El año agrícola o año solar más seco de la serie analizada corresponde a 1950–51 con 14,1 mm de almacenaje medio; las probabilidades de que este valor sea menor y sea superado figuran en el gráfico. El más húmedo es el de 1991–92 con un promedio de 89,1 mm el cual es menor con $P = 99,0\%$ y por lo tanto es mayor con $P = 1,0\%$; es el único caso en que el promedio de un año de reservas diarias de agua en el suelo cae en la categoría de sequía condicional, el resto de los promedios anuales están en la categoría de sequía absoluta.

Figura 7
Climatología del agua en el suelo en Mendoza Aero (El Plumerillo)



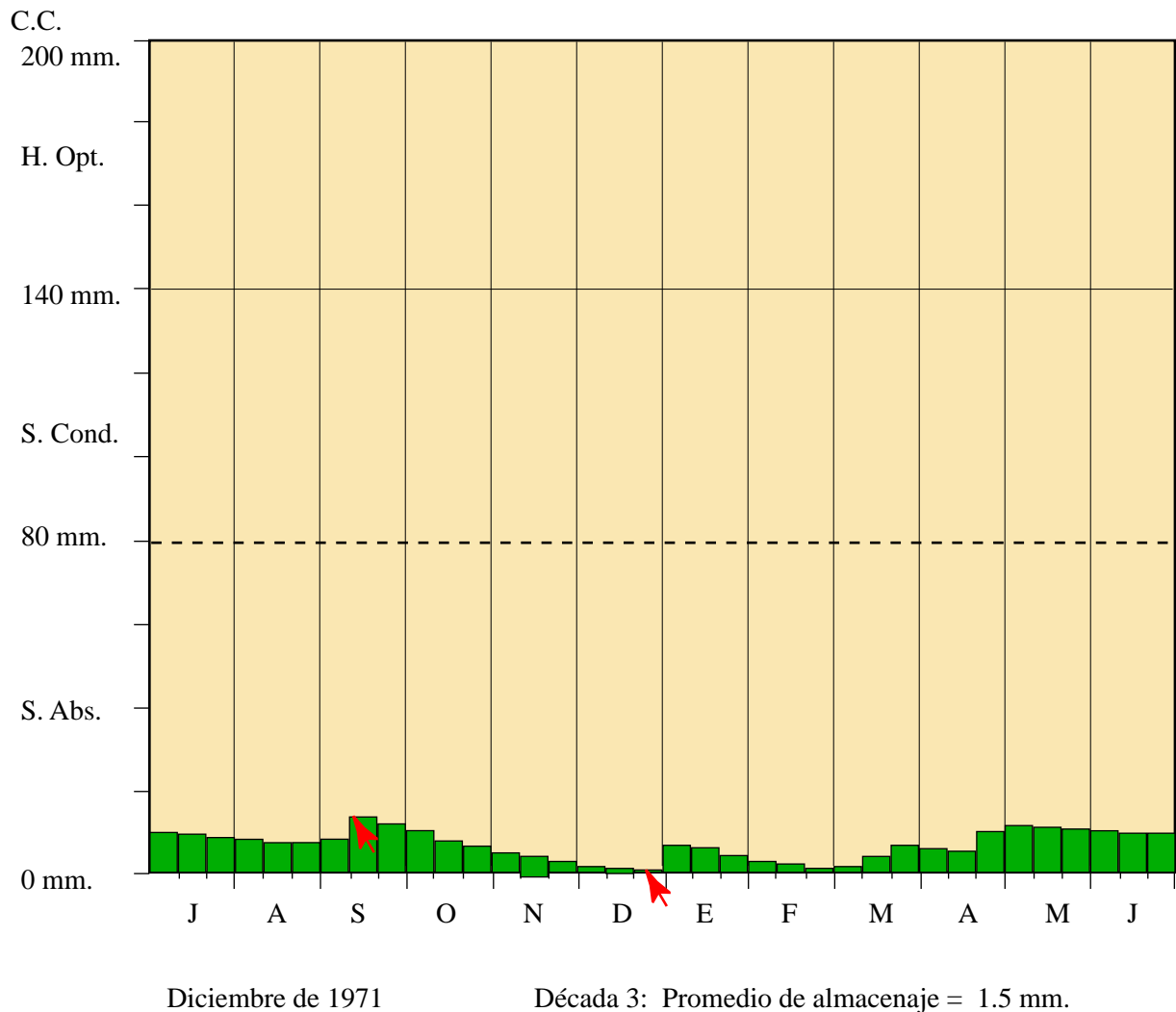
El régimen de humedad del suelo en Mendoza es el más árido de los tres ejemplos elegidos, existe una preponderancia absoluta de situaciones de sequía absoluta a lo largo de todo el año especialmente desde la primavera hasta el principio del verano, en el resto del año existen levisimas probabilidades de que esta condición no se presente, que culminan en la tercera década de marzo en que hay un 7,5% de casos con sequía condicional y un 1,1% con humedad óptima en el perfil natural de suelo. Las escasas lluvias son estivales aunque con algo menos de estacionalidad que en La Rioja, y la explicación de este patrón de reservas de agua en el suelo es similar al caso de La Rioja.

Figura 8
Almacenajes Decádicos de agua en el suelo en Mendoza Aero (El Plumerillo)
Entre julio de 1983 y junio de 1984



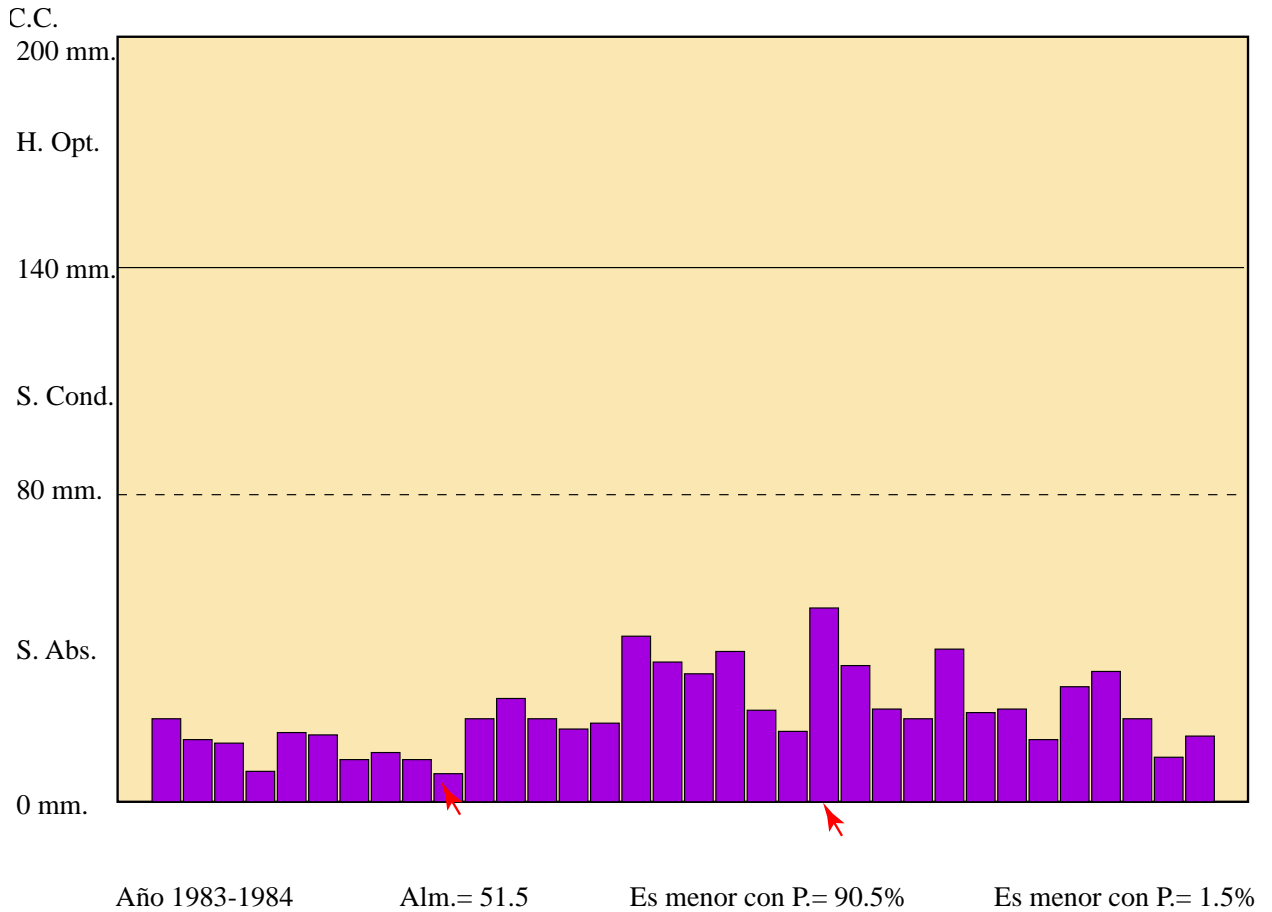
En este gráfico se describe la marcha de las reservas (promedios decádicos) del año agrícola más húmedo de la serie 1960–96 en la estación Mendoza. La sequía edáfica culmina en la primera década de diciembre de 1983 y luego los almacenajes comienzan a aumentar primero lentamente y en marzo de 1984 abruptamente para culminar en la tercera década de ese mes con un valor que apenas llega a la categoría de humedad óptima, para luego descender.

Figura 9
Almacenajes Decádicos de agua en el suelo en Mendoza Aero (El Plumerillo)
Entre julio de 1971 y junio de 1972



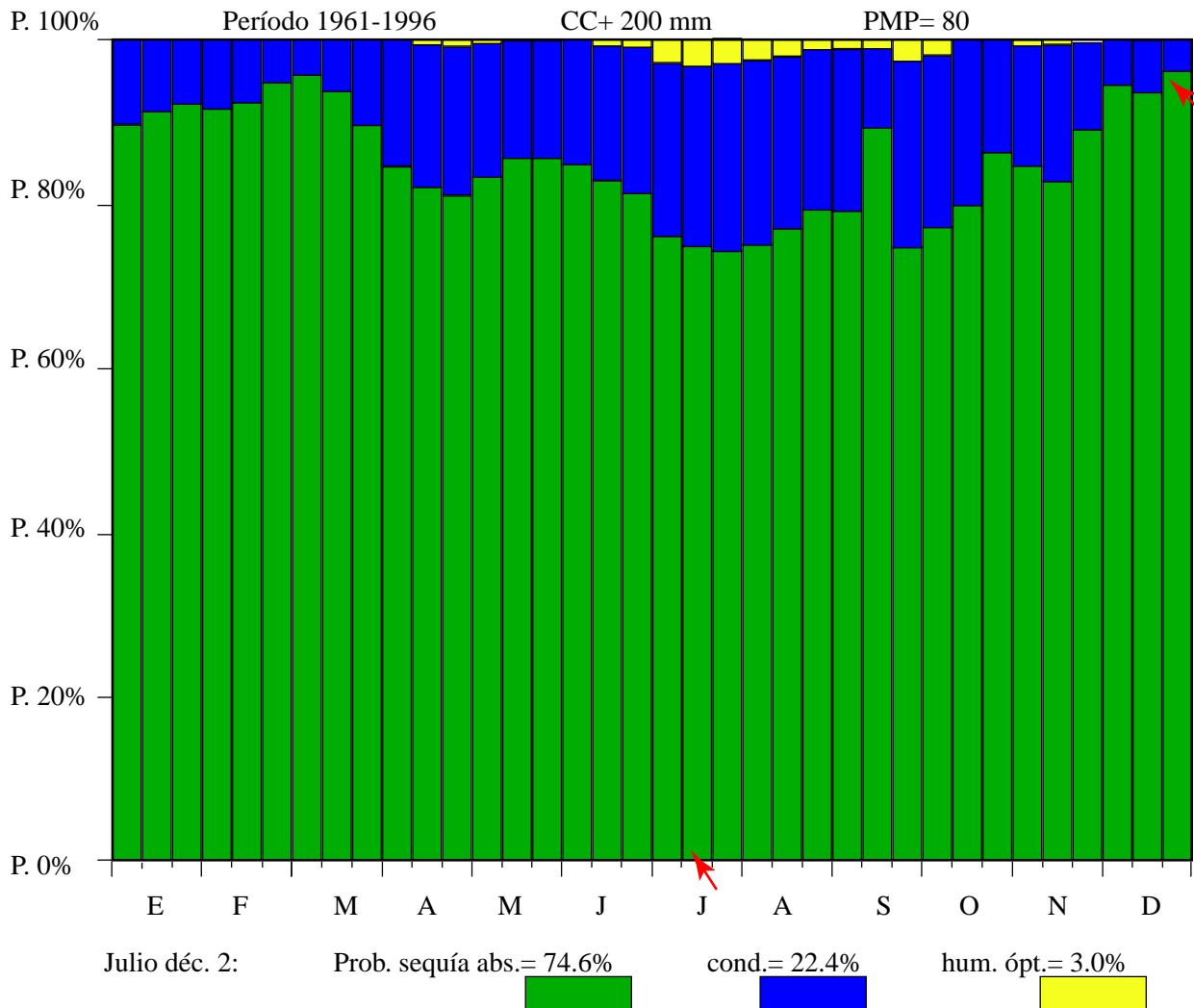
Se muestra aquí la marcha de los almacenajes decádicos del año agrícola más seco de la serie 1960–96 en Mendoza. La culminación de la sequía se produce en la última década de diciembre de 1971, pero las reservas son ínfimas en los doce meses graficados. Sólo una vegetación natural adaptada a extremas condiciones de aridez puede sobrevivir con estas condiciones durante tanto tiempo.

Figura 10
Almacenajes Medios entre el 1º de julio y el 30 de junio
(Período 1961-1995), en la localidad de Mendoza Aero (El Plumerillo)



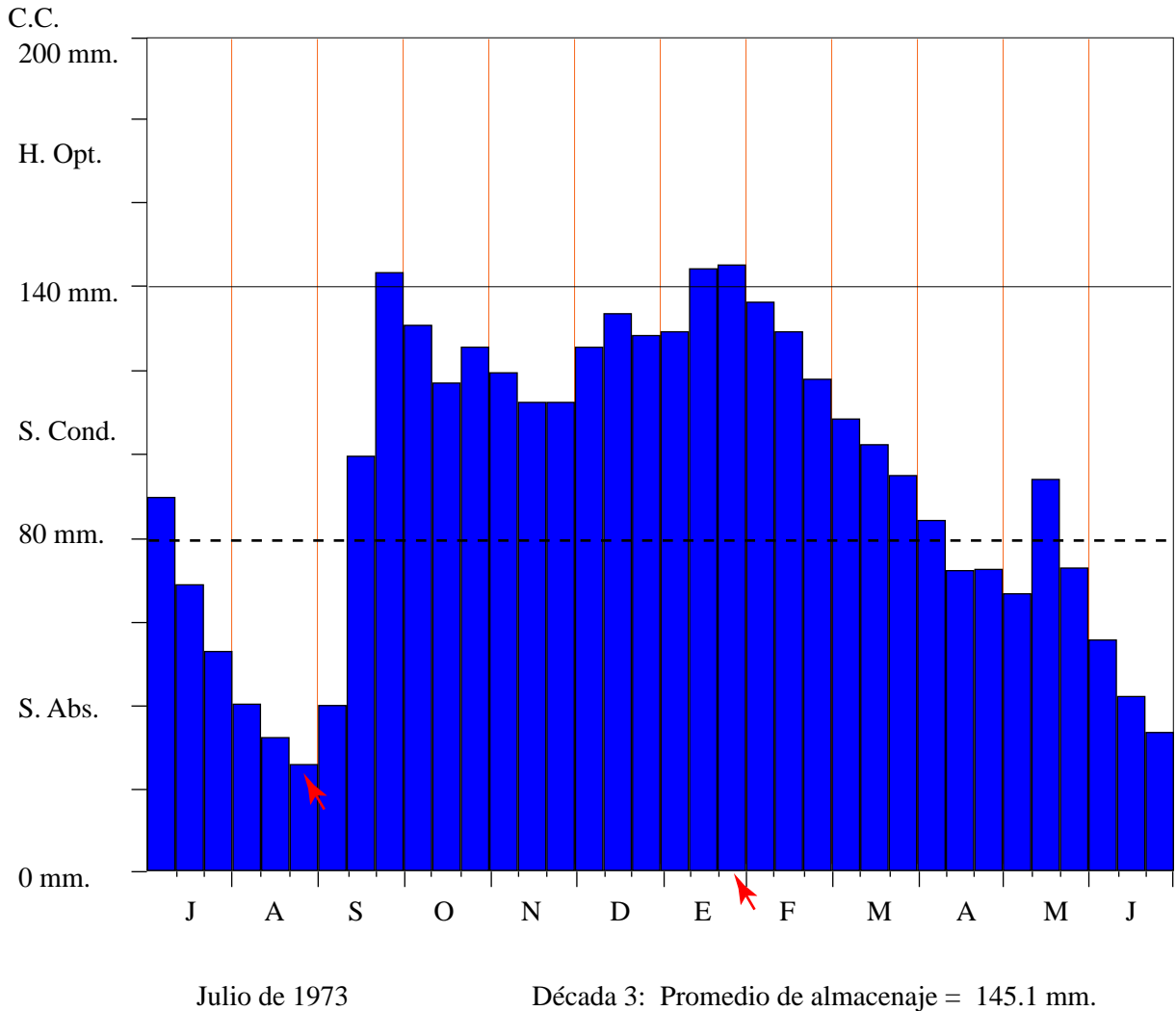
Queda descripta aquí la variabilidad de los promedios anuales de la reserva diaria de agua en el suelo para la serie disponible en Mendoza. El año más húmedo es 1983–84 cuyo valor anual medio no llega ni lejos a alcanzar al punto de marchitez permanente, o sea al nivel de sequía condicional, las probabilidades de esta reserva media anual figuran en el gráfico. El año más seco es 1971–72 con una reserva media de sólo 7,4 mm con una probabilidad de que sea menor del 2,7% y por lo tanto de que sea mayor del 97,3%.

Figura 11
Climatología del agua en el suelo en San Rafael (Aero)



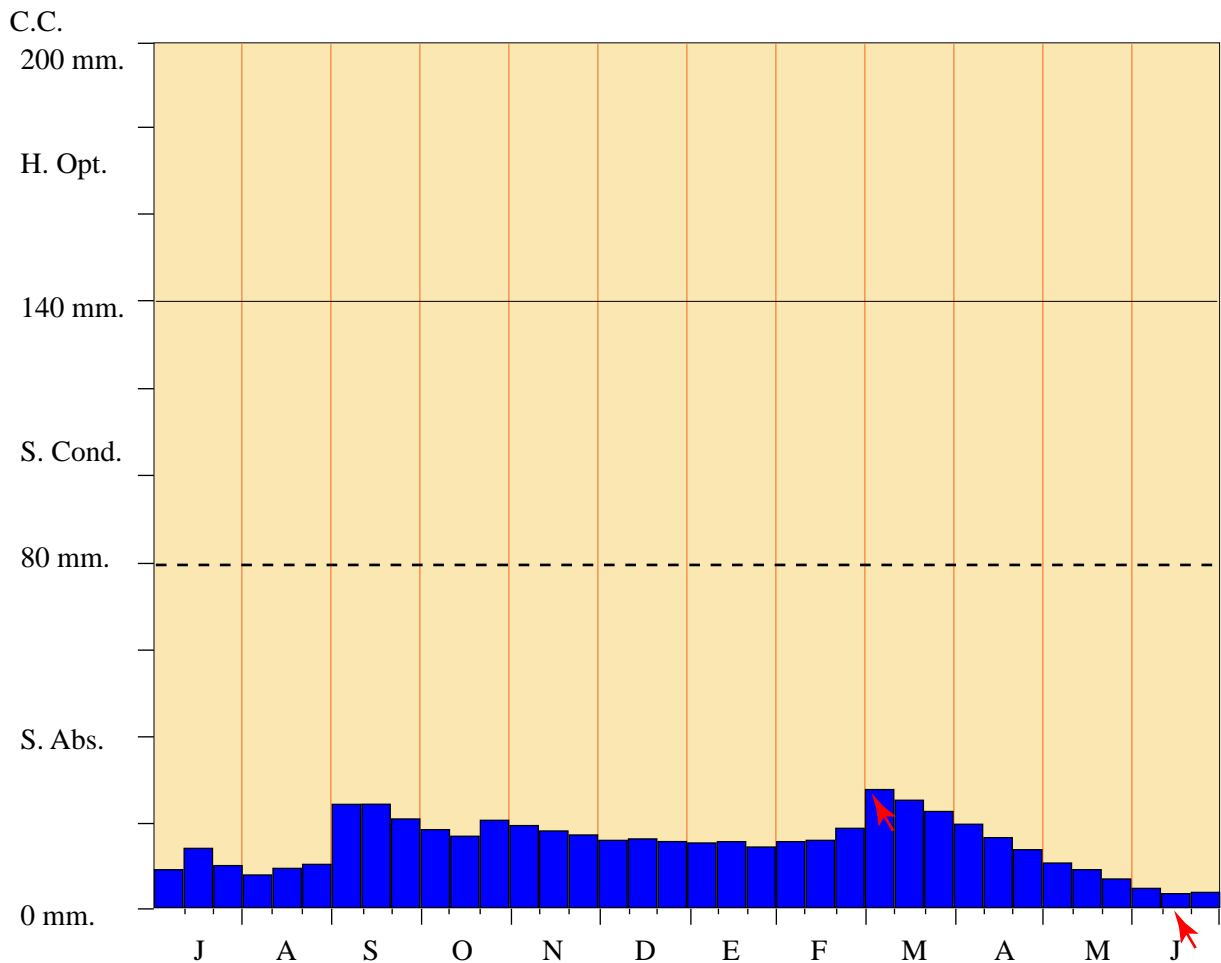
El régimen climático de la humedad en el suelo en San Rafael, además de no ser tan árido como el de Mendoza, muestra un patrón distinto al de las otras dos estaciones estudiadas (La Rioja y Mendoza) ya que las escasas disponibilidades son mayores en el período invierno-primaveral que en el estivo-otoñal. Esto se debe a que aunque también San Rafael presenta mayores precipitaciones estivales, la estacionalidad de las mismas no es muy marcada y por lo tanto se impone el efecto de la evapotranspiración potencial, haciendo que las máximas, aunque escasas, probabilidades de no estar en una situación de sequía absoluta se presenten en la segunda década de julio. En esta y en algunas décadas vecinas existen incluso pequeñas probabilidades de situaciones de humedad óptima que se repiten al principio de la primavera. El período más crítico desde el punto de vista de la humedad natural en el suelo se produce en la última década de diciembre.

Figura 12
Almacenajes Decádicos de agua en el suelo en San Rafael (Aero)
Entre enero y diciembre de 1973



Este gráfico describe la marcha de los almacenajes decádicos a lo largo del año calendario 1973, el más húmedo de la serie disponible en San Rafael. Luego de la culminación de la sequía edáfica en la última década de febrero, las reservas suben rápidamente en marzo y se mantienen relativamente altas hasta la tercera década de julio. Al superarse el nivel de sequía condicional en las dos últimas décadas de ese mes, al igual que en la última de marzo, se alcanza la categoría de humedad óptima. Un nuevo aumento relativo de las reservas se registra a mediados de noviembre pero sólo alcanza a la categoría de sequía condicional.

Figura 13
Almacenajes Decádicos de agua en el suelo en San Rafael (Aero)
Entre enero y diciembre de 1971

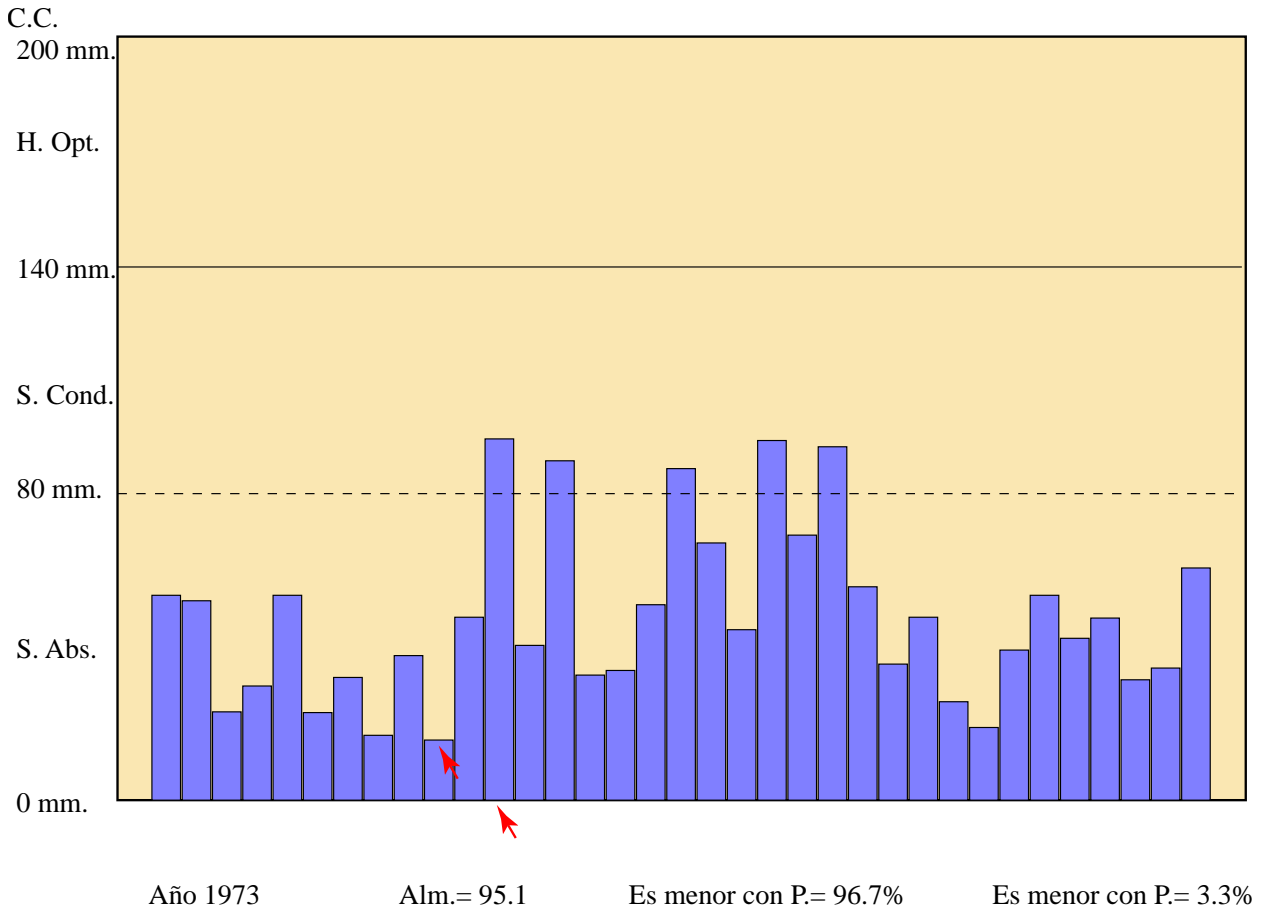


Diciembre de 1971

Década 2: Promedio de almacenaje = 3.7 mm.

Se describe la marcha de los almacenajes diarios (promedios decádicos) del año más seco de la serie disponible en San Rafael (1961–96). Se aprecian bajos valores de reserva de agua edáfica a lo largo de todo el año, sin embargo son algo mayores que los observados en el año más seco en Mendoza. La sequía culmina, en este caso, en la segunda década de diciembre de 1971, luego de un descenso gradual desde la década menos seca de ese año ubicada a principios de septiembre.

Figura 14
Almacenajes Medios entre el 1º de enero y el 31 de diciembre
(Período 1961-1996), en la localidad de San Rafael (Aero)



Este último gráfico muestra la variabilidad de los promedios anuales de almacenaje diario de agua en el suelo natural en San Rafael entre 1961 y 1996. Se observan 5 casos sobre 36 años en que dichos promedios superan el límite del punto de marchitez permanente quedando en situación de sequía condicional. El año 1973 tiene el valor más alto y las probabilidades de su ocurrencia figuran en el gráfico. El año 1971 tiene el promedio más bajo con 15,1 mm siendo la probabilidad de que sea menor de 4,7% y de que sea mayor de 95,3%.

Nota: es posible que los valores de reserva estimados con este método estén algo subestimados para regiones áridas que no cuentan con una cobertura vegetal del tipo "pradera permanente", lo que disminuye el valor de la transpiración en el término evapotranspiración potencial, sin embargo la evaporación directa desde suelos semi-desnudos aumentaría, lo que jugaría en contra de la advertencia puntualizada.

El primer año del balance no ha sido tenido en cuenta en las estadísticas calculadas por tratarse de un año de ajuste del mismo.

ANEXO D

Estimación del Impacto de dos escenarios posibles, para los años 2025 y 2050, sobre los recursos hídricos de la Región de los Oasis Pedemontanos.

Cálculo de la evapotranspiración

Adoptando los valores de la estación meteorológica Mendoza Aero como representativos de la zona de los oasis, se procedió al cálculo de la evapotranspiración "actual" sobre los valores medios mensuales de series de datos de diferentes periodos. La tabla que sigue informa sobre los resultados obtenidos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
T seco	25,2	24,0	20,8	16,5	11,7	8,0	7,8	10,7	13,3	18,7	22,2	25,0	17,0
T húmedo	18,1	17,6	15,9	12,6	8,3	5,3	5,0	6,4	8,4	12,1	14,7	17,2	11,8
ETP mm	179	135	97	67	36	23	25	46	76	113	147	180	1200
Precip. mm	18,2	38,0	36,1	13,4	7,9	3,6	12,2	5,3	13,2	8,2	7,4	23,3	186,8

Utilizando el nomograma de Purvis (1961), modificado por Quintela (1970), se pueden obtener los valores diarios actuales de la evapotranspiración, mediante la fórmula:

$$EPT = EPT' + EPT'' + EPT'''$$

Cuyos valores se obtienen de los diagramas adjuntos.

Para el Verano

$$EPT' = 4,6 \quad ; \quad EPT'' = 1,3 \quad y \quad EPT''' = -1,3$$

Por lo que

$$(EPT)_{\text{VERANO}} = 4,6 \text{ mm/día}$$

Para el Invierno

$$EPT' = 3,4 \quad ; \quad EPT'' = 0,2 \quad y \quad EPT''' = -1,0$$

Por lo que

$$(EPT)_{\text{INVIERNO}} = 2,6 \text{ mm/día}$$

Puesto que los valores probables de las temperaturas y las precipitaciones para los años 2025 y 2050 están dados para los trimestres de verano e invierno, se calcularon los valores medios para cada uno de esos trimestres, según sigue.

	VERANO				INVIERNO			
	Dic	Ene	Feb	Prom.	Jun	Jul	Ago	Prom.
T. seco	25,0	25,2	24,0	24,7	8,0	7,8	10,7	8,8
T húmedo	17,2	18,1	17,6	17,6	5,3	5,0	6,4	5,6
	Totales				Totales			
EPT mm	180	179	135	494	23	25	46	94
Precipit. mm	23,3	18,2	38,0	79,5	3,6	12,2	5,3	21,1

Además, habida cuenta que las temperaturas probables para las proyecciones en los años 2025 y 2050, correspondientes a los trimestres de verano e invierno, estarían en 1,5°C y 3°C, y entre 1°C y 2°C, respectivamente, por encima de los valores actuales, los valores de las temperaturas del aire, a la altura de la casilla meteorológica, serían:

Año 2025	Verano $24,7 + 1,5 = 26,2^{\circ}\text{C}$	Invierno $8,8 + 1 = 9,8^{\circ}\text{C}$
Año 2050	Verano $24,7 + 3 = 27,7^{\circ}\text{C}$	Invierno $8,8 + 2 = 10,8^{\circ}\text{C}$.

Utilizando nuevamente los diagramas, calculamos las ETP correspondientes a los años arriba indicados

Año 2025	Verano 4,8 mm/día	Invierno 2,8 mm/día
Año 2050	Verano 5,6 mm/día	Invierno 3,3 mm/día

Cambios que se pueden esperar en la evapotranspiración

Año 2025

Se produciría un aumento diario de 0,2 mm/día en verano y ninguna variación en los meses de invierno.

Consecuentemente, para el período Diciembre, Enero, Febrero, la evapotranspiración potencial aumentaría en 18 mm, es decir que se ubicaría en un 4 % por encima de los valores normales actuales, sin cambio en las precipitaciones. Para los meses de Junio, Julio y Agosto no habría cambios, pero si un aumento en las precipitaciones (45 mm).

Año 2050

Se produciría un aumento en la EPT de 90 mm, para el período Diciembre, Enero, Febrero, sin cambio en las precipitaciones. Esto significa un aumento en la evapotranspiración del orden del 22 %, respecto de las condiciones actuales. Durante el período invernal el incremento de la evapotranspiración sería de 26 %, con un aumento probable de las precipitaciones, estimado en 90 mm.

Efectos del entorno de los oasis y de las temperaturas sobre el suelo

Como es sabido, las fórmulas utilizadas para los cálculos de evapotranspiración fueron desarrolladas inicialmente para las zonas agrícolas húmedas, por lo que su utilización en zonas áridas ha generado importantes controversias. Entre ellas se destacan las originadas por F.I. Morton (Canadá), quien ha publicado una serie de trabajos importantes orientados a evaluar la evapotranspiración en áreas con distintos entornos, incluyendo un área irrigada entre zonas áridas, una situación similar a la que presenta la región de los oasis pedemontanos.

Estos trabajos muestran un aumento en la evapotranspiración sobre el área irrigada, debido a las condiciones mucho más secas del entorno. Respecto de los valores publicados por Morton, en el Monthly Climatic Data for the World, el autor destaca que la evaporación areal elevada, correspondiente a estaciones como Mendoza y San Juan, “parecen reflejar los efectos de la irrigación”.

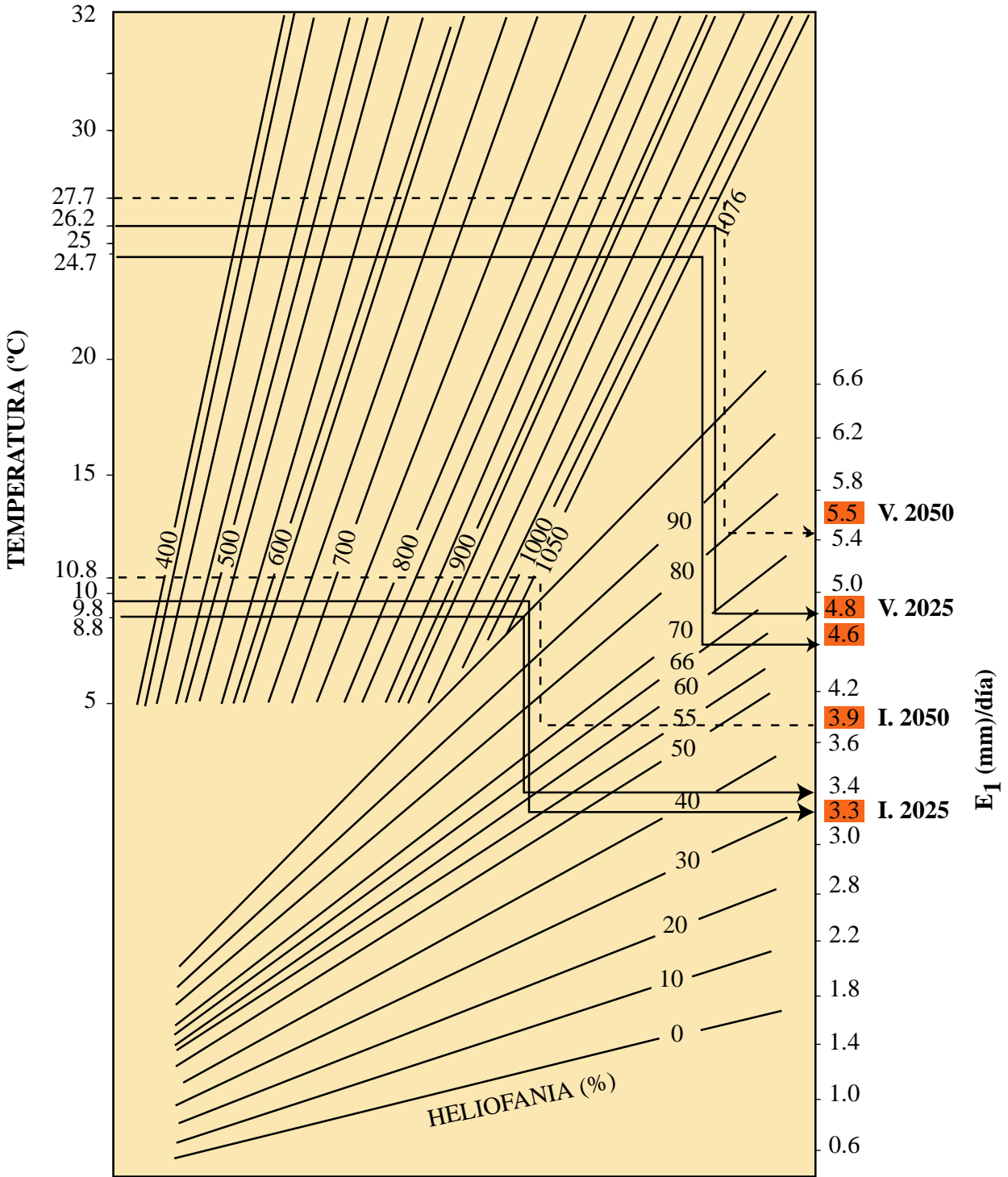
Por otro lado, mediciones efectuadas en la Provincia de Buenos Aires sobre lagunas abiertas (realizadas en ocasión del Plan Hidrológico Maestro de esa provincia) mostraron evaporaciones reales muy elevadas, superiores a las resultantes de la aplicación de las fórmulas semi-empíricas clásicas.

En vista de ello, habida cuenta que, como se expresa en el Informe, la temperatura del suelo es superior en, aproximadamente, unos 2,5°C por sobre la temperatura medida en la casilla meteorológica, resulta oportuno destacar la importancia de este factor físico en la evaporación en áreas aledañas a regiones áridas. La consideración de las temperaturas sobre el suelo, siguiendo el procedimiento presentado en este Anexo, sugiere que los aumentos previstos en las temperaturas para los años 2025 y 2050, exacerbarán las condiciones de evaporación en los oasis y en sus bordes, más allá de lo que lo muestran los cálculos arriba mencionados, con incrementos entre 135 y 165 mm, para el período estival. Consecuentemente los balances hidrológicos resultarían más deficitarios que lo que indican los párrafos anteriores.

Bibliografía

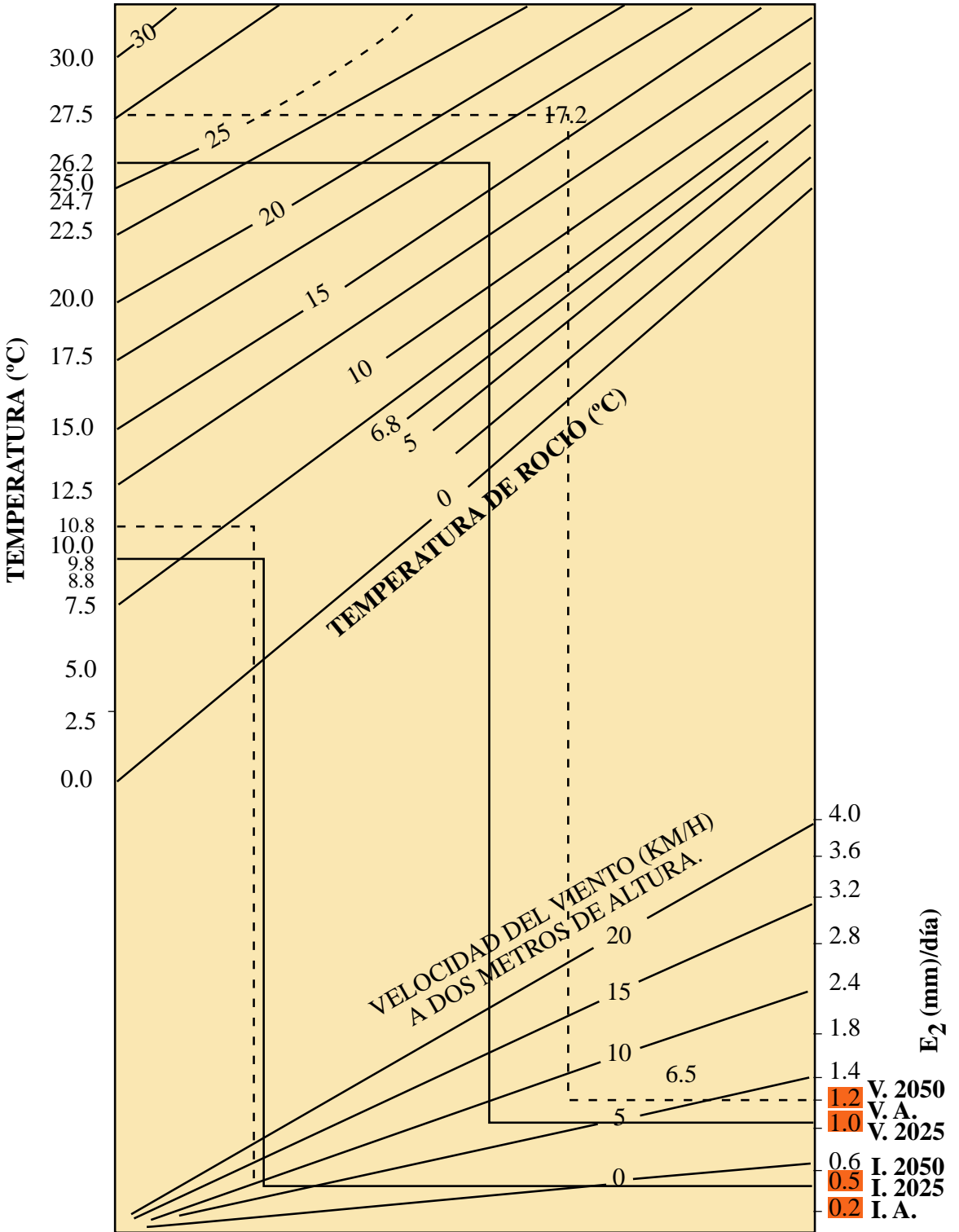
- Morton F.I.** (1963). Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of Hydrology. Journal of Hydrol. 66, pp 1 - 76.
- Morton F.I.** (1985) The complementary relationship areal evapotranspiration model: How it works. Proceed. National Conference on Advances in Evapotranspiration. Ame. Soc. of Agric. Eng., Chicago, pp 377-384.
- Purvis J.C.** (1961) Graphical Solution of Penman equation for potential evapotranspiration. Monthly Weather Review, Vol. 89.
- Quintela R. M. et al** (1970) Contribución al conocimiento del régimen de evaporación en Argentina, SMN, Serie C N° 8.

Gráfico 1



V. A. Verano (Actual)	V. 2025 (Verano 2025)
I. A. Invierno (Actual)	I. 2025 (Invierno 2025)
I. 2025 (Invierno 2025)	V. 2050 (Verano 2050)

Gráfico 2



V. A. Verano (Actual)

V. 2025 (Verano 2050)

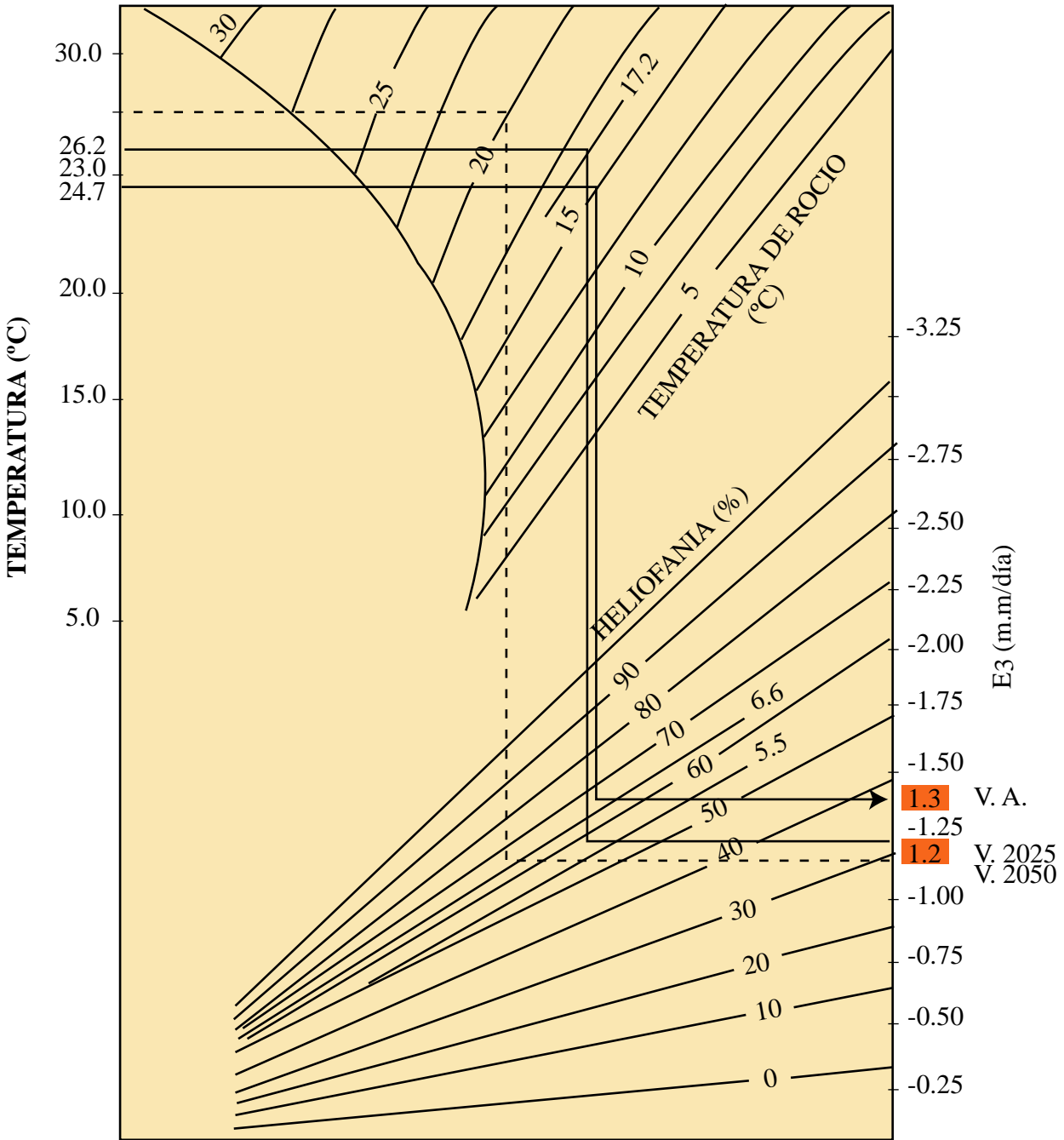
I. A. Invierno (Actual)

I. 2025 (Invierno 2025)

I. 2025 (Invierno 2025)

V. 2050 (Verano 2050)

Gráfico 3



Bibliografía

- **Aceituno, P.**, 1987 *Aspectos tridimensionales del funcionamiento de la Oscilación del Sur en el sector sudamericano*. Anales del Segundo Congreso Interamericano de Meteorología, Nov 30-Dic4, 1987. Centro Argentini de Meteorólogos, Buenos Aires. Arg.
- *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Oficina de Información sobre el Cambio Climático, Ginebra. Suiza 1996.
- **Bertranou A., O Bracelli, O.Llop y A. Leiva**, 1987. *Análisis de la gestión del riego en Mendoza: Sus determinantes económicos, sociales, institucionales, legales y administrativos*. CELA- INCYTH, Mendoza.
- **Burgos J.J. H.Fuenzalida and C.B Molion**, 1991: *Climate Change Predictions for South America*. Climate Change, 18, 1996
- **Campos M.** 1996. *Estimación de la vulnerabilidad de los recursos hídricos, marinos-costeros y agrícolas en Centro America ante un potencial cambio climático*. USCSP. Proyecto Centroamericano sobre Cambio Climático.
- **Capitanelli R.**, 1982. *Uso del agua en regiones secas*. Revista Geográfica N° 95, 1982.
- **Carril A.F., M.Doyle, V.R.Barros and M.N.Nuñez**, 1997. *Impacts of climate change on the oases of the Argentinean cordillera*. Climate Change, 1997.
- **Carril A.F, C.G.Menendez y M.N.Nuñez**. 1997. *Climate change scenarios over the South American Region, an intercomparison of coupled general atmosphere-ocean circulation models*
- **Castañeda M.E. y V. Barros**, 1996. *Sobre las causas de las tendencias de precipitación en el Cono Sur de América del Sur al este de los Andes*. Report 26-1996. Center for Ocean-Atmospheric Studies.
- **Caviedes C.N.**, 1973. *Secas and El Niño two simultaneous climatic hazards in South America*. Proceedings Assoc.Amer.Geogr. 5, 1973.
- **Cerveny R.S., B.R.Skeeter and K.F.Dewey**, 1987. *A preliminary investigation of a relationship between South America snow cover and the Southern Oscillation*. Mon.Wea Rev, 115, 1987.
- **Chiozza E., R.Figueras**, 1981. *Atlas Total de la República Argentina*. Centro Editor de América Latina.
- **Gutierrez de Manchon, M.J.**, 1996. *Retroceso y reconversión de cultivos en los oasis de Mendoza*. En Furlani de Civit y M.J. Gutierrez de Manchón (Coord.) Mendoza, una geografía en transformación. Facultad de Filosofía y Letras. UNC, Mendoza, 1996.
- **Forte Lay J.A.**, 1987. *Evolución de las Características Hidrometeorológicas de la Llanura Pampeana Argentina*. UNESCO. Programa Hidrológico Internacional, Buenos Aires. Argentina
- **Hoffmann J.J.A., W.Vargas y S.Nuñez**, 1997. *Temperature, humidity and Precipitation variations in Argentina and adjacent sub-Antarctic region during the present century*. Meteorologisches Zeitschrift.
- **IPCC, 1996** *Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of IPCC*. (Editores Houghton J., G. Meira Filho, B.Callender, N.Harris, A. Kattenberg and K.Maskell) Cambridge Univ. Press, 1996
- **IPCC, 1996**. *Climate Change 1995. Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change - Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of IPCC*. (Editores Watson, R.T., M.C Zinyowera y R.H.Moss) Cambridge Univ. Press, 1996.
- **IPCC, Latin America**. Chapter 6. IPCC Special Report on Regional Impacts of Climate Change (De. Canziani O.F. y S. Diaz) Cambridge Univ. Press 1997
- **Llop A. y A.Bertranou**, 1981. *El agua y el desarrollo regional en el centro oeste argentino. Estado de desarrollo de las cuencas hídricas y necesidades de investigación*. CELA - INCYTH, Mendoza.
- **Llop A. G.Fasciolo, E.Ramet y V. Mendoza**, 1993 *Ampliación del sistema de agua potable del Gran Mendoza*. CELA - INCYTH.
- **Karl T**, 1997. *Annex A. Regional trends and variations of temperature and precipitation*. IPCC. Contribution of the WG II to the Second Assessment Report, 1996.
- **Labraga J.C**, 1997. *The climate change in South America due to a doubling in CO₂ concentrations intercomparison of general circulation model equilibrium experiments*. Journal of Climatology, 17.

- **Labraga J.C. and M.Lopez.**1997.*A comparison of the climate response to increased carbon dioxide simulated by general circulation models with mixed layer and dynamic ocean representation in the region of South America.* Internl Jour of Climatology, UK
- **Minetti J.L. M.Carletto y M.R Ch.de Ferrero,** 1990. *Proceso de memoria en el escurrimiento superficial del rio San Juan.* Geoacta, Vol 17, 1990
- **Minetti J.L. y W.M.Vargas,**1995. *Trends and jumps in South America annual precipitation South of Parallel 15°S.* A ser publicado.
- **Molina Cabrera O,** 1975. *Las transformaciones demográficas en la región cuyana y el desarrollo de la economía durante el período 1810 - 1970.* CEIFAR, Mendoza.
- **Nobre C.A, and A.S D'Oliveira,** 1986. *Interactions between frontal systems in South America and Tropical convection over the Amazon.* Second Intl Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 1986. Wellington, N.Zealand, AMS.
- **Pittock, A.B.,** 1980.*Patterns of climatic variation in Argentina and Chile precipitation- 1931-1960.* Mon. Wea. Rev. 108.
- **Prieto M.R. y C. Wouillod,** 1986.*Consecuencias ambientales derivadas dela instalación de españoles en Mendoza, en 1562.* Cuadernos de Historia Regional, Vol II, N°6. Universidad de Luján.
- **Prieto MR. y S.B. Chorén,** 1991. *El trabajo familiar en el contexto rural de Mendoza a fines del siglo XIX.* Xama, Mendoza Argentina, 1991.
- **Prieto M.R. y R.G.Herrera,** 1997.*Los Oasis irrigados de la Provincia de Mendoza.* (en prensa)
- **Prohaska F.,**1976. *The Climate of Argentina, Paraguay and Uruguay.* World Survey of Climatology. Vol 12, De. W.Schwerdtfeger. Elsevier.
- **Rosenbluth B, H.Fuenzalida y P.Aceituno.,** 1997. *Recent temperature variations in southern South America.* Intl Journal of Climatology, 17, 1997
- **Rubin M.J.,** 1955. *An analysis of pressure anomalies in the Southern Hemisphere.* Notos 4, 1955.
- **Santibañez F. and J.Uribe,** 1994.*El clima y la desertificación en Chile.* Taller Nacional del Plan de Acción para combatir la Desertificación. Universidad Nacional de Chile.Santiago.
- **Vargas W.M. y R.H.Compagnucci,** 1985. *Relaciones del regimen de precipitación entre Santiago de Chile y las series de la región cordillerana.* Geoacta, Vol 13, 1985.
- **Vargas W.M. y S.Bishoffm,** 1995.*Statistical study of climatic jumps in the regional and zonal circulation over South America.* Journal of the Met.Soc. of Japan 73(5).
- **Whetton P.H., A.B.Pittock, J.C.Labraga, A.B. Mullan and A.Joubert,** 1996. *Southern Hemisphere Climate comparing models with reality.* Climate Change, Developing Southern Hemisphere Perspectives (Henderson-Sellers A. and T.Giambelluca [Eds]) Wiley and Sons. UK.
- **WMO** Vocabulario Meteorológico Internacional, Ginebra, 1992
- **WMO.** Technical Note N° 186. *Land Management in arid and semi-arid areas.* WMO N° 662, Geneva, 1989.
- **WMO.** Technical Note N° 184. *Land use and agrosystem management under severe climatic conditions.* WMO N° 633, Geneva, 1986

Los autores de este Informe recurrieron a información incluida en:

Anuario de la Dirección de Estadísticas de la Provincia de Mendoza.
 Archivos de las Direcciones de Hidología de las provincias de La Rioja y San Juan.
 Base de datos de la Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE)
 Archivo y Estadísticas Meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional
 Censos Nacionales de Población
 Datos de la División Estadísticas de Obras Sanitarias de Mendoza
 Datos e Información de Agua y Energía y EVARSA
 Informaciones del Diario Los Andes (1885- 1996)

Vulnerabilidad de los Oasis

Informaciones de periódicos provinciales y regionales.

Publicaciones de Instituciones provinciales, p.e.

Información sobre la red de frentímetros de Mendoza, San Juan y La Rioja y trabajos en la materia, como:

Evaluaciones hidrogeológicas del CRAS (Centro Regional de Agua Subterránea, San Juan.

Estado actual del conocimiento de los recursos hídricos de la provincia de La Rioja (1995)

Panorama Hidrogeológico de la Rioja (H. Crespo, 1982), etc.