



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Máster en Ingeniería
Hidráulica y Medio
Ambiente

Título del Trabajo Fin de Máster:

***ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO
MENDOZA (MENDOZA, ARGENTINA):
CUANTIFICACIÓN DEL RÉGIMEN
PLUVIO-NIVAL Y PROPUESTA DE
MODELO PARA MEJORAR LA GESTIÓN
INTEGRAL DE SUS RECURSOS***

Intensificación:

ORDENACIÓN, RESTURACIÓN Y GESTIÓN DE CUENCAS

Autor:

ANAÍ JAEL MINER VEGA

Director/es:

DR. ANDRÉS GARCÍA LORCA

DR. ABEL SOLERA SOLERA

Fecha: SEPTIEMBRE 2011



Título del Trabajo Fin de Máster:

ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA (MENDOZA, ARGENTINA): CUANTIFICACIÓN DEL RÉGIMEN PLUVIO-NIVAL Y PROPUESTA DE MODELO PARA MEJORAR LA GESTIÓN INTEGRAL DE SUS RECURSOS

Autor: **ANAÍ JAEL MINER VEGA**

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	ANDRÉS GARCÍA LORCA	Fecha de Lectura	Sep. 2011
Codirector1	ABEL SOLERA SOLERA		
Codirector2			
Tutor			

Resumen:

La cuenca del río Mendoza recibe 250mm de precipitación anual y 49m³/s de caudal medio. Las condiciones de aridez y necesidades de la población han generado avances en la gestión del agua que dan origen a los oasis de riego; sin embargo esto genera conflictos a nivel social, económico y ambiental ya que quedan zonas desprovistas de agua. El objetivo general es analizar los recursos hídricos de la cuenca del río Mendoza, tanto su oferta en forma de nieve y cuerpos de hielo, como su demanda; con el fin de generar propuestas de mejora en su gestión integral.

En el presente estudio se realizó un análisis de imágenes Landsat, con las que se estima la superficie de nieve en los meses de invierno aplicando el Normalized Difference Snow Index (NDSI). La tendencia es positiva en los 10 años analizados, lo que indicaría un aumento en las precipitaciones níveas. Se realizaron correlaciones lineales de superficie de nieve con el Equivalente Agua Nieve, el caudal en los meses de verano y el volumen anual (Hm³) presentando coeficientes de Pearson entre 0.63 y 0.25. La fiabilidad de estos análisis se encuentra entre el 95 y 80%. Análisis no paramétricos (Kendall y Spearman) presentaron correlaciones bajas. En este caso, sería necesario incluir más datos u otras variables para que la superficie de nieve sea un buen predictor del caudal del río.

Con respecto a la gestión del recurso hídrico, se planteó el diagrama de modelación de la cuenca con el sistema de AQUATOOL y se hizo un análisis de las principales variables. Se obtienen como resultado de la optimización, déficits en las demandas agrarias, que implicarían la necesidad de dotaciones provenientes de otras fuentes o mejoras en la gestión. Existen correlaciones significativas entre los caudales del río, el Equivalente Agua Nieve y los suministros obtenidos con OPTIGES, lo que indica la dependencia entre el agua generada por el sistema y el agua utilizada. Los conflictos y la falta de gestión de zonas deprimidas (secano) podrían ser resueltos mediante distribución más eficaz y equitativa del agua. Quedan como tareas pendientes: investigaciones que ayuden a conocer la dinámica del recurso hídrico y el desarrollo de nuevas estrategias de gestión que permitan satisfacer las demandas.



Mendoza River Basin receives 250mm of rainfall annually and approximately 49m³/s of average flow. These arid conditions and needs of the population have developed advances in water management developing the "irrigated oasis". This feature creates conflicts at social, economic and environmental spheres as rainfed areas are devoid of water. The overall objective is to analyze the water resources of the Mendoza River Basin, both its offer in the form of snow and ice bodies, as their demand in order to generate proposals for improving the integrated management.

This study presents an analysis of Landsat images, which estimates the area of snow in the winter months, applying the Normalized Difference Snow Index (NDSI). The trend is positive in 10 years analyzed, meaning an increase in the snows.

Linear correlations were made between snowpack, water snow equivalent, the flow in the summer months and the annual volume (Hm³) presenting Pearson coefficients of between 0.63 and 0.25. The reliability of these tests is between 95 and 80%. Nonparametric analysis (Spearman and Kendall) had low correlations. In this case, it would need to include more data or another variables for explain the river flow through the snow surface.

With respect to demand and water resource management, the main plot of the basin was done with AQUATOOL and made an analysis of the main variables. Deficits in the agrarian demands imply the need for allocations from other sources and improvements in management. There are significant correlations between river flow, water snow equivalent and supplies OPTIGES obtained, indicating the dependence of the water generated by the system and the water used.

At the institutional level, some conflicts with the information gaps, overlap, and lack of management of depressed areas (rainfed) could be solved by more efficient and equitable distribution of water, leaving future research to help us understand the dynamics of water resources and development of new management strategies that would meet the demand requirements throughout the basin.

Palabras clave:

Río Mendoza, Imágenes satelitales, NDSI, Gestión hídrica

Key Words:

Mendoza River, Satellital images, NDSI, Water management

Comprender la esencia de Mendoza y compartirla es mucho más que ver los pueblitos de montaña cubiertos de nieve. Es mucho más que escuchar el río fluir y ver todo lo que se genera alrededor de él y es mucho más que perder la vista entre dunas y algarrobos.

Para descubrir algunos secretos del agua mendocina, el apoyo de algunas personas ha sido de gran valor. Las ideas y dedicación de Lenin, la compañía de mis papas, las sonrisas permanentes de los Pimpollos, la colaboración de mis directores, los aportes de las personas del IANIGLA e Irrigación... han dado pie a este fruto que seguirá creciendo indefinidamente

ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA (MENDOZA, ARGENTINA): CUANTIFICACIÓN DEL RÉGIMEN PLUVIO-NIVAL Y PROPUESTA DE MODELO PARA MEJORAR LA GESTIÓN INTEGRAL DE SUS RECURSOS

ÍNDICE

Introducción -----	7
Formulación del problema y justificación -----	9
Objetivos del trabajo -----	12
Objetivo General -----	12
Objetivos específicos -----	12
Hipótesis -----	12
Estado del Arte -----	14
Descripción de la zona de estudio: análisis sistémico de la provincia de Mendoza, Cuenca Norte -----	15
1- Localización espacial -----	16
• Situación y coordenadas geográficas -----	16
• Límites naturales y administrativos -----	17
2- Descripción físico natural -----	17
• Clima -----	17
• Geomorfología -----	18
• Hidrografía -----	19
Hidrogeología y aguas subterráneas -----	20
• Biogeografía: vegetación y distribución espacial -----	21
3- Descripción económico social -----	21
• Población: estructura y distribución espacial -----	21
• Actividades económicas y localización espacial -----	22
4- Descripción del subsistema rural -----	22
5- Descripción del subsistema de secano -----	23
6- Descripción del subsistema urbano relacional -----	24
• Articulación territorial: redes de comunicación y transporte (corredor bioceánico, tren trasandino) -----	24
7- Subsistema jurídico-legal -----	25
• Descripción jurídica en materia de aguas-----	25
• Legislación con incidencia territorial -----	26
Oferta (origen) y demanda del agua -----	26
• Origen del agua: superficial, subterránea, reutilización-----	26
Calidad de aguas superficiales y subterráneas -----	33
Usos del agua en la cuenca norte de Mendoza -----	34

Cubierta de hielo y nieve en Mendoza -----	39
Técnicas de teledetección con imágenes Landsat para el estudio de glaciares y superficies nevadas -----	39
Técnicas recomendadas para la delimitación de las unidades -----	44
Materiales y métodos -----	46
Resultados y discusión -----	56
Cubierta de nieve en la zona alta de la cuenca -----	57
Modelación de la cuenca del Río Mendoza -----	65
Gestión de los recursos hídricos en Mendoza -----	69
Problemas de la gestión del agua y Conflictos inter-institucionales -----	76
Diferencias y similitudes con la gestión hídrica en Almería, España -----	79
Conclusiones y recomendaciones -----	83
Anexo 1: Glaciares -----	88
Glaciares: definición y clasificación -----	89
Glaciares y evidencias de cambio climático -----	90
Glaciares de Mendoza -----	96
Gestión de los cuerpos de hielo en Argentina -----	98
Referencias bibliográficas -----	100

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

El agua está presente en todas las actividades del ser humano y en los sistemas naturales, independientemente de su abundancia o escasez relativa; con su valor simbólico, cargada de significados culturales y relacionada con la distribución social del riesgo y del poder. El agua se encuentra en todos sus estados alrededor del mundo, fluye, precipita, se vierte, por lo que cualquier actividad, aunque no tenga un fin hidráulico concreto afectará directa o indirectamente al ciclo hidrológico. De aquí provienen los debates y las reflexiones que implican incluir la gestión del agua y del territorio en un mismo contexto. En la actualidad, se pretende gestionar el recurso hídrico de manera integral como herramienta básica para el ordenamiento territorial; la planificación hidrológica tiene que entenderse como un instrumento al servicio de una determinada *política territorial explícita*. Los usos del agua de cada cuenca deben estar afirmados en el diagnóstico y la consiguiente formulación de esa estrategia explícita de utilización del territorio (Moral Ituarte, L. 2009, Gobierno de Mendoza. 2010).

A los efectos de la ordenación territorial, el medio físico debe entenderse y analizarse en términos de relación con las actividades humanas ya que es fuente de recursos, soporte de actividades y receptor de residuos y efluentes. Por este motivo, debe ser enjuiciado desde esos tres puntos de vista. A ellos hay que añadir otras funciones menos relevantes desde la óptica de la ordenación del territorio, como elemento de investigación científica y cultural, como indicador de cambios ambientales, y como regulador del equilibrio natural, entre otros. La estructura territorial responde plenamente a la estructura socioeconómica vigente. El ambiente es fiel reflejo de esa combinación de acciones que surgen del poder institucional, político y de los habitantes que viven en dicho medio. De tal modo no se producen hechos aislados, ahistóricos, independientes o “espontáneos” en el territorio. Los conflictos principales que se generan en el territorio son las competencias por los usos del suelo y de los demás recursos, principalmente **el agua** y el valor relativo de éste comparado con las actividades económicas (Abraham, E.M. et al. 2005, Salomón, M. 2001).

Para una correcta planificación hidrológica y territorial, es necesario respetar los límites naturales que brinda el ambiente. Por este motivo, la gestión debe realizarse a nivel de **cuenca** (zona de la superficie terrestre en la cual el agua de las precipitaciones caídas y el agua subterránea sobre ella se dirige hacia un mismo punto de salida) y no siguiendo las

divisiones políticas o administrativas establecidas. Por este motivo, el presente estudio se centra en la cuenca del río Mendoza.

Hay pocos estudios en que se integre toda la información de la cuenca del río Mendoza, la toma de datos hidrológicos es escasa, muchas veces intermitente, en algunos casos errónea y esta información se encuentra dispersa entre instituciones de gobierno y de gestión, por lo que la gestión integral es difícil de lograr.

La fuente principal de agua de la cuenca se encuentra en la zona de montaña, donde la precipitación es principalmente nívea. En este sector de la cuenca se genera aproximadamente el 90% del agua que llega a las zonas urbanas e irrigadas (Pitte, P. 2011 Com. Per.). Por este motivo, el estudio detallado de la acumulación de agua sólida (número, área y distribución espacial de los cuerpos de hielo y superficies de nieve) y la evolución climática, son puntos determinantes para estimar la cantidad de agua disponible y la oportunidad de su escurrimiento, aspectos prioritarios en la planificación y gestión de los sistemas hídricos de la región. Considerando que el 70% del territorio argentino puede considerarse climática y fisiográficamente árido, el conocimiento del comportamiento y manejo del recurso hídrico es fundamental. Resolver esta cuestión ha sido la preocupación desde los inicios de la organización de los sistemas productivos de la región. En esta tarea han participado desde siempre las instituciones nacionales y provinciales, tanto científicas como operativas, desarrollando una experiencia e información de notable valor (Departamento General de Irrigación. 2010a, Llorens, R. 2002)

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA y JUSTIFICACION

La crisis del agua es una crisis de gobernabilidad (capacidad de generar las políticas adecuadas, y de llevarlas a la práctica). Las políticas nacionales de gestión hídrica se consideran Prioridades Secundarias así como la información, educación y capacitación en Gestión Integral de Recursos Hídricos. El manejo y planificación de una cuenca puede ser concebido ampliamente como el intento para identificar la mejor utilización posible de los recursos hídricos disponibles dados ciertos limitantes en cuanto al suelo, terreno, agricultura, ingeniería y factores sociales.

A partir de las condiciones de aridez presentes en la provincia de Mendoza, las necesidades humanas y el crecimiento poblacional surgen avances en la gestión del agua

que dan origen a los “oasis de riego”. Desde mediados del Siglo XIX, en la provincia de Mendoza, se inicia la merma del río Mendoza y la desecación de las lagunas de Guanacache como consecuencia del incremento del uso del agua de este río. Actualmente sigue existiendo una distribución poco equitativa del agua en esta zona, lo que ha generado desigualdades socioeconómicas en la población. En base a esta problemática se generan acciones como los Planes Directores de los ríos de la provincia y el Plan Estratégico de Desarrollo, que pretenden el logro del desarrollo sustentable en el ámbito mendocino.

En zonas de características climáticas similares, por ejemplo el Poniente Almeriense, el incremento de superficie destinada a la explotación agrícola ha generado competencia por los usos del agua principalmente con el desarrollo turístico, ya que la zona tiene un alto potencial en ambas actividades. Esto ha llevado a las autoridades a generar planes integrales que permitan resolver los problemas y aprovechar las oportunidades derivadas de las nuevas actuaciones, así como conseguir un territorio más eficaz y competitivo que contribuya a garantizar las mejores condiciones de bienestar y calidad de vida para los habitantes de este ámbito territorial. Con estas bases se ha generado, por ejemplo, “El Plan de Ordenación del Territorio del Poniente Almeriense” en el marco de la Ley 1/1994 de Ordenación del Territorio. La mayor trayectoria en materia de ordenación territorial en la provincia de Almería, así como en toda España, puede resultar una base importante para la aplicación de la reciente legislación mendocina y para la generación de nuevas propuestas de gestión.

En ambas zonas de estudio las características climáticas presentan condiciones variables pero beneficiosas para el desarrollo la agricultura. La aridez, característica común de las dos áreas, implica que se destine gran cantidad de recursos hídricos en esta actividad, reduciendo los aportes y posibilidades de otras.

En cuanto al riego en las zonas áridas y semiáridas en Argentina, el mal manejo del sistema agua de riego/manto freático/suelo y drenaje ha causado serios problemas. La salinización de las aguas y de los suelos representa una grave amenaza para la sustentabilidad del sector. Más de medio millón de hectáreas de tierra de riego ya están afectadas por problemas de salinidad de agua y de suelo y/o de drenaje. Este problema está concentrado en siete provincias entre las que se encuentra Mendoza, y representa el 60 % de su área de riego (Calcagno, A. et al. 2000).

La influencia del Cambio Climático en la provincia y en la cuenca en cuestión, ya es un hecho irreversible, se están estudiando las causas, consecuencias con respecto a la precipitación, temperaturas, biodiversidad en los sistemas naturales, etc. Sin embargo, siguen siendo necesarias observaciones de estos efectos en las actividades humanas.

Aún no se han desarrollado medidas de adaptación a la variabilidad climática que permitan enfrentar con equidad las vulnerabilidades detectadas. Para este fin se ha creado la **Agencia de Cambio Climático**, un ámbito de coordinación y articulación entre Gobierno Provincial y diversos organismos del sector público y privado, que tiene por objeto elaborar recomendaciones, estrategias de mitigación y adaptación, ante las consecuencias del calentamiento global en la provincia. Sin embargo, se presentan diversas problemáticas a nivel institucional con respecto al ambiente, el agua y los cambios que ambos están sufriendo:

- Mendoza se caracteriza por tener un **excesivo centralismo Institucional del Estado**, que no contribuye a la interrelación y consensos entre planificación y gestión, sino que propende a una mayor desarticulación entre ambas.
- Se produce **una falta de continuidad en las políticas** tanto a nivel nacional como provincial y municipal.
- **La estructura del Estado** tiene un carácter sectorial poco integrador y no transversal, por lo que no responde, ni se ve reflejada en la organización territorial.
- **Los municipios** se constituyen como un sector con gran capacidad de gestión territorial y ambiental, que necesitan articular y desarrollar los procesos de planificación, ordenamiento, fiscalización y control.
- La **institucionalidad del agua**, es la base fundamental para el desarrollo equitativo y sustentable de los planes de desarrollo, pero se ve frecuentemente desvinculada de los sectores ambientales y de otras áreas relacionadas con su uso como así también, de las administraciones departamentales que manejan su territorio.

Planteada la problemática actual existente, para la realización del presente trabajo se desarrollarán los objetivos que se detallan a continuación

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Objetivo General:

Analizar los recursos hídricos de la cuenca del río Mendoza, tanto su oferta en forma de nieve y cuerpos de hielo, como su demanda; con el fin de generar propuestas de mejora en la gestión integral de los mismos.

Objetivos específicos

- ▶ Analizar y cuantificar la cubierta de hielo y nieve en la zona alta de la cuenca, que da origen al río Mendoza, mediante análisis de trabajos preexistentes, datos históricos y técnicas de teledetección espacial.
- ▶ Estudiar y describir la gestión del agua en la cuenca media del río Mendoza aplicando un modelo de simulación y optimización (AQUATOOLDMA), incluyendo escenarios futuros.
- ▶ Generar una base de datos de las instituciones que participan en la gestión de los recursos hídricos y analizar, de manera crítica, sus objetivos y funcionamiento.
- ▶ Establecer similitudes en la gestión de los recursos hídricos con zonas similares en España, particularmente Almería, como base para la gestión integral del agua en Mendoza.
- ▶ Sugerir posibles acciones estructurales y no estructurales para mejorar la gestión integral de los recursos hídricos en la cuenca del río Mendoza.

HIPÓTESIS

- ▶ La precipitación nival en la Cordillera de Los Andes, cuenca Norte, Mendoza, presenta una tendencia negativa en las últimas décadas, afectando esto al escurrimiento anual del río Mendoza.
- ▶ El tener en cuenta los recursos disponibles mejora tanto la gestión del recurso hídrico como la calidad de vida de la población afectada.

- ▶ La trayectoria de ordenación territorial en zonas semiáridas del territorio español supera en tiempo, legislación y estructura a la de Mendoza, por lo que se pueden aplicar herramientas similares, con las correspondientes adaptaciones, en la gestión de usos del Suelo de la cuenca Norte de Mendoza.

ESTADO DEL ARTE



DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO: ANÁLISIS SISTÉMICO DE LA PROVINCIA DE MENDOZA, CUENCA NORTE

La superficie de la provincia de Mendoza es de 148.827km² y posee la mayor área irrigada del país, representando el 25% del total nacional.

Cuenta con cuatro unidades o cuencas hidrogeológicas: la cuenca de los Ríos Mendoza y Tunuyán Inferior, llamada “Cuenca Norte”, la cuenca del Río Tunuyán Superior denominada “Cuenca Centro o Valle de Uco”, la cuenca de los Ríos Diamante y Atuel también llamada “Cuenca Sur” y la cuenca del Río Malargüe o de los ríos Atuel, Salado y Malargüe (Hernández, J. y Martinis, N. 2006).

El aprovechamiento del agua de los ríos Mendoza y Tunuyán en el Norte, Diamante, Atuel y en menor proporción Malargüe en el Sur, ha permitido conformar oasis de riego, que representan según diversas fuentes entre el 2.5 y el 4% de la superficie total provincial. A pesar de su limitada extensión territorial (aproximadamente 3600 km²), estas zonas constituyen el soporte de casi 95% de la población y la mayor parte de la actividad económica, con densidades máximas en las zonas urbanas de alrededor de 300 habitantes/km².

Desde el punto de vista de la demanda, el presente estudio se centrará en la zona media y baja de la cuenca del río Mendoza, abarcando la zona irrigada o de oasis, donde se concentra la mayor actividad humana y agrícola de la zona y el área de divagación del río, es decir en su parte baja o planicie aluvial.

Sobre este territorio que, por sus condiciones físicas y climáticas, presenta altos niveles de fragilidad, **la competencia por el uso del agua es el principal conflicto en la interacción oasis-secano**: las áreas deprimidas del desierto ya no reciben aportes hídricos superficiales, los caudales de los ríos se utilizan íntegramente para el riego de la zona cultivada y el consumo de los asentamiento urbanos.

Desde el punto de vista del recurso se analizará el agua disponible en forma de nieve en la cuenca alta que se describe más adelante.

1. Localización espacial

- **Situación y coordenadas geográficas**

La provincia de Mendoza se encuentra ubicada en el centro oeste de Argentina, al pie de la Cordillera de los Andes y limitando con la República de Chile. La ciudad capital de Mendoza formó parte de la corriente fundacional originada en el vecino país, y se posiciona como el nodo principal de la red urbana de la región de Cuyo conformada por las provincias de San Juan (al norte), San Luis (al este) y La Rioja (al norte de San Juan).

La cuenca del río Mendoza se ubica al norte de la provincia. Ocupa una superficie de, aproximadamente, 18.484 km², y tiene como límites:

- Al Sur la cuenca del río Tunuyán
- Al Oeste la cordillera de Los Andes, donde tiene sus nacientes
- Al Este limita con la llanura desértica (travesía mendocina)
- Al Norte con la Cuenca del río San Juan

(Departamento General de Irrigación. 2006a)

Las altitudes de la cuenca oscilan entre la cota 6962 msnm (Aconcagua) y la cota 600 msnm en la zona de las lagunas (Figura 1).

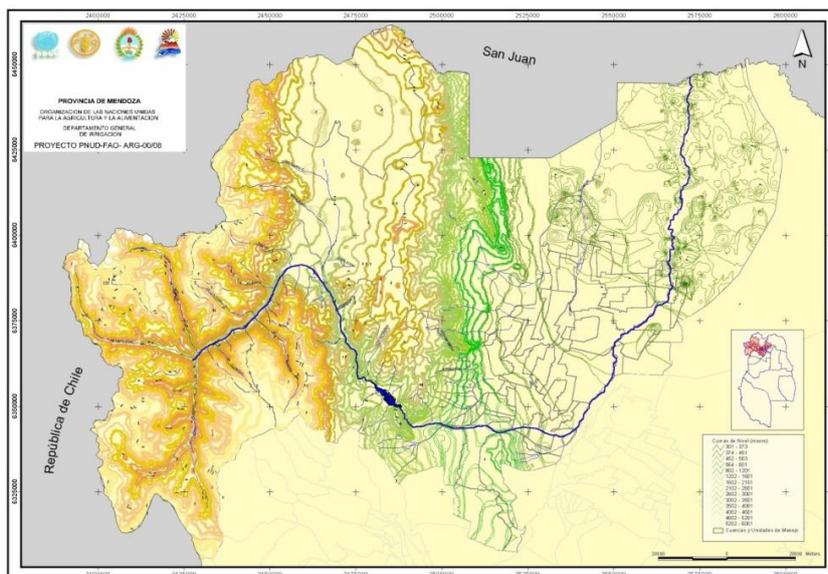


Figura 1: Curvas de nivel de la cuenca del río Mendoza. Fuente: (Unidad de SIG y Teledetección. Departamento General de Irrigación.)

- **Límites naturales y administrativos**

Políticamente la Provincia se divide en 18 departamentos, cada uno de los cuales se subdivide en distritos.

Desde el punto de vista de la división política, la cuenca del río Mendoza comprende los departamentos de Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Maipú, Las Heras, Lavalle, Luján de Cuyo y parcialmente San Martín (Figura 2).

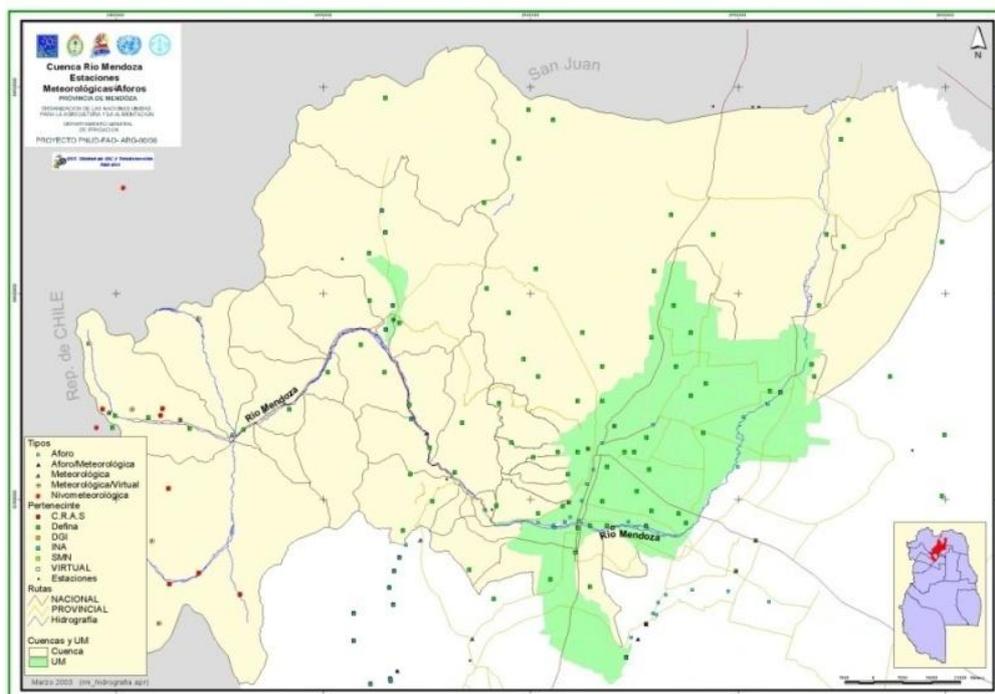


Figura 2: Cuenca del río Mendoza. Se muestran las zonas irrigadas en color verde. La más pequeña pertenece a la zona de Uspallata y la más grande se encuentra en la zona del Gran Mendoza (Unidad de SIG y Teledetección. Departamento General de Irrigación.).

2. Descripción físico natural

- **Clima**

El clima de la cuenca en estudio es desértico; cálido moderado en la llanura, y templado en la zona precordillerana. Presenta precipitaciones inferiores al límite de sequía. Los factores determinantes del clima, la altitud respecto al nivel del mar y latitud geográfica; la lejanía al Océano Atlántico y la anteposición de la cordillera de los Andes a los vientos húmedos provenientes del Océano Pacífico, hacen que no exista atemperización de los

parámetros meteorológicos y por lo tanto el clima es del tipo continental. Consecuencia de esto, son las grandes variaciones estacionales de las condiciones atmosféricas.

El **régimen de precipitaciones** varía notablemente según la zona de la cuenca. Sus valores aumentan de Este a Oeste y de Norte a Sur entre los 90 y 272mm.

La **temperatura** media anual aumenta hacia el Este, condicionada por la altitud. En la Estación del Aeropuerto de Mendoza se ha registrado una media anual de 17°C. La amplitud térmica promedio de las estaciones de la cuenca, de 14,4°C. La **humedad relativa ambiente** en el área bajo riego tiene un promedio anual de 58,4%.

La elevada **heliofanía** es otra de las características que contribuye a las buenas condiciones agroecológicas de Mendoza. Los valores promedios indican 10,1 horas de heliofanía efectiva máxima, y 5,4 horas de heliofanía efectiva mínima. Con respecto a los **vientos**, las direcciones preponderantes son del Oeste y Sudoeste dependiendo de la estación. Las velocidades promedio son de 19 a 26 km/h en la zona alta y de 5 a 7 km/h en la zona baja de la cuenca. Otro factor frecuente es el viento Zonda, que produce fuertes ráfagas cálidas y secas en el llano, provenientes de la costa pacífica; mientras ocasiona importantes temporales de nieve en las áreas cordilleranas (Departamento General de Irrigación. 2006a).

- **Geomorfología**

La provincia de Mendoza cuenta con diferentes unidades geomorfológicas que muestran cómo el relieve va modificándose de oeste a este. Dentro de la cuenca norte se pueden observar parte de las dos primeras Unidades de relieve (Figura 3):

MONTAÑAS cuyas unidades morfoestructurales están representadas por: Cordillera Principal cuenta con las cumbres más altas de América -cerro Aconcagua (6.959msnm)-; Cordillera Frontal U Oriental -al este de la Principal con alturas entre 5.000 y 6.000 m.s.n.m.-; Andes glaciarios: glaciares descubiertos y campos de nieve perenne (Cordón del Plata); Precordillera: es un macizo antiguo, de rumbo general N-S. Tiene alturas que sobrepasan los 3.000 m.s.n.m.; Cerrilladas pedemontanas y huayquerías: son montañas de poca altura, elaboradas durante el Cuaternario.

LLANURAS cuyas unidades morfoestructurales están representadas por: Llanura oriental o "Gran Llanura de la Travesía" se extiende en el este de la Provincia. Es una profunda cuenca sedimentaria entre dos bloques montañosos paralelos.

DEPRESIONES representadas por Gran depresión central o "de los Huarpes" -la más seca y cálida-; Depresiones intermontanas: Forman valles longitudinales, amplios y alargados.

(Abraham, E.M. 2000a)

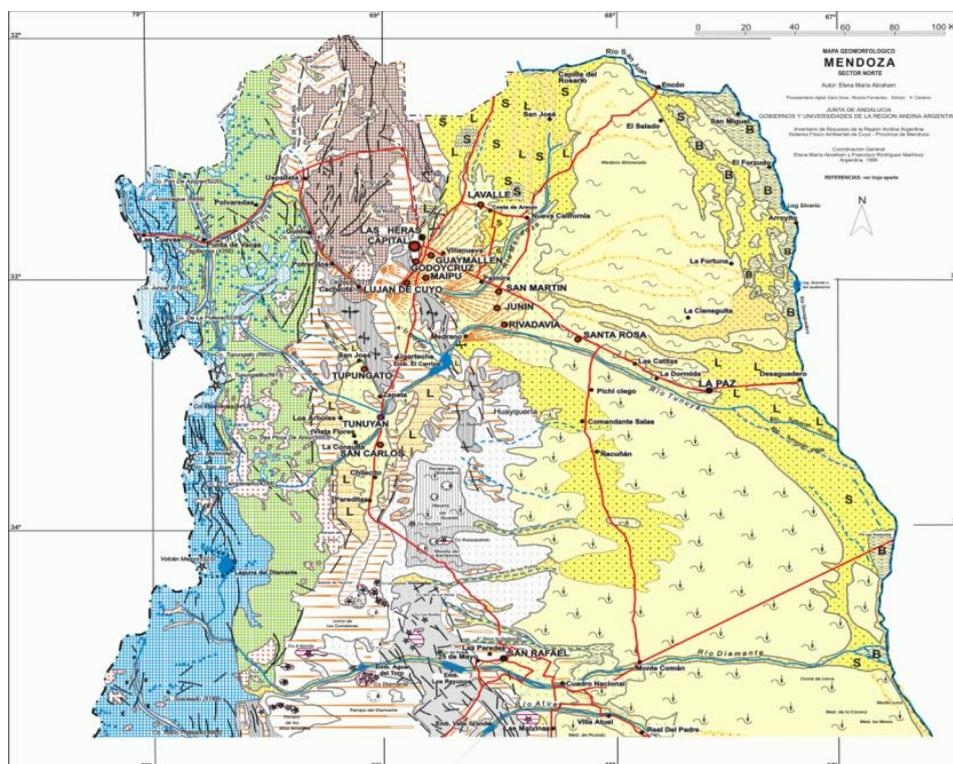


Figura 3: Mapa geomorfológico de la zona norte de Mendoza (Abraham, E.M. 2000a)

• Hidrografía

La Provincia de Mendoza cuenta con cuatro unidades o cuencas hidrogeológicas. El almacenamiento total en las unidades mencionadas, es de 700.000 Hm³, de los cuales se estima que para la Cuenca Norte le corresponden 275.000 Hm³, a la Cuenca Centro 95.000 Hm³, a la Cuenca Sur 200.000 Hm³ y a Malargüe 130.000 Hm³ (Hernández, J. y Martinis, N. 2006).

El río Mendoza, cuyo caudal medio anual es de 50,6m³/seg., se forma a partir de la unión de los ríos Cuevas, Tupungato y Vacas en la localidad de Punta de Vacas. Desde Punta de Vacas ya nace el río Mendoza que dirige su curso hacia el nordeste hasta el Valle de Uspallata, y luego tuerce el rumbo al sudeste, para correr entre el Cordón del Plata y la Precordillera hasta Álvarez Condarco, donde sale a la planicie oriental para desaguar, en el norte de la provincia, en las lagunas del Rosario y Guanacache. (Departamento General de Irrigación. 2006a). La topografía de la región, las amplias variaciones térmicas y los asentamientos humanos permiten la presencia en la cuenca de ambientes diversos con amplia diversidad de especies (Peralta, P. y Claps, C. 2001).

Hidrogeología y aguas subterráneas

El **agua subterránea** del área de estudio, denominada Cuenca Norte, abarca una superficie aproximada de 22.800 km² con un almacenamiento de agua subterránea estimado en 200.000 hm³, compartida al este del río Mendoza, con el río Tunuyán en su tramo inferior. La zona está delimitada, al oeste, por la Precordillera; al sur, por los afloramientos terciarios por los anticlinales del Carrizal, La Ventana y Vizcacheras, y al norte y este por las lagunas del Rosario y el río Desaguadero (Departamento General de Irrigación. 2006a)

Existen dos grandes unidades hidrogeológicas: la primera en el sector de conos aluviales constituida por acuíferos que se comportan como libres (zona de recarga); la segunda, está conformada por un acuífero freático superior y acuíferos subyacentes confinados y/o semiconfinados. El **sentido del flujo** de este agua subterránea, se verifica desde el Oeste en forma radial hacia Este y Norte en el caso del área de influencia del río Mendoza.

La mayor densidad de extracciones se encuentra en los departamentos de Maipú, San Martín y Guaymallén. La profundidad de las perforaciones varía entre 70 y 350 metros. Los rendimientos medios de las mismas son del orden de los 80 m³/hora. La extracción anual por bombeo promedio estimada (1991-2004) es de 622 hm³/año para el acuífero, infiriendo para el oasis del río Mendoza valores promedios de 385 hm³/año. Considerando los volúmenes de explotación y recarga, se puede afirmar que el acuífero libre se encuentra relativamente en equilibrio con el nivel de explotación actual. (Álvarez, A. et al. 2008).

- **Biogeografía: vegetación y distribución espacial**

La provincia de Mendoza cuenta con diferentes regiones biogeográficas debido a la gran diversidad de ambientes, climas y diferencias de relieve. El ser humano ha tenido gran influencia sobre la estructura vegetal, sobre todo en la segunda mitad del siglo XX ya que hubo una tala masiva de bosques seguido de una explotación ganadera extensiva, pero igualmente degradadora, de los bosques y áreas naturales de la zona norte de la provincia. Por otra parte, ha habido desmontes para la implementación de cultivos en, el ya mencionado, oasis norte. Como sistemas naturales vegetales se pueden definir los siguientes:

Vegetación de las montañas: Las comunidades arbustivas entre los 4300-4400 m.s.n.m.

Vegetación de las llanuras: Las estepas arbustivas están representadas fundamentalmente por dos especies: *Larrea divaricata* y *L. cuneifolia*. Los bosques conformados por árboles cuyas copas normalmente no se tocan, están constituidos principalmente por *Prosopis flexuosa* var. *flexuosa*, leguminosa cuyas raíces de fuerte desarrollo vertical alcanzan la capa freática hasta los 20 m de profundidad.

Vegetación de bolsones y huayquerías: Comunidades pedemontanas donde las plantas resisten la acción violenta de los aluviones.

(Roig, F.A. et al. 2000)

3. Descripción económico social

- **Población: estructura y distribución espacial**

La población de la provincia es de aproximadamente 1.579.585 habitantes en 2001, de los cuales 1.016.762 correspondían a la cuenca del río Mendoza, representando el 64,5% del total, con una tasa de crecimiento promedio anual del 1,09%. El área metropolitana de Mendoza, conformada por un conjunto de distritos urbanos, semiurbanos, periurbanos y rururbanos, alberga aproximadamente 683.300 habitantes. Por otro lado, existen zonas urbanas aisladas de más de 5.000 habitantes.

Los departamentos de mayor densidad poblacional son Guaymallén, Capital y Godoy Cruz, presentando una media superior a los 2.000 hab/ km². El 89% (más de 900.000

personas) de la población de la cuenca, habita en zonas urbanas; mientras que el resto lo hace en zonas rurales siendo ésta, una tendencia creciente. (Departamento General de Irrigación. 2006a, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2010).

La población rural dispersa alcanza 210.161 habitantes, representando el 12% de los habitantes del oasis, de los cuales el 99% es local y el 1% extranjeros provenientes de Bolivia, Perú y Chile (Secretaría de Medio Ambiente. 2010).

- **Actividades económicas y localización espacial**

A nivel provincial esta cuenca es la primera generadora de valor agregado económico (68% en 2001). Dentro de las actividades que más aportan al PGB del oasis están: la industria manufacturera, el sector financiero, seguros, inmuebles, servicios a las empresas, comercio, restaurant y hotelería. En cuanto a la actividad asociada al uso productivo del suelo están la actividad vitivinícola, empresas conserveras, secadoras, empacadoras y frigoríficos.

Además, la cuenca del río Mendoza es la que concentra la mayor creación de valor agregado en comercio, restaurantes y hoteles (89,9%), concentra el 85,1% de la industrialización provincial y el 66,5% de las inversiones. Con respecto al potencial agronómico es la 2ª cuenca que aporta mayor valor agregado agropecuario (31,3%).

Otras actividades a destacar son: Recursos turísticos, Actividades extractivas, Uso del suelo y Existencias ganaderas (Departamento General de Irrigación. 2006a)

4. Descripción del subsistema rural

El oasis irrigado por el río Mendoza, muestra como principales cultivos a la vid para vinificar y los frutales de carozo, destacándose la ciruela y el durazno. También es importante la horticultura. A continuación se presenta un gráfico (figura 4) que resume los porcentajes de las superficies agrícolas en producción. (Departamento General de Irrigación. 2006a)

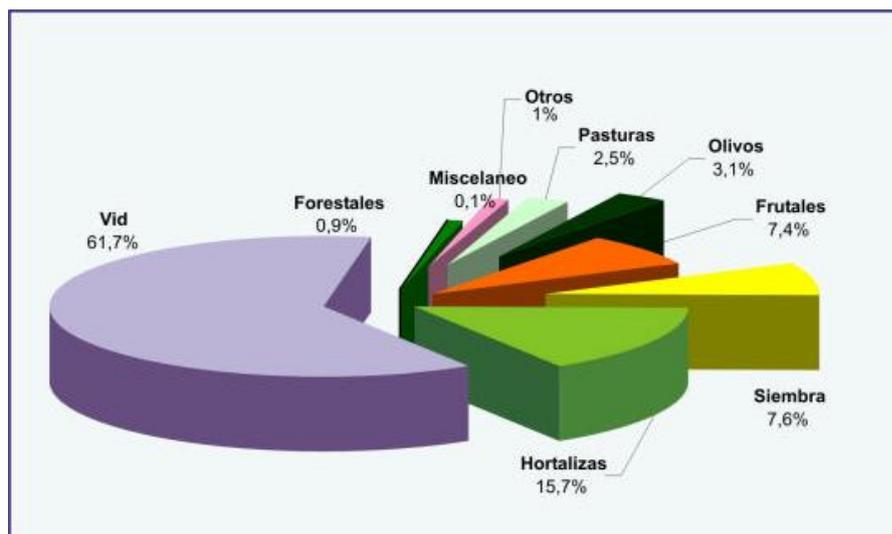


Figura 4: Producción agrícola de la provincia de Mendoza (Departamento General de Irrigación. 2006a)

Actualmente Mendoza tiene 267.889 hectáreas regadas, el 8% (21.621 ha) se riegan con métodos localizados, esencialmente goteo (INDEC, 2003). La reactivación del mercado de vinos finos determinó verdaderos polos de desarrollo tecnológico en los que complejos paquetes de manejo del cultivo incluyen -como principal herramienta- al riego presurizado. A pesar de estos avances, los sistemas de riego predominantes son tradicionales en su mayoría a cielo abierto y por gravedad por escurrimiento superficial, en surcos o melgas rectas (Fontela, C. et al. 2009).

Actualmente se riegan con agua del río Mendoza, aproximadamente 63.000 hectáreas, de las cuales unas 22.300 se encuentran compensadas con agua subterránea. En área de influencia de este río existen, además unas 16.600 hectáreas cultivadas exclusivamente con agua subterránea. Es decir que, de un total de 79.600 hectáreas, el 51% es regado exclusivamente con agua superficial, el 21% con agua subterránea exclusiva y el 28% con ambas (uso conjunto) (Hernández, J. y Martinis, N. 2006).

5. Descripción del subsistema de secano

El área no irrigada de la cuenca se denomina zona de secano. Actualmente, el paisaje de la zona de secano es fiel exponente del clima árido. Sólo desagua en ese sector de la llanura mendocina, esporádicamente, los ríos San Juan y Mendoza ya que el aprovechamiento del agua de los ríos Mendoza y Tunuyán ha implicado que las áreas

deprimidas del desierto ya no reciban aportes hídricos superficiales. Sin embargo, en un pasado cercano constituyó un sistema lagunar de considerable extensión.

En esta zona del secano predomina la actividad ganadera caprina que es hasta ahora la utilización de la tierra que otorga su sello a las llanuras desérticas del este (Abraham, E.M. 2000b). En el NE del departamento de Lavalle, el ganado caprino representa aproximadamente el 85% de las existencias ganaderas (INDEC, 2002).

6. Descripción del subsistema urbano relacional

El fenómeno de urbanización es creciente desde las últimas décadas, habitando en ciudades de la cuenca aproximadamente el 89% de la población (más de 900.000 personas). El aumento de la población se da junto al **proceso de urbanización**, que conlleva el asentamiento sobre “nuevos espacios”, sin planificación, con un gran desequilibrio territorial y problemas ambientales serios desatendiendo factores tales como: pérdida de la vegetación, pérdida de la calidad del suelo, falta de agua, riesgo de aluviones, fallas sísmicas, entre otros. (Secretaría de Medio Ambiente. 2009).

Actualmente se destacan los **desequilibrios territoriales** que se producen por la concentración de recursos y actividades siendo el resultado de procesos acumulados a lo largo del tiempo. Con respecto al agua, sumado a su escasez y falta de calidad en algunos casos, existen irregularidades en la asignación de la misma. Más allá de la oferta actual y de su mayor eficacia en el aprovechamiento (a través de distintas modalidades de uso, aplicación de tecnologías y diversas infraestructuras), la reasignación equitativa del agua posibilitará lograr un mayor equilibrio territorial. El **modelo provincial vigente** muestra problemas en la distribución de la riqueza y -en general- en sus posibilidades de conservar los bienes comunes naturales y culturales y de contribuir a una sociedad justa. Se advierte la necesidad de construir un pacto social en torno a un modelo más satisfactorio, más arraigado a los territorios, más respetuoso de los bienes comunes y socialmente más inclusivos (Montaña, E. et al. 2010, Pereyra, G. 2011, Pinto, M. 2006).

- **Articulación territorial: redes de comunicación y transporte (corredor bioceánico, tren trasandino)**

La mayor parte de las rutas están pavimentadas. El transporte de mercancías se realiza en camiones con o sin contenedores a puertos del Atlántico o del Pacífico. La

presencia del Corredor Bioceánico Central coloca a la región, especialmente al Oasis Norte de Mendoza en el paso de importantes flujos económicos con nuevas oportunidades de acceso a mercados no tradicionales (Abraham, E.M. 2000b).

7. Subsistema jurídico-legal

- **Descripción jurídica en materia de aguas**

En 1884, como respuesta al creciente número de hectáreas cultivadas, se sanciona la Ley General de Aguas, que aún hoy rige y presidió una de las más relevantes etapas de la historia económica de Mendoza: la del comienzo del establecimiento de la vitivinicultura como industria capital de Mendoza. (Díaz Araujo, E. y Bertranou, A. 2004)

Mediante esta Ley se crea el **Departamento General de Irrigación** (DGI), autoridad superior del agua en Mendoza.

Por otro lado, además de gozar de independencia técnico-política, el Artículo 196 del Código Penal le brinda potestades tributarias mediante la facultad de establecer su propio presupuesto.

El Artículo 187 de la Constitución Provincial crea la figura de Inspecciones de cauce.

Estos textos constitucionales, junto a la Ley de Aguas de 1884 y la Ley 6405 (1996) son la base de la actual conformación de las Inspecciones de Cauce como persona jurídicas autárquicas.

La ley 6044 impulsa la privatización de Obras Sanitarias Mendoza y crea un ente regulador de dicho servicio: el Ente Provincial del Agua y Saneamiento (EPAS) (Pinto, M. 2006)

En el año 2010 se rescinde el contrato que existía entre la Provincia de Mendoza y Obras Sanitarias Mendoza S.A. mediante el cual, dicha empresa se encargaba de la provisión de agua potable. Mediante el Decreto Provincial 2648/2010 se otorga la concesión de este servicio a "Agua y Saneamiento Mendoza Sociedad Anónima con Participación Estatal Mayoritaria" (AYSAM -S.A.P.E.M.).

- **Legislación con incidencia territorial**

- Ley nº 3.776 Modificado por ley nº 5.239 “ordenamiento edilicio. Disposiciones urbanísticas y edilicias de fraccionamientos ubicados a 800 m. De parques o en costados de caminos turísticos”
- Ley nº 4.886 Modificada por ley nº 5.046; ley nº 4.886; ley nº 6.129 ley nº 6.186 “Uso, fraccionamiento y ocupación del suelo de la zona Oeste del Gran Mendoza”
- Ley nº 5.804 “Declaración de interés y utilidad pública sujeta a expropiación, a regularización del uso de la tierra o a creación de reservas naturales una fracción de terreno al oeste del Gran Mendoza”
- Ley nº 6.188 “Manejo ecológico del Piedemonte mendocino. Declaración Interés provincial”
- Ley nº 6.086 Modificada por leyes nº 6.381; nº 6.548; nº 6.753 y nº 6.974 “Programa promoción y arraigo de puesteros en tierras no Irrigadas”
- Decreto nº 376/83 Modificado por dec. Nº 1.792/89 “Reglamentación concesiones y permisos precarios de uso entorno del dique Embalse El Carrizal”
- Plan director del río Mendoza
- *Ley de ordenamiento territorial 8.051*: Una de las principales normas que actualmente rige en la provincia en materia de ordenación del territorio es la Ley de Ordenamiento Territorial 8.051 sancionada en 2009.
- Decreto 1795/10: Se inicia el proceso de formulación del Plan Provincial de Ordenamiento Territorial, los Planes Sectoriales, Programas y Proyectos Provinciales previstos en el Artículo Nº 10 de la Ley Nº 8051.

OFERTA (origen) Y DEMANDA DEL AGUA

- **Origen del agua: superficial, subterránea, reutilización**

El origen del agua del Río Mendoza se debe principalmente a la fusión de nieve en la cordillera y los aportes permanentes que generan los glaciares de la cuenca. Por este motivo, el período hidrológico se considera desde octubre hasta septiembre, considerando

el comienzo del proceso de fusión nival. De hecho, en el período comprendido entre octubre y marzo, se genera aproximadamente el 80% del escurrimiento anual de los ríos mendocinos.

Para determinar la oferta hídrica del río Mendoza, se utilizaron los datos de la estación Guido (32° 51' Latitud Sur, 69° 16' Longitud Oeste), cuyo registro se extiende desde la década del '50 hasta la actualidad. El caudal medio anual resultante se encuentra entre los 45 y 50 m³/s y el derrame anual es de 1.420 hm³. Se muestra continuación (Figura 5) la serie histórica de la estación de aforos Guido, con registros correspondientes al período 1956-2005.

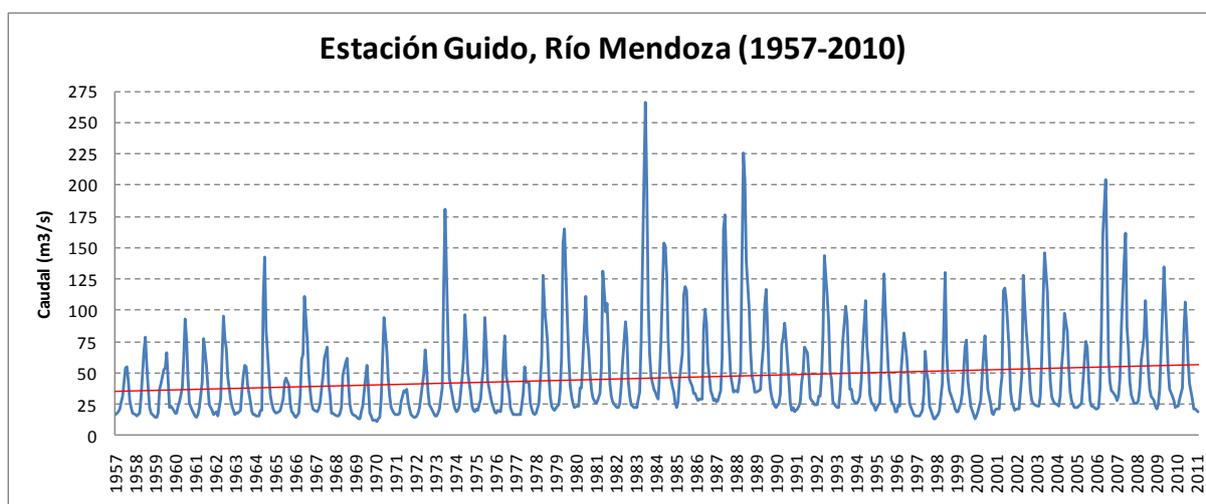


Figura 5: Caudales del río en la estación Guido, Río Mendoza (Departamento General de Irrigación. 2006a).

A pesar de la tendencia positiva que muestra este gráfico, se identifica una variabilidad importante entre décadas. Según la escala que se considere, esta tendencia puede ser positiva o negativa. Por ejemplo, en los últimos 30 años (1980-2010) los caudales han disminuido. Además se observa muy poca variabilidad en los datos los primeros años, lo que puede ser consecuencia de errores en la medición.

El Departamento General de Irrigación, a través de su Dirección de Gestión Hídrica, Departamento de Hidrología, produce diariamente una síntesis de la situación hídrica de las cuencas provinciales para el conocimiento de los distintos sectores vinculados con la gestión y uso del agua. A continuación (en la figura 6) se pueden observar los caudales medios últimos años y un promedio de los mismos.

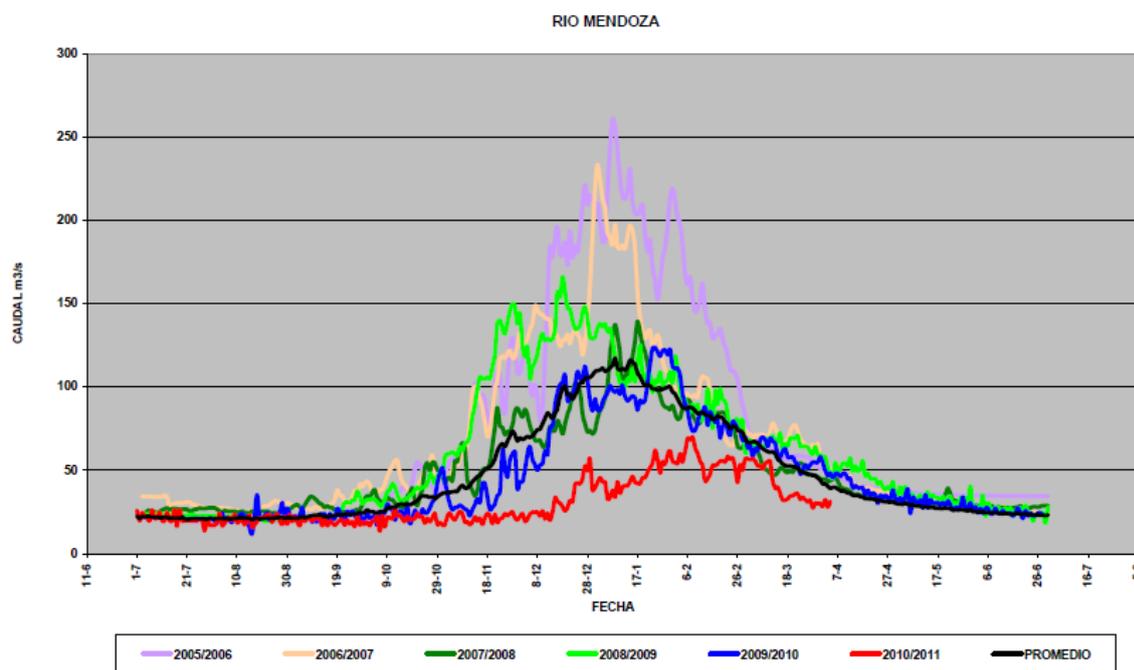


Figura 6: Caudal del río Mendoza en los últimos 5 años. La línea negra representa el promedio y la roja, la del año hidrológico actual 2010-2011.

Los caudales registrados en los ríos de Mendoza, son consecuencia de la fusión de nieve presente en la zona cordillerana. Se observa, por ejemplo en el año 2010 que la acumulación de nieve en las altas cuencas de los ríos cordilleranos, es de las más bajas de los últimos años (Figuras 7 y 8). Los aspectos a destacar en el año 2010 son, por un lado, la ausencia de nevadas tempranas (en marzo/abril) y por otro, la variabilidad de las temperaturas reinantes en el período invernal (valores medios entre mayo y junio, bajos en julio y altos en agosto). Con esta situación la nieve acumulada durante los primeros meses de invierno solo se mantiene hasta los primeros días de agosto acompañado por la baja intensidad y corta duración de las tormentas de nieve durante la mayor parte del invierno (Departamento General de Irrigación. 2010a).

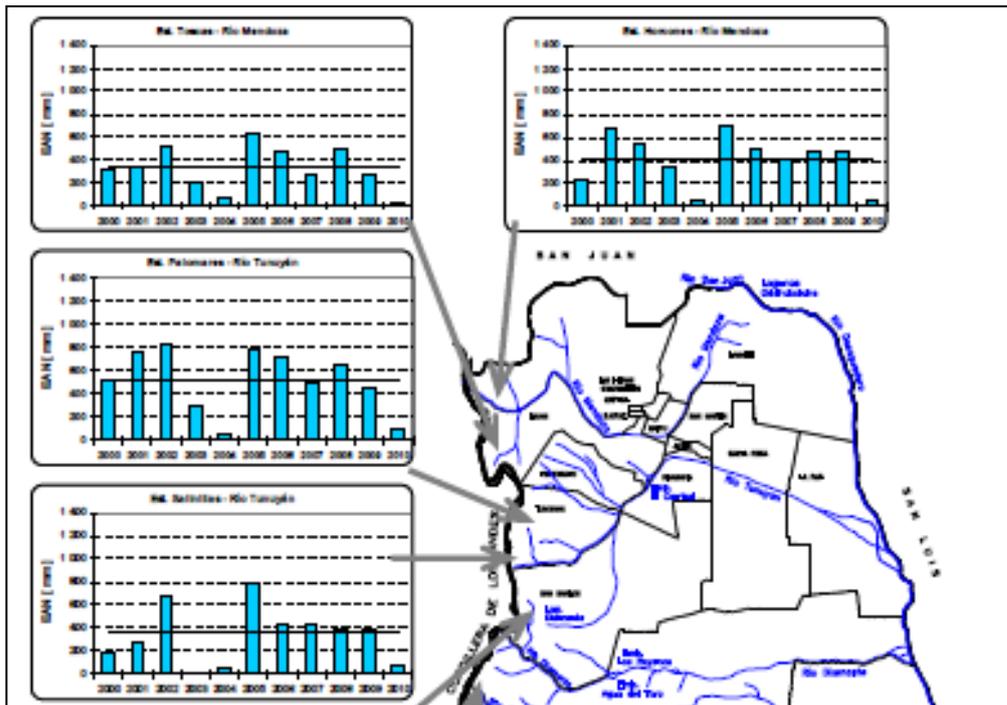


Figura 7: Equivalente Agua Nieve en las Estaciones Nivometeorológicas de Mendoza, Departamento General de Irrigación (Departamento General de Irrigación. 2010a).

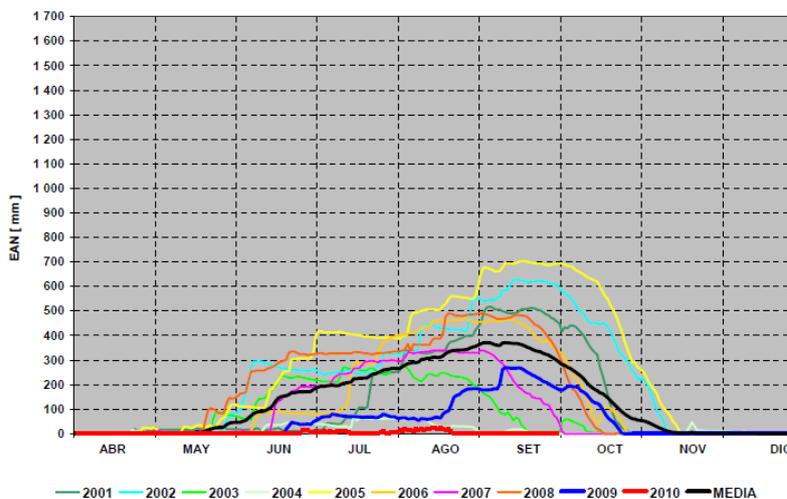


Figura 8: Registros diarios Equivalente Agua Nieve. Estación Toscas, Río Mendoza (Departamento General de Irrigación. 2010a).

La variación del gradiente topográfico, decreciente de oeste a este, ha regulado la distribución y deposición de sedimentos clasificando el material transportado. Así, se encuentran sedimentos de grano grueso en todo el desarrollo vertical de los conos aluviales en las zonas más altas, conformando acuíferos que se comportan como libres. Esta zona constituye el área principal de recarga de la cuenca (zona roja en la figura 9). La culminación

de los conos coincide con un quiebre topográfico donde los depósitos de sedimentos más finos dan origen a la existencia de formaciones menos permeables y a la aparición de un área de surgencia. Ésta es el área de descarga natural más importante de la cuenca. Hacia el este, se continúa la planicie con disminución del tamaño de los sedimentos, manteniéndose un cierto predominio de arenas finas sobre los intervalos limo-arcillosos. Estas últimas le confieren a los acuíferos características de semiconfinamiento y en algunos casos confinamientos lenticulares locales.

El río Mendoza, a través de su lecho, desde su origen hasta el límite entre las zonas de acuífero libre y de acuíferos confinados, se produce la recarga natural de acuíferos más importante. Se estima que en ese tramo el río infiltra el 16% de su caudal. Los aportes de canales y retornos de riego son también importantes, la lluvia, sin embargo, no genera aportes sustanciales a los acuíferos. Su recarga anual producida por todo concepto en zona de acuífero libre ronda los 700 hm³.

El río Tunuyán, que se origina más al sur, ha contribuido a la formación de dos cuencas sedimentarias: la cuenca Centro o del Tunuyán Superior y la cuenca Norte. En la primera, parte de caudal es derivado para riego, parte se infiltra recargando acuíferos y el resto continúa su movimiento hacia la cuenca Norte. Este resto, en la zona baja de la misma cuenca Centro, colecta aguas del primer nivel acuífero que lo engrosan hasta desembocar en el dique embalse El Carrizal, el que actúa como regulador de caudales para las áreas de regadío del Tunuyán Superior en la cuenca Centro y del Tunuyán Inferior en la cuenca Norte. Aproximadamente el 6% del caudal erogado se infiltra en zona de acuífero libre recargándolo. El resto se distribuye para riego y otros usos.

El agua subterránea utilizada en el oasis Norte se extrae del “acuífero Norte”. El mismo comprende una zona delimitada al oeste por la Precordillera, al sur por los afloramientos terciarios de los anticlinales del Carrizal, La Ventana y Vizcacheras, y al norte y este por las lagunas del Rosario y el río Desaguadero. La superficie abarcada es de 22.800 km². Este reservorio de agua subterránea está surcado superficialmente por dos cursos principales de agua: el río Mendoza y el río Tunuyán, en su tramo inferior (Figura 9) (Hernández, J. y Martinis, N. 2006).

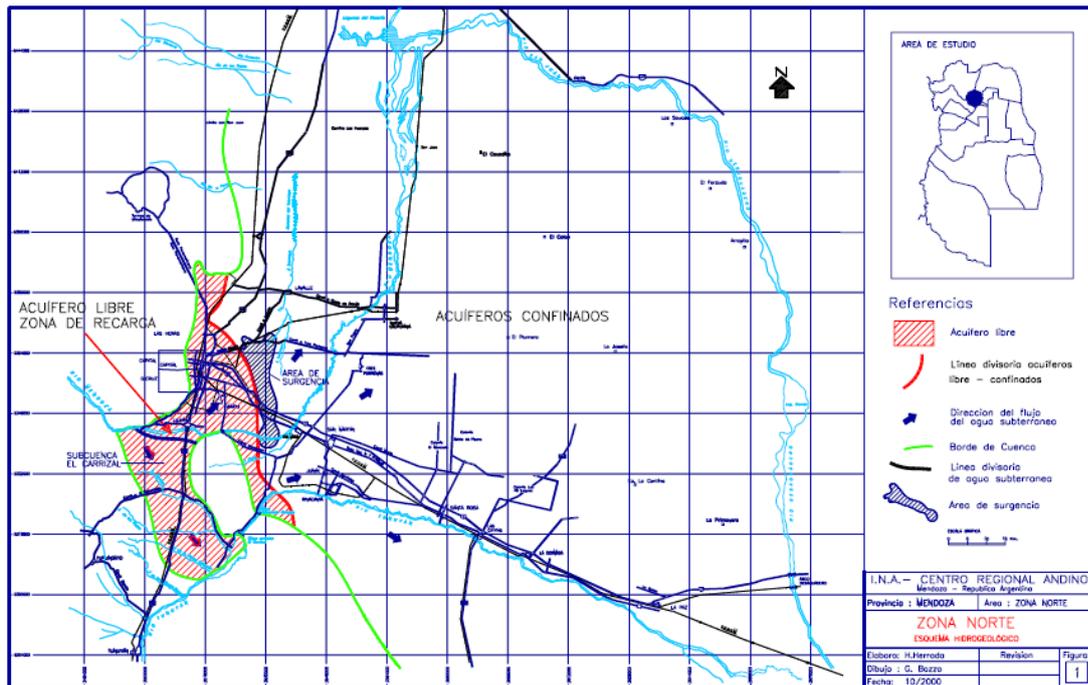


Figura 9: Esquema hidrogeológico de la cuenca Norte, de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior.

Sobre el área que abarca este acuífero se concentra la mayor cantidad de perforaciones de la provincia. Los departamentos de mayor densidad de pozos son Maipú, San Martín y Guaymallén. La profundidad de las perforaciones varía entre una mínima de 70 metros y una máxima de 350 metros. En términos generales, los rendimientos medios de las mismas son del orden de los 80 m³/hora. La extracción anual por bombeo promedio estimada (1991-2004) es de 622 hm³/año para el acuífero, infiriendo para el oasis del río Mendoza valores promedios de 385 hm³/año. Una mejor visualización de las contribuciones por fuente de recurso al riego (agua subterránea, superficial o uso conjunto), se puede apreciar en la figura 10.



Figura 10: Contribución por Fuente del Recurso al Riego

El reúso de aguas es un avance importante en la administración del recurso. Actualmente se está incrementando el aprovechamiento de efluentes cloacales tratados para riego en las Áreas de Cultivos Restringidos Especiales (ACREs), puede considerarse un ejemplo del uso máximo del recurso. En tal sentido, cabe mencionar que en la cuenca del río Mendoza, debido al crecimiento demográfico de las últimas décadas, se elevó el consumo de agua para uso poblacional e industrial; y consecuentemente, el volumen y caudales de las aguas servidas o ya utilizadas. Aproximadamente se utilizan 2,6m³/seg de aguas servidas o ya usadas.

Esta situación ha obligado a desarrollar instrumentos jurídicos y técnicos, para regular y sistematizar el reúso de los efluentes en actividades productivas, fundamentalmente agrícolas. Asimismo, el desarrollo de los sistemas de tratamiento y conducción de las colectoras cloacales e industriales, como infraestructura básica necesaria, ha tenido también un incremento paulatino, fundamentalmente a partir de la concesión del servicio público respectivo, y el reordenamiento de los servicios sanitarios de la provincia, mediante la transformación de Obras Sanitarias S.A. y los nuevos contratos de concesión suscriptos, que han incluido obras de saneamiento y tratamiento de estos efluentes residuales (Departamento General de Irrigación. 2006a, Secretaría de Medio Ambiente. 2010).

Calidad de aguas superficiales y subterráneas

Características del agua superficial

En la zona de Cordillera Principal se destaca la presencia de formaciones geológicas del Mesozoico compuestas por rocas sedimentarias clásticas y químicas y la presencia de yesos y calizas, lo que tiene como consecuencia aguas con contenidos elevados de sólidos disueltos (sales, especialmente Sulfato de Calcio) y sedimentables. En esto último inciden también la dinámica de los glaciares de altura (Departamento General de Irrigación. 2006b).

Los aportes provenientes de los arroyos de Cordillera Frontal tienen, en general, escasas proporciones de sales, vinculado a la mayor presencia de rocas ígneas y metamórficas. Por otra parte es interesante destacar que los sistemas termales como el de Puente del Inca inciden de manera significativa en el nivel de salinidad del río.

Los asentamientos humanos a lo largo del río y sus tributarios, generan importantes modificaciones en la calidad del agua. En la zona alta de la cuenca se encuentran varias villas turísticas, Gendarmería, edificio de Aduanas, Complejo de esquí Penitentes, Villa de Uspallata. Aguas arriba del río Blanco se encuentra el centro de esquí de Vallecitos con las instalaciones edilicias correspondientes. Aguas abajo, aldeaña al río Blanco se encuentra la Villa de Potrerillos, con una importante comunidad residente y turística. Como consecuencia de esto, hasta la zona más baja de la cuenca hay diferentes puntos de vertidos y contaminación del agua ya que los tratamientos son escasos o inexistentes (Departamento General de Irrigación. 2006b).

Se han realizado estudios en diferentes puntos del río. El año hidrológico 2005-2006 fue extraordinario en cuanto a caudal, ya que la mayoría de los ríos vieron superado en más de un 35% su valor medio, por lo que cabe esperar una condición diluida en las concentraciones de los compuestos. Esto se observa en los valores obtenidos en verano de 2006, mientras que en otoño de 2006 los resultados se acercan más al promedio para la misma estación (Departamento General de Irrigación. 2006b).

Características del agua subterránea

Al ser diferentes niveles de profundidad y condiciones de confinamiento, la calidad del agua varía notablemente.

El agua freática presenta elevada salinidad en la mayoría de los freáticos generados principalmente por las condiciones de salinidad natural de los suelos. Algunos estudios indican que el estrato de saturación de los suelos naturales e incultos del área pueden alcanzar los 70.000 mg/l. Las prácticas agrícolas exigen el lavado de estos suelos hasta salinidades inferiores a 3.500mg/l para hacerlos aptos para el cultivo. De esta manera se lixivian toneladas de sales que por infiltración y percolación profunda recargan el acuífero superficial o freático aumentando significativamente su salinidad (Álvarez 2008).

En el Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino (2008) ha realizado un estudio en el que se analizan las posibles consecuencias de regar zonas cultivables con agua provenientes de una depuradora ubicada en el norte de Mendoza. El Sistema Paramillos es la planta depuradora de efluentes que provienen de parte de los habitantes del Gran Mendoza, Luján y Maipú. El tratamiento de los mismos se realiza a través de un sistema de lagunas facultativas que abarcan aproximadamente 310 ha, lo que implica un tratamiento secundario. El caudal promedio del canal de descarga de la planta es de 1 m³/seg.

Este estudio concluye que no se están produciendo problemas de contaminación del acuífero profundo debido a la mineralización de la materia orgánica y su biodegradación a nitratos y nitritos, por lo que su aprovechamiento en el área de estudio tiene la ventaja de la mayor disponibilidad de agua para el riego de los cultivos a la vez que implica la disposición final de los efluentes de parte de la población del Gran Mendoza.

Sin embargo, el acuífero freático localmente se comporta como sumidero de desechos de la actividad humana sin provocar, en las condiciones actuales, la contaminación de la reserva de agua dulce del acuífero inferior. En el nivel superior o freático, el perfil del suelo remueve parte del N total y P total ingresado, entre el 39 y 90%. La remoción de DBO varía entre 30 y 90% y la remoción de *E. coli* remanente en efluente es total (Álvarez, A. et al. 2008).

USOS DEL AGUA EN LA CUENCA NORTE DE MENDOZA

El agua del río Mendoza se utiliza, a grandes rasgos, para agricultura, potabilizar, industrial y otros.

La **demanda de agua para potabilizar**, presenta gran heterogeneidad (utilizaciones domésticas, municipales, estatales colectivas, comerciales). Se caracteriza por la exigencia

de un nivel de garantía máximo y una distribución uniforme en áreas con población estable. La distribución espacial de esta demanda es similar a la distribución poblacional. El agua entregada para potabilizar es siempre la misma cantidad para cumplir con las demandas. A pesar de que presenta grandes heterogeneidades (estacionales, de uso, etc.) la exigencia de un nivel de garantía es máxima y una distribución uniforme en áreas con población estable (Departamento General de Irrigación. 2006a, Pereyra, G. 2011). Para este fin, el agua es principalmente superficial. En menor medida se utilizan perforaciones que refuerzan las redes de abastecimiento en pequeños núcleos urbanos dentro del oasis, lo que está contemplado en las estimaciones de aguas subterráneas extraídas del Acuífero Norte. El volumen total de agua entregada a las distintas entidades prestadoras del servicio, suman 196,47 hm³/año, lo que equivale a un caudal de 6,22m³/seg.

Con respecto a las **demandas industriales**, las tres principales son: Central Térmica Mendoza (CTM) que no realiza un uso consuntivo del recurso, destilería de Repsol-YPF (Luján de Cuyo) y la Zona Libre Alcohólica (toma del canal San Martín). Una importante cantidad de agua subterránea, se utiliza en industrias varias (agroindustria, sector petrolero, etc.). En la siguiente tabla se muestra que el uso consuntivo de esta demanda es escaso, ya que gran parte del volumen requerido retorna al sistema.

Usuario	Volumen	Retorno	Consuntivo
CTM	305	299	6
Destilería Repsol-YPF	41	36	5
Zona libre alcohólica	6	5	1
Total	352	340	12

Tabla 1: Demandas Industriales del año 2003 expresadas en hm³ (Departamento General de Irrigación. 2006a).

La estimación de las **demandas de agua para usos agrícolas**, se efectuó sobre la base del cálculo de las superficies regadas, mediante la aplicación de técnicas de análisis de imágenes satelitales. Calculada la demanda neta que necesitan los cultivos durante un ciclo, se estima la eficiencia de conducción, la de distribución y la de aplicación. Afectando los valores de demanda neta por la eficiencia global, se obtiene la demanda bruta.

Una vez estimada la demanda para la célula de cultivo, se plantearon los escenarios que fueron evaluados en el balance, estimándose así la sensibilidad del sistema de

distribución superficial del río. En la tabla nº 2, pueden observarse las demandas agrícolas y las superficies, en relación a los escenarios simulados y sus distintas características.

ESCENARIOS SIMULADOS		SUPERFICIES Y DEMANDAS
Superficie que resultó de Landsat (SRL)	Sin arroyos y vertientes	Sup.: 44.897 Dem. Neta: 390 Dem. Bruta: 995
	Con arroyos y vertientes	Sup.: 51.808 Dem. Neta: 439,5 Dem. Bruta: 1.126
Superficie empadronada con derecho a riego (SEP)	Sin arroyos y vertientes	Sup.: 50.045 Dem. Neta: 430 Dem. Bruta: 1.121
	Con arroyos y vertientes	Sup.: 52.844 Dem. Neta: 445 Dem. Bruta: 1.178
Superficie Empadronada Total (SET)	Sin arroyos y vertientes	Sup.: 78.756 Dem. Neta: 677 Dem. Bruta: 1.767
	Con arroyos y vertientes	Sup.: 85.101 Dem. Neta: 730 Dem. Bruta: 1.903

Tabla 2: Demandas Agrícolas, 2003 (en hm³)

SRL= Superficie que resultó del análisis de la escena del mes de octubre de 2001 de la Imagen Satelital Landsat ETM; SEP= Superficie empadronada con derecho a riego con la cuota del canon al día (sin considerar uso para agua potable, central térmica, Repsol-YPF y zona alcoholera); SET= Superficie Empadronada Total. (Sin considerar uso para agua potable, Central Térmica, Repsol-YPF y zona alcoholera).

Comparando las demandas para consumo urbano, industrial y agrícola, con la oferta histórica del río, el sistema de distribución de aguas superficiales muestra garantías mensuales bajas. Hay meses del año donde la demanda no es satisfecha en forma total por el sistema superficial. Sólo el 75% de los meses las demandas reales son atendidas. Las dificultades de abastecimiento se dan sobre todo en primavera, cuando la oferta del río es baja y la demanda de los cultivos predominantes es alta (Departamento General de Irrigación. 2006a).

Con respecto a las garantías anuales, el valor de garantía supera el 50%; lo cual nos indica que sólo el 50% de los años, se entrega la dotación correcta a las necesidades reales de los cultivos. Esto sucede justamente porque hay meses críticos de primavera donde la oferta del río es menor que las necesidades del oasis cultivado. Para resumir, sólo el 50% de los años se satisface la demanda real de los cultivos, mientras que en los años analizados hay 3 meses donde la dotación es crítica, principalmente en primavera. Por su parte, analizando las garantías volumétricas, se observa que estos valores son adecuados para un sistema poco tecnificado como es el sistema del río Mendoza; este valor indica que la suma de los “volúmenes anuales” entregados son satisfactorios, pero considerando las otras garantías éstos no son entregados en el tiempo según la necesidad de los cultivos (Departamento General de Irrigación. 2006a)

Es importante considerar que con la construcción de la Presa Potrerillos, la garantía anual ascendió al 50%, y la volumétrica al 12%. Aún así estos valores siguen sin ser óptimos, en especial por las bajas eficiencias del sistema de distribución y en segundo lugar por el bajo volumen de regulación de la presa.

A manera de resumen del balance hídrico de la cuenca que realiza el Departamento General de Irrigación se presenta la tabla 3:

INGRESOS AL ACUÍFERO LIBRE	Hm3 ANUALES
Infiltración ríos	260
Infiltración canales	130
Percolación área de riego	200
Total	590
EGRESOS DEL ACUÍFERO LIBRE	Hm3
Bombeo agricultura	339
Bombeo agua potable	43
Bombeo industrial	15
Flujo acuífero confinado	173
Salida de la cuenca	52
Total	622
Extracción en exceso	Hm3
Ingresos acuífero - Egresos acuífero	-32

Tabla 3: Balance hídrico del agua del río Mendoza (Departamento General de Irrigación, 2006a)

El resultado del balance es deficitario pero no puede considerarse sobreexplotación, ya que los términos de “flujo al acuífero confinado” y “Salida de la cuenca” son obviamente obtenidos como resultado de otro balance. Por tanto este balance no representa una situación estacionaria, y ésta se daría reduciéndose los mencionados términos de salidas del acuífero.

A pesar de que la recarga estimada es deficitaria en -32 hm^3 para el período considerado, el acuífero libre se encuentra relativamente en equilibrio con el nivel de explotación actual. Se considera que alrededor de 700 hm^3 es la explotación sustentable a la que deberían estar sujetos los acuíferos subterráneos. Es decir, con este nivel de explotación no se modificarían las reservas. Como el acuífero Norte involucra a la cuenca superficial del río Mendoza y del Tunuyán en su subsistema Tunuyán Inferior, se estima una relación entre módulos de ríos (principal elemento de recarga) y esta relación se aplica a los 700 hm^3 , obteniendo para la cuenca del río Mendoza una disponibilidad de 385 hm^3 . Estos se utilizan para compensar el déficit de agua superficial (Departamento General de Irrigación. 2006a).

CUBIERTA DE HIELO Y NIEVE EN LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA

En el presente trabajo se va a estudiar y analizar la nieve acumulada en la cuenca del río Mendoza en los meses de invierno, ya que es la principal fuente de agua. Se realizará un análisis de la superficie nevada que se puede apreciar en las imágenes Landsat, sin embargo se considera relevante tener en cuenta los glaciares ya que hacen el aporte permanente y generan el caudal base del río. Son un reservorio de agua dulce muy importante de la región y del mundo; además, su dinámica representa las fluctuaciones climáticas de la región. Han sufrido una retracción en los últimos años por aumento de las temperaturas y disminución de precipitaciones, principalmente en la zona de cordillera. Se realiza una descripción más detallada de su dinámica en el Anexo 1.

TÉCNICAS DE TELEDETECCION CON IMÁGENES LANDSAT PARA EL ESTUDIO DE GLACIARES Y SUPERFICIES NEVADAS

Existe gran cantidad de estudios en el mundo donde se analizan los glaciares como fuente de agua dulce y base para el desarrollo y sostenibilidad de poblaciones y ecosistemas.

El estudio de glaciares con imágenes satelitales es relativamente nuevo pero muy importante por su coste de aplicación bajo en comparación con otras metodologías y simplicidad del manejo. Sin embargo, aún no se resuelve un único método ya que dependiendo de las características de los glaciares estudiados se obtienen resultados dispares, aún empleando métodos similares (Maestro Cano, I. y Recio Recio, J. 2004).

En las longitudes de onda visible e infra-rojo cercano, las propiedades ópticas del hielo y el agua son muy similares, por lo que la forma de diferenciarlos se encuentra en el índice refractivo del hielo, la distribución del tamaño de los granos de nieve, la profundidad y densidad del manto de nieve y el tamaño y cantidad de impurezas depositadas.

Los fundamentos teóricos de la extracción automática de las superficies cubiertas por nieve o hielo, parten de la respuesta espectral de ambos elementos (nivel de reflectancia según la longitud de onda, figura 15). En este trabajo será de interés el comportamiento de la nieve y el hielo para las longitudes de onda que vienen definidas por las distintas bandas de que dispone el sensor Thematic Mapper del satélite Landsat 5 y 7.

Como se observa en la figura 11, la reflectancia de la nieve/hielo aumenta conforme disminuye la longitud de onda, especialmente por debajo de 0,8-1,2 μm (de ahí su color blanco dentro del espectro visible), poseyendo una muy baja reflectancia para longitudes de onda superiores a 1,5 μm . Esta considerable y característica diferencia en su respuesta es la que se aprovecha para distinguir aquellas zonas de la imagen que están cubiertas por nieve/hielo de aquellas otras que no lo están.

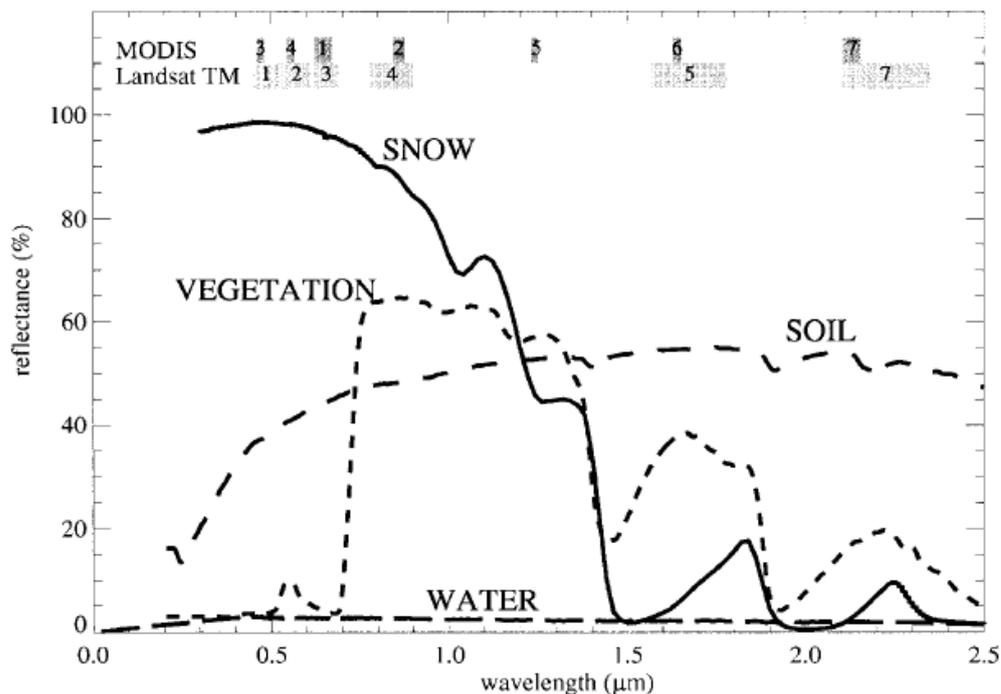


Figura 11: firmas espectrales de algunas superficies de la naturaleza

Dozier (1989), propone una serie de pasos muy completa para estimar la superficie de nieve y hielo en un área determinada utilizando las bandas de las imágenes Landsat, considerando de manera anticipada que las nubes son más brillantes que la nieve en la Banda 5:

1. R_p (TM1): Se utilizan valores que se encuentran entre 0.15 y 0.2. Este umbral distingue la nieve de superficies que se encuentran en áreas de sombra
2. R_p (TM5) Si se encuentra entre 0.2 y 0.25, este umbral permite distinguir nieve de nubes

3. $[Rp(TM2) - Rp(TM5)]/[Rp(TM2) + Rp(TM5)]$ Es el mejor de los umbrales, está cerca del 0.4. Este criterio refleja los pixeles cuya reflectancia en la Banda 5 es mucho mayor que la comparada con la Banda 2, lo que permite distinguir nieve de rocas, suelo y nubes

(Donde Rp es la Reflectancia Planetaria Aparente)

En los Pirineos se ha realizado una comparación entre diferentes métodos para estimar la superficie glaciaria mediante el uso de diferentes índices o *ratios* aprovechando la alta reflectancia en el espectro visible (para lo cual se usaron las tres primeras bandas de Landsat) junto con una fuerte absorción en el infrarrojo cercano/medio (bandas 4 y 5, respectivamente):

$$\text{Método A: } R_{3,5} = \frac{TM3}{TM5}$$

$$\text{Método B: } R_{4,5} = \frac{TM4}{TM5}$$

$$\text{Método C: } NDSI = \frac{(TM2 - TM5)}{(TM2 + TM5)}$$

Este último parámetro es un análogo del NDVI (*Normalized-Difference Vegetation Index*).

En este trabajo, los métodos que han conseguido mejores resultados han sido el B (la ratio entre las bandas 4 y 5) y el C (NDSI), ambos con discrepancias en torno al 30%, mientras que el que peor ha funcionado ha sido el A (ratio entre las bandas 3 y 5), cuya discrepancia aumenta hasta el 41%. También es necesario aclarar que los tamaños de los glaciares estudiados era mucho menor que los de la cuenca Norte del río Mendoza, por lo que la resolución espacial utilizada puede no ser la óptima (Maestro Cano, I. y Recio Recio, J. 2004).

Otro trabajo utilizado para inventariar glaciares del Pirineo Catalán también utiliza el NDSI como principal umbral para definir áreas nevadas, con un umbral de 0.4. En este trabajo se utilizan, además, imágenes MODIS-Terra (resolución de 250m), presentando más errores que las provenientes Landsat a la hora de contabilizar superficie nevada ya que la resolución espacial de las imágenes influye claramente al producto final (Cea López, C. et al. 2007).

En la zona del Cerro Aconcagua se han realizado un importante número de estudios en base a sensores remotos. El inventario de glaciares realizado con fotografías aéreas de 1963 y basado en análisis visual brindó información de alta calidad de una gran diversidad de geoformas, pero requirió de una cantidad muy intensiva de horas hombre que lo hace poco factible en la actualidad. Más recientemente, los estudios de fluctuaciones de glaciares descubiertos han incorporado gran parte de las herramientas disponibles para procesamiento digital de imágenes: rectificación (registro), correcciones atmosféricas, detección de superficie cubierta de hielo-nieve, delimitación de cuencas y mediciones. Por ejemplo el “surge” 2004-2006 del glaciar Horcones Inferior fue estudiado con imágenes satelitales. Mediante este análisis, pudo detectarse que el frente del glaciar avanzó 3.08 km con una velocidad media de avance de 8.5 m/día (Pitte, P. et al. 2009).

Asimismo, Espizúa y Maldonado (2005) han utilizado imágenes Landsat de la estación estival para medir los cambios ocurridos en 4 glaciares mendocinos entre 1896 y 2005. Aplicaron el criterio de Dozier, J. (1989) con un umbral de NDSI > 0.4. Se utilizaron también fotografías históricas que permiten determinar la posición del frente de los glaciares en épocas sin imágenes satelitales.

Zuluaga, J.M, et al. (2002) utilizaron imágenes Landsat para realizar un mapeo de áreas nevadas en la cuenca del río Tupungato, afluente del Mendoza. Se utilizaron las bandas visibles e infrarroja con las cuales se logró una buena visualización de la nieve y el hielo, ensayándose además algunos índices verdes que vinculan dichas bandas, denominados genéricamente NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) mediante la utilización del programa IDRISI para Windows; desarrollado por la Facultad de Geografía de la Universidad de Clark. La cartografía base Esc. 1:100.000 proveniente del Instituto Geográfico Militar fue digitalizada para poderla utilizar en la corrección geométrica de la imágenes satelitales. En este trabajo se realizaron dos tipos de clasificación:

- Clasificación No Supervisada de las imágenes, en la que el programa identifica los patrones típicos de los datos de reflectividad. Estos patrones se asignan a categorías temáticas (interpretación) mediante la visita de campo a una serie de puntos seleccionados. Debido a la técnica matemática utilizada en este proceso, los patrones se denominan, generalmente, conglomerados (clusters) y el módulo usado en IDRISI fue CLUSTER que realiza una clasificación no supervisada de una imagen de

composición de bandas creada con COMPOSIT. Esta primera clasificación permite conocer la heterogeneidad de cada una de las imágenes y evaluar las bandas e índices más adecuados para la clasificación definitiva.

- Clasificación Supervisada: consiste en elegir sectores de la imagen perfectamente conocidos y con datos de terreno de donde se extraen los valores característicos del hielo y la nieve para cada una de las fechas, posteriormente se realiza el análisis estadístico de estos datos para definir el rango de reflectancia adecuado para la clasificación final. Los módulos usados para tal fin fueron:
 - PIPED que usa la técnica de paralelepípedos, se basa en una serie de umbrales bajos y altos de reflectividad para cada categoría en cada banda, determinadas por la firma espectral. El proceso de paralelepípedos es el más rápido de los clasificadores supervisados. También, potencialmente, el menos preciso.
 - MINDIST realiza una clasificación, por Mínima Distancia a las Medias, de imágenes de satélite, a partir de la información contenida en una serie de archivos de firmas espectrales. Se basa en la reflectividad media en cada banda para una signatura. Los píxeles se asignan a la clase con la media más próxima a su valor.
 - MAXLIKE realiza una clasificación de imágenes de satélite por Máxima Probabilidad. Se basa en la función de densidad de probabilidad asociada a la firma de un determinado campo de entrenamiento. Los píxeles se asignan a la clase más probable, tras comparar la probabilidad de que cada píxel pertenezca a cada una de las signaturas consideradas. Esta técnica fue la que mejores resultados dio en la identificación de hielo y nieve

Para el inventario de Glaciares, siguiendo las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores) y su programa World Glacier Inventory (WGI), el Programa Global Land Ice Measurements from Space, y directivas empleadas en inventarios previos, la información a registrarse en el Inventario para cada cuerpo de hielo del país se dividirá en dos grupos. El primer grupo contendrá información básica para cada glaciar o geoforma periglacial que actúa como reserva hídrica. El segundo

grupo incluirá información complementaria que incluye parámetros principalmente de índole física de cada unidad como cotas máxima y mínima, largo total, orientación, y pendiente media.

Las imágenes satelitales a utilizar no deberán tener una fecha de adquisición anterior al año 2000 y serán preferentemente de los sensores ASTER y Landsat ETM+. Estos sensores proveen imágenes con resolución espacial de 15 y 30 m respectivamente, y es en base a ellas que se han realizado la mayoría de los inventarios recientes en Europa y otras regiones del planeta (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010a).

Técnicas recomendadas para la delimitación de las unidades (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010a)

Según la propuesta del Inventario de Glaciares del IANIGLA (2010a) se presentan algunas técnicas para la delimitación de cuerpos de hielo. Con excepción de la técnica de delineación manual en pantalla de la superficie de un glaciar, la mayoría de los métodos de clasificación digital de glaciares se basan en la alta reflectancia del hielo y la nieve con respecto a otras superficies en el sector infrarrojo cercano del espectro electromagnético. Esta región del espectro es cubierta por varios sensores (ASTER, Landsat TM/ETM, Spot 4/5) y los métodos multispectrales, con adaptaciones particulares, pueden emplearse en todas ellas. Por otra parte cabe aclarar que los algoritmos requeridos para una correcta identificación y delineación de las superficies de glaciares a partir de imágenes satelitales en diferentes regiones geográficas requieren muy frecuentemente la adaptación de los métodos a cada región, ya que los cuerpos de hielo entre distintos ambientes presentan diferentes morfologías y diferentes combinaciones o porcentajes de hielo, nieve y detritos. *Por lo tanto no existe un único método de clasificación que sea aplicable a todas las regiones.* Las técnicas recomendadas para la delimitación de unidades son:

- **Digitalización manual:** La interpretación de imágenes satelitales por un operador experimentado es considerada la mejor herramienta para extraer información de alto nivel sobre los diferentes tipos de glaciares, aunque sea tediosa y larga.
- **Clasificación multispectral para la identificación de hielo descubierto:** La clasificación de glaciares basada en la utilización del cociente de bandas (e.g. bandas

Landsat TM5/TM4 o ASTER NIR3/ASTER SWIR4) ha demostrado ser un método rápido, robusto y preciso para la detección de hielo descubierto. También es recomendable el método de diferencias normalizadas de bandas NDSI, cuyos resultados en pruebas preliminares también arrojó valores de superficie muy cercanos a los provenientes de la digitalización manual para sitios elegidos en los Andes Centrales.

- **Métodos geomorfométricos:** Es difícil identificar glaciares cubiertos con detritos mediante técnicas multiespectrales, por lo que se puede complementar mediante la utilización de otro tipo de información de sensores remotos:
 - **Complementación con información termal:** diferencia en la región termal del espectro electromagnético que tiene el hielo cubierto por detritos o los suelos congelados, de un terreno cubierto por detritos pero que no contiene hielo.
 - **Complementación con información morfométrica:** A partir de los MDE es posible derivar parámetros morfométricos (pendiente, curvatura, orientación) los cuales son útiles para identificar y describir procesos geomorfológicos y geoformas.

MATERIALES Y MÉTODOS



MATERIALES Y MÉTODOS

- **Revisión bibliográfica:** La metodología principal empleada en el desarrollo de la tesina ha sido la revisión bibliográfica intensiva. Con esto se ha logrado una caracterización cualitativa de las zonas de estudio y de las instituciones implicadas en materia de aguas y de ordenación del territorio. Por otro lado se ha realizado un análisis del estado actual del recurso hídrico en la cuenca Norte de Mendoza, comenzando por los glaciares y superficies nevadas de la Cordillera, con lo que será posible comparar los datos obtenidos del estudio realizado con imágenes satelitales posteriormente explicado.

Se hizo una búsqueda intensiva de trabajos desarrollados en el ámbito local (Mendoza y Almería), un análisis de las páginas web de las instituciones estudiadas en el trabajo con el fin de comparar la información que brindan con las acciones reales que desarrollan y un análisis de trabajos con temáticas similares realizados en otros puntos del planeta.

Para la gestión de la bibliografía se utilizó RefWorks (www.refworks.com), una aplicación vía web que permite:

- Importar referencias desde múltiples fuentes de información.
- Incluir citas a la hora de redactar un documento.
- Crear una bibliografía en una amplia gama de formatos.
- Compartir la información con colegas, estudiantes y cualquier persona.

- **Entrevistas en profundidad:** Con el fin de entender el funcionamiento de las instituciones implicadas y conocer la realidad desde el punto de vista político-institucional y legal, se han realizado reuniones con expertos en los temas analizados, responsables y encargados de tareas relacionadas con gestión del agua y del territorio. Se citan en el texto como “comunicaciones personales” aunque no se realizó una transcripción literal de lo expresado por las personas entrevistadas.

- **Análisis del origen del recurso hídrico en la cuenca del Río Mendoza:** En esta parte del trabajo se analizó la cubierta de nieve generada en invierno, entre agosto y septiembre (época de más acumulación) en la zona alta de la cuenca del río en cuestión. Se pretende analizar la relación entre la superficie cubierta por nieve en invierno y el caudal del río

Mendoza en los meses de verano ya que las temperaturas altas (cuando hay 13°C aproximadamente durante varios días continuos) dan comienzo al derretimiento.

En el análisis se utilizaron imágenes provenientes del satélite Landsat.

IMÁGENES LANDSAT

El programa Landsat es administrado por NASA (National Space and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey). Comienza con el lanzamiento de un satélite en 1975, que hasta la actualidad constituye el proyecto de teledetección espacial más fructífero desarrollado hasta el momento. Las imágenes son más abundantes en aquellos lugares cubiertos por antenas receptoras: Brasil, Argentina, Canadá, China, Italia, Suecia, Indonesia, Tailandia, Japón, India, Sudáfrica y Australia.

Los tres primeros Landsat incorporaban un equipo de barrido multiespectral denominado MSS (*Multispectral Scanner*) y un conjunto de 3 cámaras de video. Los Landsat-4 y 5 sustituyeron estas cámaras por un explorador de barrido llamado TM (*Thematic Mapper*) que proporciona mayor resolución espacial, espectral y radiométrica: de 79 a 30m, de 4 a 7 bandas y de 6 a 8 bits. Este sensor es diseñado, como su nombre lo indica, para cartografía temática. En 1999 se lanzó el último Landsat (Landsat-7) al cual se incorporó una banda pancromática (Canal 8) de 15 m de resolución y aumentando la banda térmica de 120 a 60m. Las bandas del espectro visible y del infrarrojo mantienen la resolución espacial de 30m del Landsat 5 (canales 1, 2, 3, 4, 5 y 7). Las bandas del infrarrojo térmico (canales 6L e 6H) pasan a ser adquiridas con resolución de 60 metros, contra 120 metros del Landsat 5.

Una órbita del Landsat 7 es realizada en aproximadamente 99 minutos, permitiendo al satélite dar 14 vueltas a la Tierra por día, y cubrir la totalidad del planeta en 16 días. Esta nueva banda permite obtener productos cartográficos de mayor calidad, aplicando técnicas de fusión de datos. Sin embargo, en mayo de 2003 se produjo un fallo en el mecanismo de barrido de este nuevo sensor (Scan Line Corrector, SLC) que supone una pérdida de parte de los datos. A estas imágenes se las denomina SLC-off mientras que las tomadas con el buen funcionamiento del satélite son SLC-on.

En la tabla 4 se resumen las bandas correspondientes a las imágenes del satélite Landsat 7. Los valores, expresados en micrones, representan los límites de longitudes de onda a los que es sensible cada banda espectral y sus aplicaciones.

BANDAS	LONGITUD DE ONDA (μm)	APLICACIONES
1	0,45-0,52(azul)	Mapeo de aguas costeras Diferenciación entre suelo y vegetación diferenciación entre conífera y decidua
2	0,52-0,60(verde)	Mapeo de vegetación Calidad de agua
3	0,63-0,90(rojo)	Absorción de la clorofila Diferenciación de especies vegetales Áreas urbanas, uso del suelo agricultura Calidad de agua
4	0,76-0,90 (infrarrojo cercano)	Delineamiento de cuerpos de agua Mapeo geomorfológico Mapeo geológico Áreas de incendios Áreas húmedas Agricultura - vegetación
5	1,55-1,75 (infrarrojo medio)	Uso del suelo Medidas de humedad de la vegetación Diferenciación entre nubes y nieve Agricultura vegetación
6	10,40-12,50 (infrarrojo termal)	Mapeo de stress térmico en plantas Corrientes marinas Propiedades termales del suelo
7	2,08-2,35 (infrarrojo medio)	Identificación de minerales Mapeo hidrotermal
8	0,52 – 0,90 μm (<i>Pancromatico</i>)	Catastro rural, infraestructuras Ubicación de centros poblados Hidrología, vías

Tabla 4: bandas de Landsat 7 y sus aplicaciones (Chuvieco Salinero, E. 2008, Geoservice Perú. 2010)

Las imágenes satelitales se encuentran proyectadas en el sistema Universal Transverse Mercator (UTM) zona 19N, su Sistema de Referencia es WGS-1984, Falso Este:

500000.0, Falso Norte: 00.00, Meridiano Central: -69.00, Factor de escala: 0.999600, Latitud de Origen: 0.000000, Unidad lineal: Metro (1.00) Unidad Angular: Grado (0.017453292519943299)

Las imágenes utilizadas en este trabajo pertenecen al programa Landsat 5 y 7 según el año. Desde 1986 hasta 1999 y desde 2003 hasta 2007 se utilizaron imágenes de Landsat 5 y entre 1999 y 2003 se usaron las de Landsat 7 SLC-on. Fueron descargadas de la página oficial de la USGS (Unit States Geological Survey. 2011) que ofrece las imágenes de forma gratuita, pero no existe disponibilidad de todas las fechas en la que el satélite hace su recorrido. Para cubrir el área de interés fue necesario crear un mosaico de tres de estas imágenes cuya denominación y coordenadas se detallan en la siguiente tabla:

		COORD. SUPERIOR IZQUIERDA	
COLUMNA (Path)	FILA (Row)	LATITUD	LONGITUD
232	82	30° 48' 44.60" S	69° 32' 39.37" O
232	83	32° 14' 18.46" S	69° 56' 59.68" O
233	83	32° 14' 16.66" S	71° 29' 23.14" O

Tabla 5: Ubicación de las imágenes utilizadas

La siguiente figura muestra el visor de USGS donde el cuadro verde de arriba representa la imagen 232-82, la celeste es la 232-83 y la de color rosa corresponde a la columna 233 y fila 83. El cuadro rojo de fondo es el área aproximada de estudio.

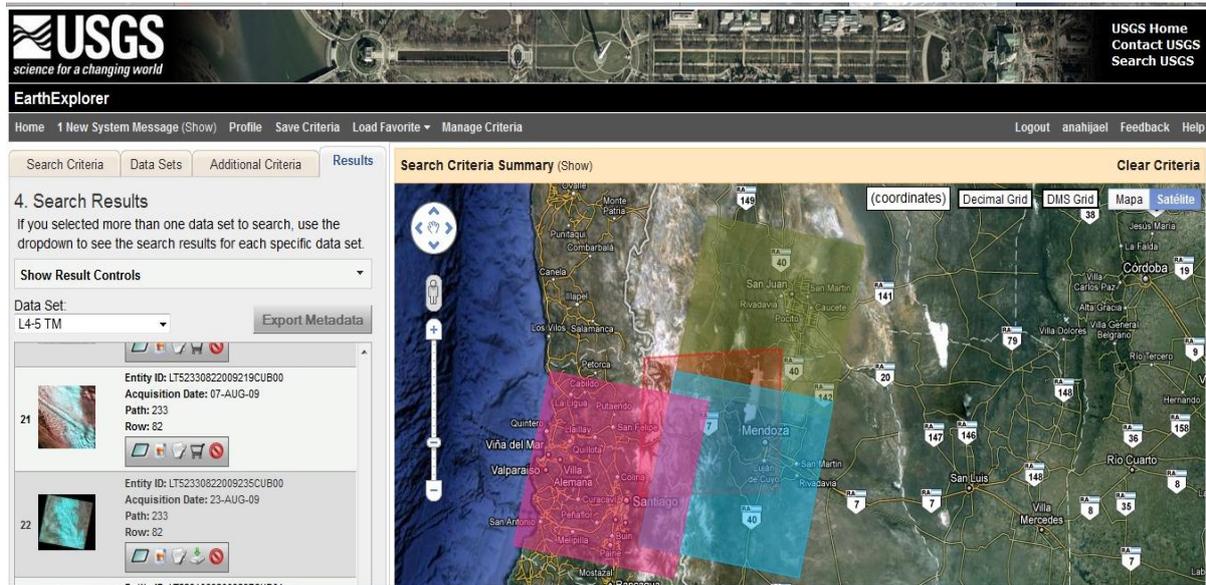


Figura 12: Vista de la página web de USGS <http://edcns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/> en la zona de estudio.

Se seleccionaron imágenes con poca cobertura de nubes para no interferir en los resultados. Este criterio se puede seleccionar en la página, descartando, para este caso, las imágenes que tuviesen más de 30% de nubes. Necesariamente, también se ha buscado imágenes en la época de máxima cobertura de nieve (ver figura 8)

Las fechas en las que existen imágenes disponibles con las características requeridas son:

- 18 de Septiembre de 1986
- 16 de Julio de 1989
- 30 de septiembre de 1999
- 31 de Agosto de 2000
- 19 de Septiembre de 2001
- 06 de Septiembre de 2002
- 03 de Septiembre de 2004
- 22 de Septiembre de 2005
- 25 de Septiembre de 2006
- 11 de Agosto de 2007

Se analizaron diferentes métodos de estimar la superficie de nieve mediante revisión bibliográfica y, posteriormente, se experimentó con distintos programas capaces de soportar imágenes de tipo raster. Entre estos programas se encuentran: Idrisi Andes, Erdas y ArcGis. Al investigar en las interfaces de cada uno sus funciones y utilidades, fueron utilizados varios de ellos para diferentes acciones:

- Idrisi: Delimitación de la cuenca de estudio mediante un Modelo Digital de Elevación (MED) de 90m de resolución generado por NASA, Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) y descargado de su página web (CGIAR Consortium for Spatial Information, 2004). Este programa también permite la creación de una imagen con los cursos de agua que se utilizó posteriormente en el análisis de la superficie nevada. Para definir la cuenca se eligió como punto de desagüe el Dique Cipolletti, ya que hasta ese punto se analizará la gestión del recurso hídrico en los capítulos posteriores del presente estudio.

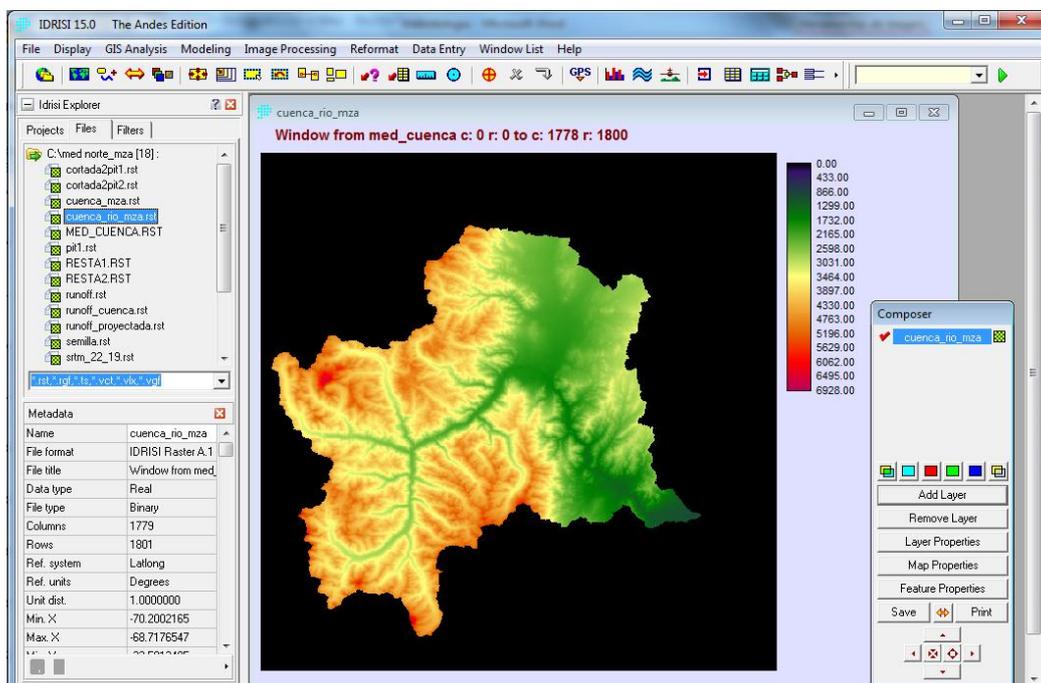


Figura 13: Cuenca del río Mendoza delimitada a partir de MED con Idrisi Andes hasta el dique Cipolletti.

- Erdas Imagine 9.2: Se utilizó para la realización de mosaicos de las imágenes Landsat descargadas ya que la zona de estudio abarca más de una imagen. También se utilizó

este programa para proyectar el MED y poder superponer la cuenca con las imágenes.

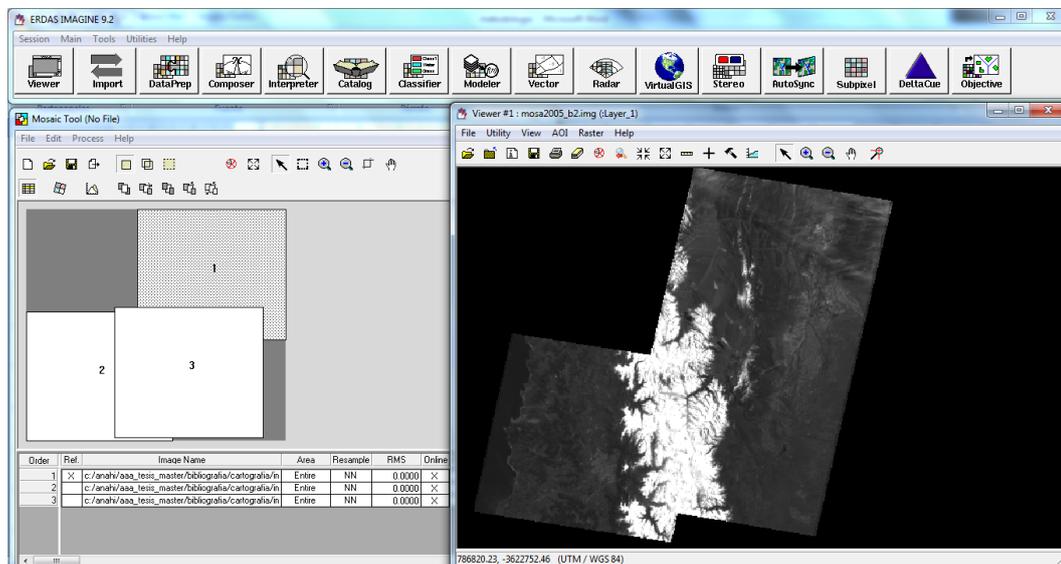


Figura 14: Mosaico de las imágenes de septiembre de 2005, Banda 2 en Erdas Image 9.2

- ArcGis: Este programa se utilizó con diversos fines a lo largo del trabajo:
 - o Se recortó el área de estudio provisto por el MED, aplicando una máscara donde la cuenca poseía el valor 1 y el resto del área valor 0. Se utilizó la herramienta Image Calculator de la “Caja de Herramientas” Spatial Analyst. Se realizó una multiplicación entre el mosaico de imágenes originales y la cuenca.
 - o Para calcular la superficie de nieve se utilizó el NDSI (Índice normalizado estandarizado de nieve) con un umbral en el que Nieve>0.4. Después de aplicar la fórmula del Índice: $(\text{Banda 2} - \text{Banda 5}) / (\text{Banda 2} + \text{Banda 5})$ se restaron las superficies correspondientes a los ríos y cuerpos de agua, particularmente Embalse Potrerillos. Con el fin de simplificar el proceso, se generó un modelo dentro de una nueva “Caja de Herramientas” (Figura 20).

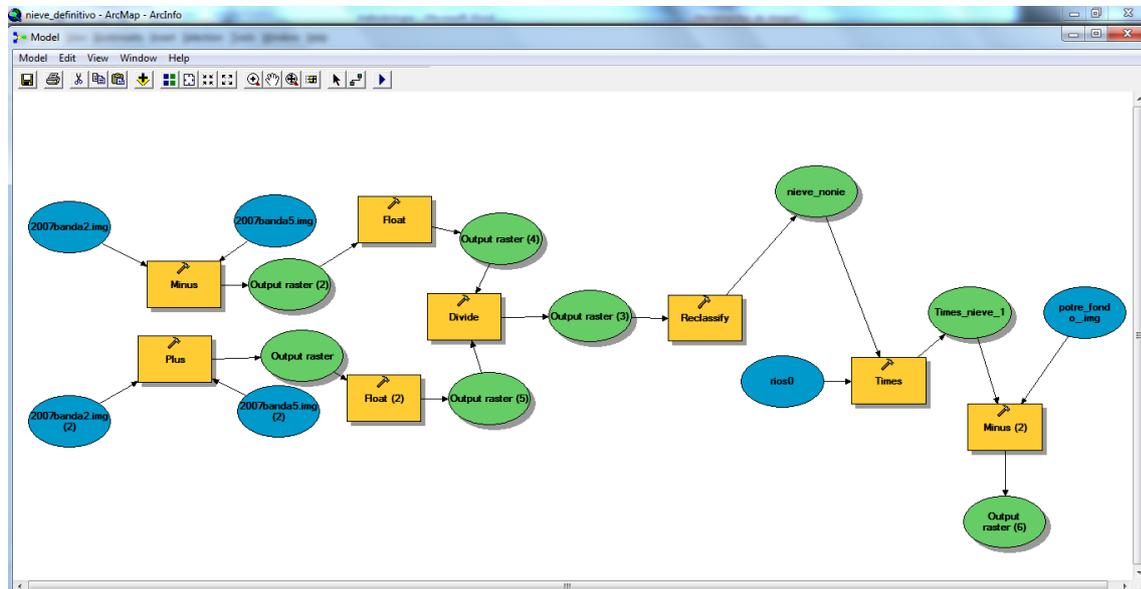


Figura 15: Modelo utilizado para aplicar el NDSI en la cuenca del río Mendoza. En él se detalla la ecuación de dicho índice, la reclasificación seleccionando como umbral el valor 0.4 para distinguir las zonas nevadas y la extracción de estas zonas de los cuerpos de agua.

Para establecer la superficie cubierta de nieve, se multiplicaron la cantidad de píxeles por 900 (ya que la resolución es de 30*30m) y se dividió por 1000000 para pasar a km². El cálculo de la superficie no nevada fue similar.

- **Modelación de la cuenca del río Mendoza:** en esta etapa se aprendió a utilizar y se aplicó el software desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia: AQUATOOLDMA. AQUATOOLDMA es un interface de usuario para la edición de modelos de simulación de la gestión de cuencas mediante el programa SIMGES (incluyendo utilización conjunta) y modelos de simulación de la calidad de aguas asociada a la gestión mediante el programa GESCAL.

En esta etapa se inició con una familiarización con el programa, conceptos específicos de la simulación y optimización de recursos hídricos en la gestión de cuencas para poder plantear el modelo y, posteriormente, incluir todos los datos y realizar la simulación. Se

estudió la situación actual de la cuenca, cuáles son sus demandas, reglas de gestión, garantías, etc. y se realizó un planteo de los posibles escenarios futuros para el área de estudio. Por otro lado, se hizo una introducción al programa OPTIGES ya que realiza la optimización de la gestión de un sistema de recursos hidráulicos de acuerdo con unas hipótesis, objetivos y restricciones y con decisiones y variables hidrológicas a escala mensual (Solera Solera, A. et al. 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



CUBIERTA DE NIEVE EN LA ZONA ALTA DE LA CUENCA

Mediante el análisis realizado con imágenes satelitales y el Normalized Difference Snow Index (NDSI) se logró estimar la superficie de nieve de la cuenca en el mes que la acumulación es mayor. Se seleccionaron los meses de agosto y septiembre según la disponibilidad de las imágenes sin cobertura de nubes.

Se muestran algunos ejemplos de las imágenes obtenidas del trabajo realizado en ArcGis 9.2 (figura 16). En color celeste se representa el área de la cuenca cubierta de nieve y en marrón las superficies descubiertas en el año 2004 y 2006.

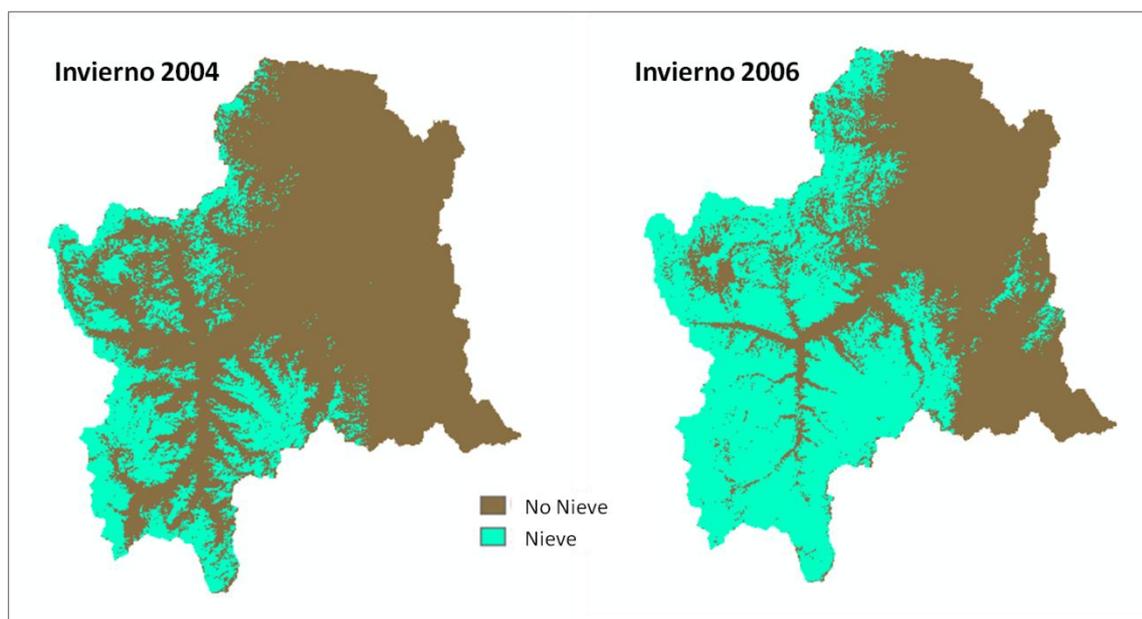


Figura 16: cuenca del río Mendoza analizada y clasificada con el método de NDSI.

Estas fechas se muestran muy diferentes ya que el 2004 fue un año con escasas precipitaciones, en contraposición al 2006.

La tendencia general de la superficie nevada es levemente positiva (Figura 17), su distribución se puede afirmar que es simétrica y *Mesocúrtica* (Coef. De asimetría=-0.09 y curtosis=0.43), lo que quiere decir que los valores se encuentran dentro de una distribución normal. A pesar de la tendencia, los valores no muestran diferencias significativas.

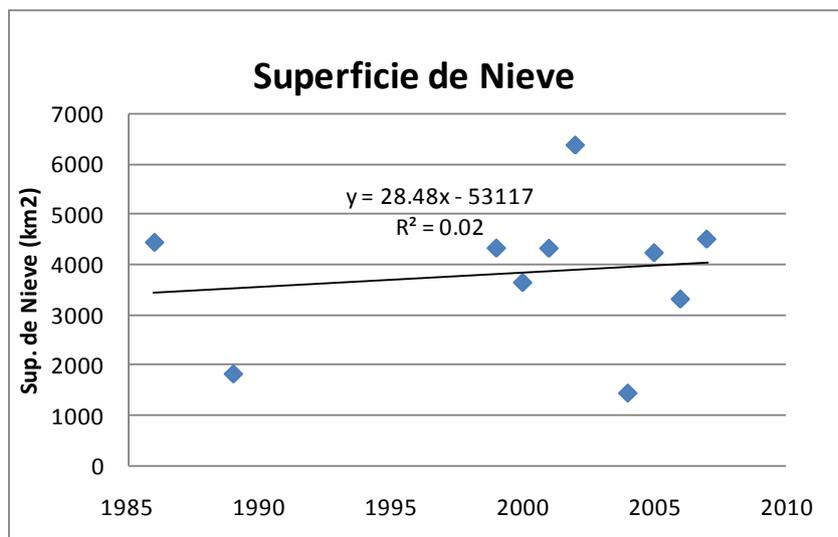


Figura 17: Dispersión de los valores de superficie de nieve calculados con el NDSI y su línea de tendencia.

La tendencia en el Equivalente Agua Nieve (en adelante EAN) medido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos a partir del año 1950 y analizado por Masiokas et al. (2006, 2010) a nivel regional en los Andes Centrales de Argentina y Chile, es positiva, presentando una correlación casi perfecta (0.933) con los caudales de los ríos. Las series individuales de nieve y de caudal muestran en general tendencias lineales no significativas ($p > 0.05$). Son excepciones los ríos Maipo y Tinguiririca de Chile y el río Diamante en Argentina que mediante el test de Mann–Kendall sí presentan tendencias positivas significativas. Analizando períodos cortos y estaciones individuales (de aforo o de medición de EAN) sí se encuentran algunas diferencias significativas tanto positivas como negativas.

Además, el EAN hasta 1999 se tomaba 1 vez al año, en septiembre, cuando se consideraba que cesaban las nevadas. A partir del año 2000, en Mendoza, se empieza a medir este valor diariamente generándose una importante base de datos (Pereyra, G. 2011), lo que puede implicar diferencias en los resultados.

Se muestra a continuación un gráfico que representa el Equivalente Agua Nieve y el caudal del río Mendoza. Se puede apreciar un desfase entre los picos debido a la demora del derretimiento de la nieve (figura 18), pero una fuerte relación entre la cantidad de nieve medida y el caudal del verano posterior. A precipitación baja, caudales bajos y viceversa.

cuando el nivel crítico es menor que el nivel de significación establecido (generalmente 0.05). A efectos prácticos, se calcula el número de desviaciones tipo, que encuentra el coeficiente obtenido del centro de la distribución, según la siguiente fórmula:

$$t = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

Se compara el valor obtenido con el existente en las tablas para un cierto nivel de significación (0.05) y N-2 grados de libertad según el modelo de probabilidad t-de Student. El programa utilizado, SPSS, selecciona el nivel crítico exacto.

		Sup. Nieve	EAN Toscas	Caudal Verano	Caudal Verano Sin Caudal Base	Volumen (Hm3)
Sup. Nieve	Correlación de Pearson	1.00	0.63	0.44	0.46	0.25
	Significancia		0.05	0.21	0.18	0.49
EAN Toscas	Correlación de Pearson	0.63	1.00	0.88**	0.91**	0.73*
	Significancia	0.05		0.00	0.00	0.02
Caudal Verano	Correlación de Pearson	0.44	0.88**	1.00	0.99**	0.94**
	Significancia	0.21	0.00		0.00	0.00
Caudal Verano Sin Caudal Base	Correlación de Pearson	0.46	0.91**	0.99**	1.00	0.92**
	Significancia	0.18	0.00	0.00		0.00
Volumen (Hm3)	Correlación de Pearson	0.25	0.73*	0.94**	0.92**	1.00
	Significancia	0.49	0.02	0.00	0.00	

Tabla 6: Coeficientes de correlación de Pearson y su nivel de significación.

** La correlación es significativa a nivel 0.01

* La correlación es significativa a nivel 0.05

Se ha analizado la correlación de superficie de nieve con los caudales de verano, entre febrero y noviembre obteniendo un valor de 0.44 y la correlación con los caudales de

verano provenientes exclusivamente del derretimiento de nieve. Para esto se resta el caudal de invierno considerado como caudal base generado por la dinámica natural de los glaciares. Esta variable presenta mejores resultados si se compara con la superficie de nieve ya que la probabilidad asociada es 0.18, lo que indica un 82% de probabilidad de obtener en una muestra de tamaño 10 una correlación de 0.46.

La correlación de la superficie de Nieve con el Equivalente agua nieve es 0.63 y su nivel de fiabilidad 95%. Esto implica una alta relación entre el volumen de agua expresado en mm de EAN con la superficie lo que indica que para explicar el caudal sería necesario utilizar ambos términos.

La relación entre superficie de nieve y volumen anual es baja con una significancia muy alta, sin embargo con el EAN, el volumen presenta una alta correlación. El resto de las variables presenta correlaciones altas y significativas ya que se trata de relaciones entre caudales y volúmenes de agua.

Expresada gráficamente la relación entre la Nieve y el Caudal, se puede apreciar que la tendencia es positiva -un aumento en la superficie de nieve implica un aumento en el caudal-.

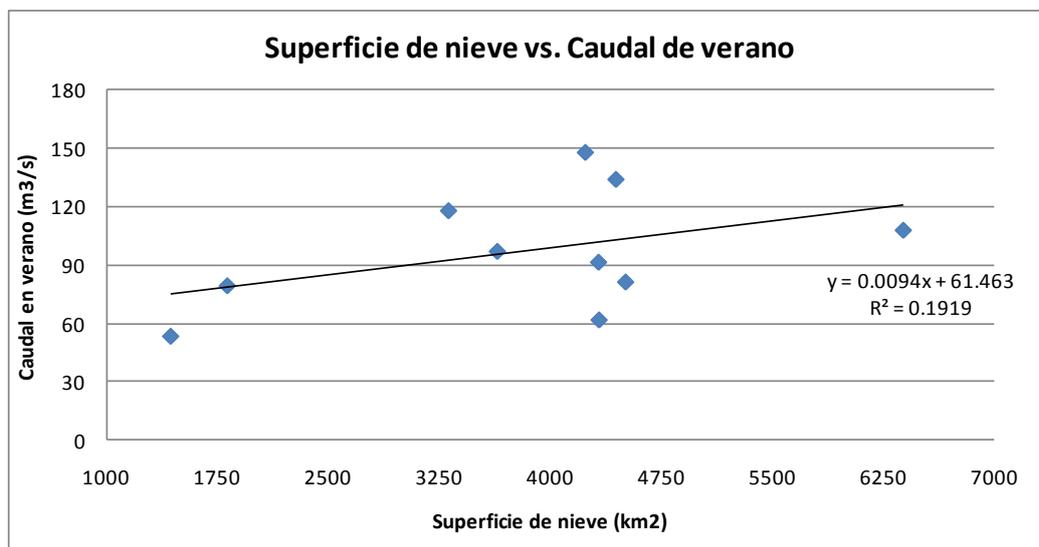


Figura 19: relación lineal entre la superficie de Nieve y el caudal medio entre los meses de verano ya que estos corresponden al derretimiento de la nieve (noviembre a febrero).

También se puede apreciar a partir de la tabla nº 7, que el principal aporte del río se da en los meses de verano ya que las correlaciones con el caudal anual son elevadas. Realizando, además, un modelo de regresión entre el Caudal de Verano (como variable independiente) y el Módulo del Río (como variable dependiente) se aprecia un coeficiente de correlación elevado: 0.985 y una significancia < 0.05.

Se presenta a continuación una descripción del modelo realizado.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ.
1	,985 ^a	,970	,966	2.50071

a. Variables predictoras: (Constante), Caudal Verano

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
Intercepto	10,786	2,789		3,868	,005
Caudal Verano	,443	,027	,985	16,130	,000

a. Variable dependiente: Modulo Guido

Tabla 7: Resumen del modelo

Se realizaron también correlaciones No Paramétricas (Tau_b de Kendall y Rho de Spearman) entre la Superficie de Nieve y el resto de las variables (Tabla 8) pero los coeficientes fueron también bajos. Se presentan los resultados en la siguiente tabla:

Tau_b de Kendall	EAN Toscas	Coeficiente de correlación	0.29
		Significancia	0.24
	Caudal Verano	Coeficiente de correlación	0.20
		Significancia	0.42
	Caudal Verano Sin Caudal Base	Coeficiente de correlación	0.16
		Significancia	0.53
	Volumen (Hm3)	Coeficiente de correlación	0.07
		Significancia	0.79
Rho de Spearman	EAN Toscas	Coeficiente de correlación	0.38
		Significancia	0.28
	Caudal Verano	Coeficiente de correlación	0.30
		Significancia	0.40
	Caudal Verano Sin Caudal Base	Coeficiente de correlación	0.21
		Significancia	0.56
	Volumen (Hm3)	Coeficiente de correlación	0.13
		Significancia	0.73

Tabla 8: Coeficientes de correlación no paramétricos

Hay una alta explicación del caudal de verano basado en la superficie de nieve y más aún en el Equivalente Agua Nieve. A efectos prácticos se requiere utilizar ambos datos. Sería importante poder utilizar el dato de cubierta de nieve de agosto-septiembre como predictor del volumen de aportaciones posteriores y programar la gestión de las presas y los regadíos con esta información.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que al tratarse de una zona con alta estacionalidad de precipitaciones, concentradas en los meses de invierno, el derrame en

determinados casos es respuesta del monto invernal de precipitación y de la magnitud estacional de nieve. Haciendo referencia al Índice de Estacionalidad, que mide el carácter tardío o temprano del escurrimiento estacional cada año, se deduce que la retención de una parte de la precipitación que se produce en años abundantes y la restitución que ocurre en años secos puede apartar significativamente el ritmo del derrame de la variabilidad de la precipitación. Es decir, que en años de precipitaciones escasas, el agua proveniente de los glaciares o manchones de nieve será el principal aporte para el río (Lascano, M.E. y Villalba, R. 2007).

Las series estudiadas de manto o capa de nieve tienen un patrón menos consistente de variaciones y una variabilidad interanual más alta que los caudales. Esto puede deberse a la menor calidad de los datos de nieve ya que es difícil el acceso a las zonas cordilleranas, sobre todo en épocas invernales, y a las variaciones interanuales que se presentan como características intrínsecas de la capa de nieve y caudal. A pesar de esto, las series obtenidas hasta el momento se pueden catalogar como significativas y de confianza (Masiokas, M.H. et al. 2010).

Con el fin de mejorar las predicciones de escurrimiento, simplificar la toma de datos y hacer posibles mejoras en la gestión del recurso hídrico, el uso de imágenes satelitales debería ser una herramienta más utilizada y altamente disponible. Si bien se han realizado gran cantidad de estudios referidos a los glaciares, los análisis de imágenes satelitales en relación a la cubierta nieve son escasos en la zona. También sería importante la aplicación de modelos de derretimiento de nieve a escala regional para poder conocer los escurrimientos futuros. En este tema han trabajado Maza et al. (2000, 1995) quienes aplican un modelo (Snowmelt Runoff Model) en la cuenca del río Tupungato, afluente del Mendoza, que utiliza datos morfométricos de la cuenca, parámetros hidrometeorológicos y la variación temporal del área cubierta de nieve. También son utilizadas imágenes Landsat como base para estimar la superficie de nieve, obteniendo muy buenos resultados de simulación de derretimiento (2000, 1995).

Una gran cantidad de trabajos están dirigidos a modelar el derretimiento de la nieve con el fin de conocer la respuesta de la cuenca ante la precipitación nívea y demás factores climáticos (Owe, M. et al. 2000).

Otros autores, utilizan imágenes MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para mapear superficies de nieve, ofreciendo una alta cobertura temporal. En Mendoza, el Departamento General de Irrigación, emplea estas imágenes en el pronóstico de escurrimiento anual aunque todavía los resultados no son altamente satisfactorios (Pereyra, G. 2011).

En los Andes Centrales de Chile, se utilizan imágenes MODIS para la calibración del modelo SWAT en la cuenca del río Lonquimay (Stehr, A. et al. 2009). El resultado es bueno ya que los valores simulados se corresponden en un 79% con los valores observados en las imágenes de cobertura nival.

En la cuenca del río Jhelum, Pakistán, más de las dos terceras partes del escurrimiento se produce por el derretimiento de nieves en las épocas de primavera y verano. Para evaluar la relación entre la superficie de nieve y los caudales de verano se utilizaron imágenes Landsat TM y mediante una ecuación de regresión lineal se estimó el escurrimiento con un 65% de certeza (Siddiqui, Z.A. et al. 2003).

También la relación entre la fluctuación estacional de temperatura y caudal del río Mendoza es relevante. En los Andes Centrales, los ríos que cuentan con alimentación glaciaria significativa, la curva del escurrimiento está fuertemente relacionada con la de la temperatura. En la última década, el río Mendoza ha mostrado caudales extremadamente altos, lo cual puede explicarse mediante los aumentos de temperatura recientes y el incremento de la ablación de glaciares presentada a nivel regional en las últimas décadas (Masiokas, M.H. et al. 2009, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010b, Masiokas, M.H. et al. 2010, Lascano, M.E. y Villalba, R. 2007)

Modelación de la cuenca del Río Mendoza

Con respecto a la modelación de la cuenca, se planteó el diagrama principal (Figura 20) y se hizo un análisis de las principales variables que requiere el sistema. Se logró recopilar algunos datos requeridos por el programa posibilitando el inicio de la modelación. Se utilizaron como aportaciones los caudales del río Mendoza tomados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos en la estación Guido. Los datos del embalse Potrerillos los maneja el Departamento General de Irrigación, los del resto de los embalses se gestionan en la Subdelegación de Aguas del Río Mendoza que funciona en el embalse Cipolletti.

Las demandas son difíciles de cuantificar ya que se trata de un sistema de distribución a la oferta, según los caudales que trae el río y lo que haya nevado en la cordillera y, según pronósticos anuales oficiales, se distribuye proporcionalmente a cada una de las superficies empadronadas, de acuerdo a su categoría de derecho (Departamento General de Irrigación. 2006a).

En el modelo se utilizó la demanda agraria para un año medio (1400Hm³ de volumen anual) y éste se encargara de definir las asignaciones anuales de acuerdo con la disponibilidad. La urbana e industrial son estables a lo largo del año, la demanda agrícola sí requiere diferentes valores a lo largo del año donde se propusieron niveles de demanda de 20, 50, 70 y 100%. El número de prioridad fue 3 (después de la demanda urbana a la que se le asigna prioridad 1 la industrial con prioridad 2)

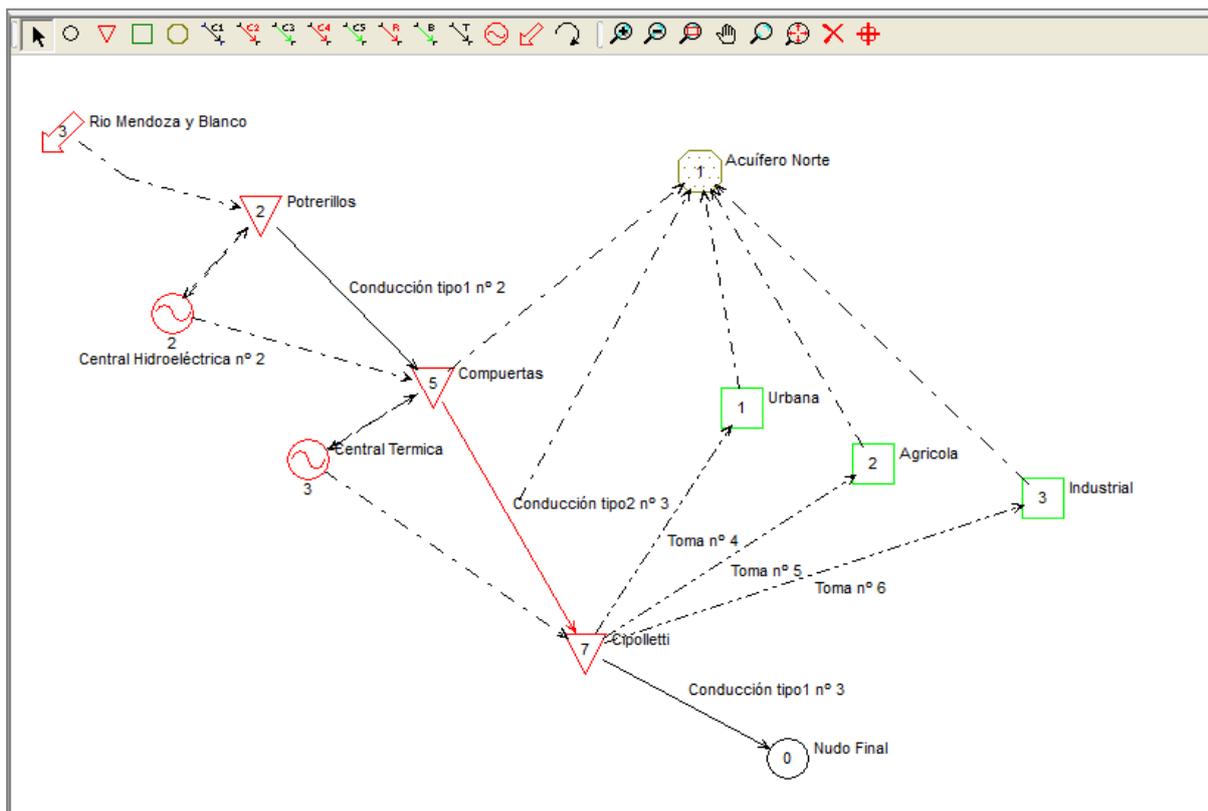


Figura 20: Simplificación del modelo de la cuenca del río Mendoza, tomando como punto de cierre el embalse Cipolletti.

Como resultado de la optimización, a partir de la ejecución de OPTIGES, se obtuvo el siguiente gráfico de entregas mensuales para un año medio:

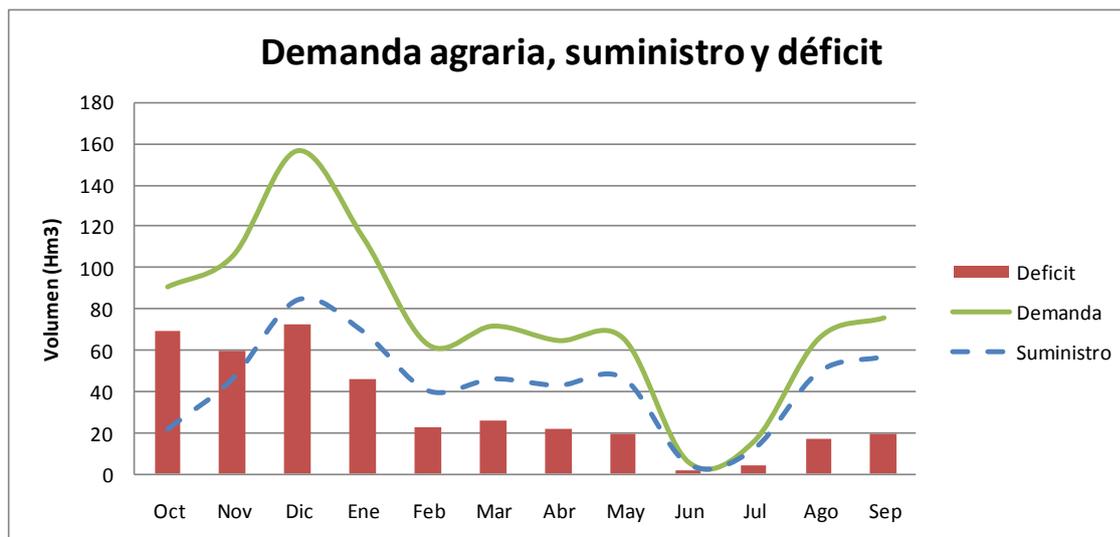


Figura 21: Demanda agraria planteada para un año con aportaciones medias, suministro según la optimización realizada y déficit.

Según las entregas establecidas, se presentan déficits a lo largo del año, por lo que se requiere mejoras en la gestión, mayores dotaciones, opciones de otras fuentes de agua, etc.

Con los datos de suministro para la demanda agraria anual, se establecen relaciones con el caudal medio, la superficie de nieve y el Equivalente Agua Nieve. La correlación entre suministro, caudal y EAN ha resultado muy elevada y significativa, casi del 100%. Con la superficie de nieve es menor la relación, indicando que para planificar las entregas de agua a esta demanda, es necesario basarse en el volumen de agua calculado mediante el Equivalente Agua Nieve y el caudal.

	Caudal Medio	Sup. Nieve	EAN
Correlación de Pearson	0,997**	0,390	0,915**
Significancia	0,000	0,339	0,001

Tabla 9: coeficientes de correlación de Pearson entre el Suministro de agua para demandas agrarias con caudal medio, superficie de nieve y EAN.

Con respecto al Embalse Potrerillos, se representa gráficamente su evolución desde el año 2003, ya que antes de esta fecha no se había completado su capacidad. Se considera su capacidad operativa para la generación de energía hidroeléctrica de 150 Hm3 (Grintal, J.

2011 com. per.). Este gráfico indica que no se está llegando a su capacidad máxima, por lo que sería posible mejorar su función como almacenador de agua para años secos.

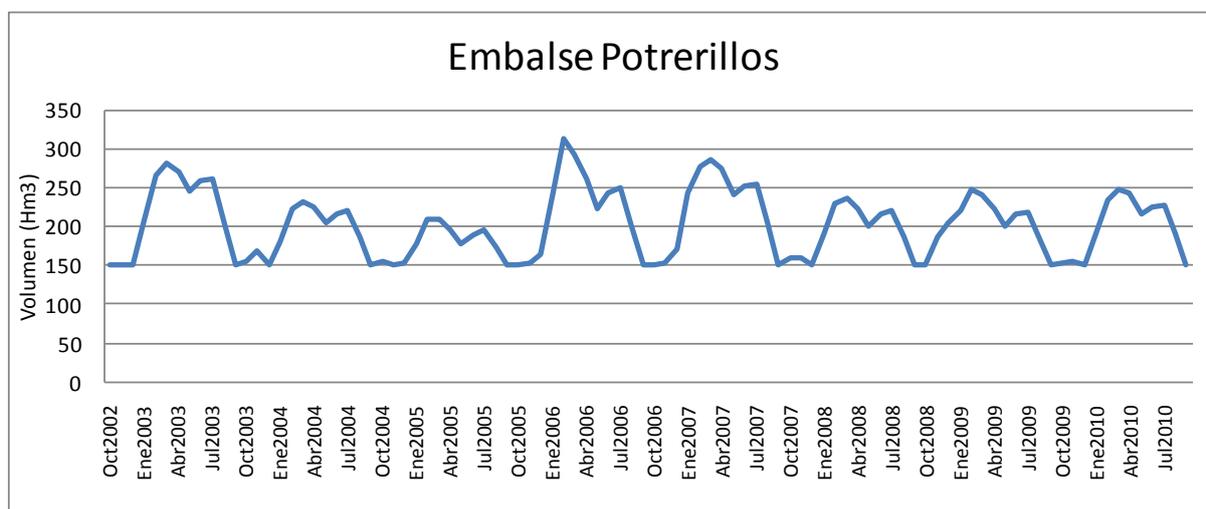


Figura 22: Volumen del embalse Potrerillos según la modelación realizada con OPTIGES expresado en Hm3 mensuales.

En Mendoza se han aplicado otros modelos tanto de simulación como de gestión para mejorar la administración del recurso.

En la cuenca Norte de Mendoza se ha aplicado el Modelo de simulación paramétrica Juancras. Con el mismo, se realiza el balance hídrico en el sistema agua-suelo-vegetación, en el cual el cuerpo físico (volumen de control) al que ingresan y del que egresan los componentes del flujo, es el suelo. Conocidos el bombeo y la percolación, bien pueden balancearse esos términos para establecer si, verticalmente, ese acuífero ha ganado o perdido agua (Hernández, J.).

También se realizó la aplicación del modelo Modflow a la Subcuenca el Carrizal y su extensión a todo el Oasis Norte. Con este modelo se simula el flujo del agua subterránea en tres dimensiones en una cuenca hidrogeológica. Se realizaron simulaciones con diferentes grados de bombeo del acuífero y se mostraron algunos resultados de los cambios en los flujos de salida y variaciones en el almacenamiento (Hernández, J. et al. 2008).

El modelo SIMGRO simula el flujo de agua en la zona saturada, la zona insaturada y el agua libre superficial. Tiene en cuenta los efectos del riego, drenaje y la extracción de agua subterránea así como su impacto sobre la evapotranspiración de los cultivos. También

permite incluir prácticas de riego usadas en la zona. Este modelo se aplicó, se calibró y se implementó en el análisis de escenarios antes de la construcción del embalse Potrerillos. Según el modelo, se incrementarían las pérdidas por infiltración tanto en el lecho del río como en los canales, generando un aumento en los niveles freáticos, incrementos en la salinidad de las zonas de raíces y algunas otras afectaciones (Morábito, J.A. et al. 2007).

En la cuenca del río Tunuyán se ha implementado hace unos años un “Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones” (S.A.T.D.), constituido por una base de datos hidronivometeorológica, un sistema de pronóstico de caudales y un sistema optimización de la gestión del recurso hídrico. Este modelo permite a los operadores del sistema gestionar óptimamente el embalse según las demandas y prioridades, contando con una herramienta más para la gestión y control eficiente de los volúmenes entregados.

También se ha aplicado el modelo HEC-1, diseñado para simular la escorrentía superficial resultante de una tormenta, en una pequeña cuenca ubicada al suroeste del Gran Mendoza. Esta cuenca tiene dos salidas que confluyen en un mismo punto: intersección de los canales Cacique Guaymallén y Liniers, cauce de riego y evacuación pluvial. Se concluye de este trabajo que las capacidades para evacuar los caudales pico son insuficientes. El embalse derivador Carrodilla genera mayor complicación de manejo operativo ya que debe derivar constantemente agua para las tres plantas potabilizadoras del Gran Mendoza, por lo que al momento de una tormenta es mucho más probable que se generen desbordes (Salomón, M. y Fernandez, P. 1998).

GESTION DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN MENDOZA

El análisis de la gestión del agua y del territorio requiere de la aclaración inicial de los conceptos de los cuales depende esta gestión: Política, Legislación, Planificación y Administración. Mauricio Pinto (2006) resume gráficamente la estructura y definiciones de estos conceptos:

La LEGISLACIÓN es la expresión de la normativa en que se plasma la política. Instrumenta a los demás elementos	POLÍTICA: Determinación por parte del poder público, de los objetivos a alcanzar.
	PLANIFICACIÓN: Establece el “camino” para cumplir la política.
	ADMINISTRACIÓN: Brinda la estructura institucional necesaria para desarrollar la planificación. Crea órganos para ejecutar la decisión.
	GESTIÓN: Es la labor administrativa concreta en desarrollo de la planificación que permite alcanzar la política.

Departamento General De Irrigación

El objetivo principal del Departamento General de Irrigación es la preservación, distribución y regulación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, a fin de aprovechar todos sus usos posibles. Es un organismo descentralizado y autárquico que sanciona su propio presupuesto de gastos y cálculo de recursos. Posee autarquía Institucional -no se encuentra subordinado jerárquicamente a ningún otro poder de la administración central- y financiera. Mediante el control del Honorable Tribunal de Cuentas de la provincia, está habilitada a disponer libremente de los recursos que le son propios.

Además el DGI cuenta con Subdelegaciones que corresponden a una división por cuencas de cada uno de los ríos más importantes de la provincia y son: Subdelegación de Aguas del Río Mendoza, Tunuyán Inferior, Tunuyán Superior, Atuel, Diamante y la Zona de Riego del Río Malargüe, Barrancas y Colorado.

(Departamento General de Irrigación. 2010b)

Inspecciones De Cauce

Por otro lado, se encuentran las Inspecciones de Cauces. Son estructuras participativas, que se conforman *ministerio legis* con todos los usuarios de un cauce. En las mismas, los usuarios tienen el derecho de elegir democráticamente -y ser elegidos- el cuadro de autoridades del

cauce, así como la facultad de establecer el presupuesto de gastos y recursos y de aprobar la rendición de cuentas de la correspondiente ejecución presupuestaria, mediante su actuación en las Asambleas de Usuarios. (Díaz Araujo, E. y Bertranou, A. 2004).

Asociaciones De Inspecciones De Cauce

Son comunidades de usuarios de segundo grado que tienen por objeto la planificación zonal de los recursos en forma participativa. Logran eficiencia en su gestión por medio del aprovechamiento de los recursos disponibles, su potenciación y la reformulación de su estructura organizativa bajo principios subsidiarios (Ley Provincial 6.405, 1996) (Pinto, M. 2006).

Un total de 7300 usuarios reciben el servicio de riego administrado por siete inspectores elegidos por los regantes. De las Asociaciones, se destaca la de la 1ª Zona, que además de encargarse del riego, abastece a las plantas potabilizadoras del 40% del agua necesaria para el consumo provincial (Asociación de Inspecciones de Cauce. 1a zona Río Mendoza. 2010)

Ente Provincial Del Agua Y Saneamiento (Epas)

En la década de los '90 comenzó una Política de Privatización por parte del Estado Nacional. De esta se deriva la venta del servicio de agua potable y saneamiento que prestaba la empresa estatal Obras Sanitarias Mendoza a la gestión privada mediante un proceso impulsado por la Ley 6044. Paralelamente se crea un ente regulador de dicho servicio a efectos de ejercer la policía sobre el mismo: el **Ente Provincial del Agua y saneamiento (EPAS)**. Sin embargo, el EPAS no es autoridad hídrica sino del servicio público concesionado (Pinto, M. 2006).

Sus atribuciones no alcanzan al uso del agua fuera de tal servicio público, y por ello, los usos agrícolas que se generan con efluentes tratados luego de tal servicio escapan a la gestión de tal órgano de control, el que tiene limitada su competencia al control de calidad de los vertidos que se realice en el sistema de saneamiento cloacal, y los que posteriormente realice la depuradora al sistema de riego ulterior.

Secretaría De Medio Ambiente

Principal autoridad de aplicación con respecto a temas ambientales de la provincia de Mendoza. Promotora y reguladora de la gestión del ambiente provincial. De ella dependen las Direcciones que regulan tanto las actividades que impactan positiva o negativamente al ambiente, como los usos de los recursos naturales de manera directa. Estas direcciones son:

- Ordenamiento Ambiental y Desarrollo Urbano
- Protección Ambiental
- Recursos Naturales Renovables
- Unidad de Programas Especiales

Dirección De Hidráulica

Esta repartición, dependiente del Ministerio de Infraestructura, Vivienda y Transporte, encara la ejecución de distintos programas de obras hidráulicas y de protección y defensa aluvional de toda la población, especialmente de aquellos barrios ubicados en el piedemonte mendocino.

Municipios

La gestión territorial en Mendoza se inicia en las Municipalidades con las ordenanzas de usos del suelo y zonificación. Actualmente, los municipios tienen la obligación de elaborar y hacer cumplir el Plan de Ordenamiento Territorial Municipal con el fin de viabilizar y ejecutar un modelo territorial municipal deseado, en el marco de los lineamientos previstos en el Plan de Ordenamiento Territorial Provincial.

Por otro lado, los municipios tienen capacidad de realizar convenios con el resto de las instituciones y mejorar los servicios relacionados con el recurso hídrico, por ejemplo agua potable y saneamiento.

La **Secretaría de Medio Ambiente** y los **Municipios** son Autoridad de Aplicación con respecto al Ordenamiento Territorial y deben definir los objetivos esenciales en el ámbito de su competencia, perfeccionar la articulación territorial dentro de la Provincia impulsando y fomentando la coordinación entre el Estado Provincial y los municipios en el trazado de las políticas de desarrollo territorial, garantizando la participación de los ciudadanos y de las

organizaciones intermedias mediante la información, la preservación del derecho de iniciativa y propiciando la solución concertada de diferencias y conflictos.

Para el cumplimiento de estas funciones se establece la siguiente organización:

- 1) Consejo Provincial de Ordenamiento Territorial (CPOT);
- 2) Agencia Provincial de Ordenamiento Territorial (APOT).

Agua Y Saneamiento Mendoza Sociedad Anónima Con Participación Estatal Mayoritaria (Aysam -S.A.P.E.M.) - Aguas Mendocinas

Esta institución se encarga del servicio de provisión de agua potable y saneamiento (desagües cloacales e industriales). Hasta el año 2010, esta tarea era realizada por la empresa privada Obras Sanitarias Mendoza Sociedad Anónima (OSM S.A.), a quien se le habían concedido en 1993 estos servicios.

Agencia De Cambio Climático

Es un organismo creado por la Secretaría de Medio Ambiente que se dedica a la investigación y a desarrollar proyectos concretos de energías limpias, como eólica y solar, la producción de energía hidroeléctrica con microturbinas, generación de biocombustibles, prevención aluvional y creación de un programa de meteorología.

Dirección De Recursos Naturales Renovables

Objetivo: Preservar, conservar y desarrollar el arbolado público; preservar y aprovechar sustentablemente la flora y fauna nativa y promover el uso racional de los recursos naturales renovables.

Además de los organismos que se dedican exclusivamente a la gestión, las instituciones de investigación y académicas, cumplen un rol fundamental en el ordenamiento territorial y gestión del agua. Además de participar en los Consejos y Agencias ya mencionados, la información generada por éstas es fundamental para el logro de los objetivos propuestos por el Estado Provincial. A continuación se describen algunas de las figuras más destacadas con incidencia en los aspectos del territorio y los recursos hídricos.

Instituto Nacional Del Agua (Ina)

El objetivo principal de este organismo es realizar estudios e investigaciones de los recursos hídricos en la Región Andina de Argentina. Específicamente tales estudios están referidos a la hidrología superficial y subterránea y a la utilización del recurso hídrico para la irrigación de tierras agrícolas (Instituto Nacional del Agua. 2011).

Centro De Economía, Legislación Y Administración Del Agua (Cela)

Este Centro, con sede en la ciudad de Mendoza, tiene como objetivo inducir y facilitar la innovación institucional en el manejo de los recursos hídricos, de cuencas o de sistemas ambientales, para alcanzar un estado de desarrollo sustentable.

Acciones principales del CELA son:

1. Realizar estudios e investigaciones en materia de economía, legislación y administración a fin de promover el desarrollo integral, armónico y sustentable de los recursos hídricos.

Instituto Argentino De Nivología, Glaciología Y Ciencias Ambientales (Ianigla)

La actividad del IANIGLA integra la investigación científica, la docencia superior y la transferencia de conocimientos y servicios en distintos aspectos de las ciencias ambientales.

El objetivo general de las investigaciones es encontrar información que permita reconstruir la historia geológica y ambiental de la Cordillera Los Andes, entender el funcionamiento de su sistema climático y sus áreas de influencia, evaluar el estado actual de los recursos naturales y proveer pautas para el manejo sustentable de los mismos. Desde la Puna en Jujuy, a través de los algarrobales del Monte y las selvas de las Yungas, los intrincados valles de los Andes Centrales, la cima del Aconcagua, los lagos y glaciares patagónicos, hasta los bosques de Tierra del Fuego se extienden los estudios de este Instituto.

(Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2011)

Instituto Argentino De Investigación De Zonas Áridas (Iadiza)

Las líneas de investigación en desarrollo están orientadas a identificar, conocer y mejorar los ecosistemas alterados del secano árido y lograr el uso sostenido de sus recursos naturales.

En el desarrollo de las actividades se busca alcanzar otros objetivos como Conservar los recursos naturales renovables a través de un uso orientado al desarrollo sustentable, despertando la conciencia social, Considerar del sistema desierto-oasis como una unidad funcional, Uso múltiple de los recursos, Mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores, etc.

(Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas. 2011)

Subsecretaría De Recursos Hídricos –Secretaría De Obras Públicas, Ministerio De Planificación Federal, Inversión Pública Y Servicios.

Los objetivos de esta institución son, entre otros:

1. Asistir a la Secretaría de Obras Públicas en la elaboración y ejecución de la política hídrica nacional y proponer el marco regulatorio relativo al manejo de los recursos hídricos.
2. Elaborar y ejecutar programas y acciones vinculadas a la gestión de recursos hídricos internacionales compartidos, sus cuencas, cursos de agua sucesivos y contiguos y regiones hídricas interprovinciales y cuerpos de agua en general, representando al ESTADO NACIONAL.
3. Evaluar y/o ejecutar los proyectos de las obras de emergencia solicitadas por las Provincias, a financiarse con fondos provenientes de la tasa de infraestructura hídrica.

(Subsecretaría de Recursos Hídricos.)

Evarsa

Es la empresa que tiene a su cargo en la actualidad la operación y mantenimiento de la Red Hidrometeorológica Nacional, realizando las tareas de mediciones hidrométricas y obteniendo y calculando los datos que componen esta edición. En el río Mendoza realiza mediciones en la estación de aforo de Guido junto con mediciones meteorológicas.

PROBLEMAS EN LA GESTIÓN DEL AGUA Y CONFLICTOS INTER-INSTITUCIONALES

Existe una amplia problemática con respecto a la gestión del agua y el territorio en la provincia de Mendoza. Dentro de los principales motivos se encuentra la falta de integración entre las instituciones lo que genera vacíos de gestión, escaso compromiso de la sociedad propiciar el crecimiento equitativo y responsable, falta de visión a largo plazo que permita a los proyectos trascender a más de un gobierno, falta de actualización de la legislación existente (Fernandez, L. 2010). También es notable la generación de conflictos a partir del manejo desarticulado del agua superficial y subterránea, la desigual distribución de la población en el territorio, el predominio del uso del agua con fines agrícolas en desmedro de otros usos estratégicos, etc. (Montaña, E. et al. 2010). Los recursos asignados para gestionar el medio ambiente en general y en particular el recurso agua y suelo, suelen ser bajos lo que genera en las instituciones la obligación de manejarse con presupuestos limitados.

Sin embargo, una de las mayores incertidumbres es la falta de integración con las políticas territoriales y sectoriales, de las que depende la materialización de los objetivos de las nuevas políticas de agua (Fernandez, L. 2010).

Tratándose de una zona con las condiciones de aridez presentadas, el punto de apoyo básico para el desarrollo equilibrado es una correcta administración y gestión del agua. Sin embargo, se presentan una serie de conflictos o puntos débiles que sería importante pulir con el fin de mejorar, no solo la calidad de vida de las personas, sino también la capacidad de respuesta ante los cambios que están ocurriendo a nivel climático, frente a los cuales es necesario accionar de manera casi inmediata. Se detallan a continuación algunas situaciones conflictivas dentro del marco institucional provincial:

- La información se encuentra dispersa, las instituciones son modificadas y muchas veces quedan vacíos y pérdidas de datos. Por ejemplo, una de las actividades que realiza la Subsecretaría de Recursos Hídricos (de incumbencia nacional) es tomar los datos de caudal en gran parte de los ríos del territorio argentino. Ésta envía los datos de manera continua a los entes provinciales que se encargan de la gestión de estos ríos –en este caso el Departamento General de Irrigación-. En ocasiones la entrega de datos no es inmediata o completa, lo que puede generar atrasos y desmejoras en la calidad de la gestión.

- La información que hay está difícilmente disponible para público en general, por más que las instituciones que la generan sean públicas. Son frecuentes las complicaciones y demoras para acceder a los datos generales de las cuencas, datos climáticos, etc. En algunos casos se limitan los trabajos de investigación, de gestión, de desarrollo, etc. a la buena voluntad de los “almacenadores” de esta información a hacer entrega de ella.
- Las instituciones que se dedican a la investigación tienen poco vínculo con las que gestionan. Los datos que se generan en los centros de investigación se usan poco para gestionar y viceversa, muchas veces se hacen trabajos repetidos por falta de comunicación entre organismos. Actualmente se realizan algunos convenios para proyectos específicos y la tendencia indica un mayor vínculo entre las instituciones de gestión (DGI, Dirección de Recursos Naturales Renovables, AYSAM, etc.) y de investigación (INA, IADIZA, IANIGLA).
- Existe superposición de acciones sobre los cauces ya que en ocasiones estos son utilizados como canales de riego y colectores aluvionales. Surgen conflictos entre la Dirección de Hidráulica (a quien correspondería la gestión del cauce como colector aluvial) y entre el DGI (que tendría bajo su supervisión el canal por tratarse de un cauce de riego). Por ejemplo el Canal Cacique Guaymallén es una de las dos principales conducciones del sistema de riego de margen izquierda del Río Mendoza, con más de 30.000 ha cultivadas bajo riego y es por sobre todo el principal colector pluvioaluvional del Gran Mendoza, que actualmente está superado en su capacidad. Nuevamente se ponen de manifiesto los vacíos de información ya que No se tiene un estudio certero de los eventos de crecidas. Hay datos históricos de tormenta no interpretados o no estudiados. No existen buenas modelaciones hidrológicas de crecidas y los estudios realizados son sectoriales, sin abarcar la totalidad del territorio en riesgo ni tener delimitadas correctamente zonas de riesgo o vulnerabilidad alta. La ausencia de una integración y estudios de los fenómenos climáticos dificulta la elaboración de proyectos de obra y de sistemas de alarma y gestión del sistema de distribución.
- La baja eficiencia en los sistemas de conducción hace que gran cantidad de agua se pierda (por infiltración o contaminación en los mismos cauces) tanto para riego como

para abastecer las demandas urbanas. Las pérdidas se inician en los canales matrices (primarios), sin embargo donde mayor diferencias por infiltración hay es en los canales menores e incluso tuberías administradas por las instituciones que se encargan de la provisión de la población. Incluso en el año 2010 la provincia se declaró en estado de emergencia hídrica causada tanto por la falta de agua en los ríos de Mendoza como por la mala administración de la misma. Teóricamente el Departamento General de Irrigación entregó a Obras Sanitarias Mendoza, en ese momento encargada de la distribución de agua potable, la misma cantidad requerida años anteriores pero en algunos municipios hubo cortes de suministro prolongados y reiteradas veces.

- A nivel estructural, se encuentra la problemática referida a la antigüedad de los sistemas de riego, no solo con respecto a la forma de administrar el agua sobre los cultivos, sino la estructura de canales sigue un modelo iniciado en la década del '20. Actualmente las acciones que se realizan son principalmente de "revestimiento e impermeabilización" pero no de modernización del sistema en general.
- Hay poca inversión en nuevos sistemas de riego, por ejemplo por presión. Los costos de energía son muy elevados, al haber grandes aumentos de la población en la provincia, la demanda energética aumenta, se da poca prioridad a los sistemas de riego presurizados.
- Con respecto a la planificación para la gestión del agua, se hace anualmente. No hay una planificación más larga, nunca se hace por más de 1 año. A veces se comienza un nuevo ciclo ya sin agua.
- Dentro de la problemática que afecta a la provincia de Mendoza, uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es la escasa gestión en las zonas del secano. La inversión en proyectos que abarcan temáticas de los oasis de riego es cada vez mayor y la preocupación, formación de recursos humanos, etc. Sin embargo, en las tierras no irrigadas la degradación cada vez es mayor, los humedales (por ejemplo Bañados de Guanacache) siguen sin tener una respuesta ante su crítica situación, miles de familias siguen viviendo sin acceso a fuentes de agua potable y segura. En la actualidad, una problemática tanto ecológica como socio-económica sigue sin

resolverse, pocas instituciones centran sus estudios, gestión y presupuesto en estas áreas que ven cada vez más profunda la brecha con respecto a los oasis. Cuando se generan excedentes de agua que no puede ser retenida en los embalses, se vierte directamente al cauce del río. La infiltración es rápida por la aridez característica de la zona, sumado a que la escasa cantidad de limos y arcillas que, antes de la construcción del embalse Potrerillos, saturaban los poros del suelo impidiendo o disminuyendo la infiltración. Esto implica que pocas veces el agua llegue a las zonas de secano (Dean, H. 2011 com. per.).

DIFERENCIAS Y SIMILITUDES CON LA GESTIÓN HÍDRICA EN ALMERÍA, ESPAÑA

Almería se localiza en el sureste de la Península Ibérica, entre las latitudes 37°52' y 36°40'N y las longitudes 1°37' y 3°07'O en el extremo oriental de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Esta provincia se encuentra en una peculiar situación geográfica que la condiciona en todos sus aspectos y toma parte en la definición de su futuro. Es el punto de unión o la divisoria entre distintas regiones de gran personalidad: en España divide Andalucía Occidental y Levante, entre Europa y el Norte de África es frontera entre las culturas cristiana y musulmana y se posiciona como punto de contacto e intercambio entre ambos continentes. También distingue entre el interior serrano, asiento de una agricultura extensiva de olivo, almendro y cereal y la costa árida, hoy la parte más dinámica de la geografía económica provincial con cultivos intensivos. Es también el punto de encuentro entre dos grandes zonas: agrícolas y turísticas, lo que ha actuado como incentivo para que otras zonas más afortunadas drenaran los recursos naturales y humanos de Almería (Peña Fernández, J.L. 1999).

Su posición geográfica, la hace la zona más árida de España y Europa y la de menor pluviosidad de toda la península. Exceptuando las zonas más montañosas, dichas precipitaciones están comprendidas entre los 175 y los 300 milímetros, con clara tendencia a disminuir hacia la costa. Este volumen de precipitaciones tan escaso es consecuencia de la circulación atmosférica general del mediterráneo. Las temperaturas medias anuales más comunes van desde los 18°C de la zona costera a los 16°C del interior.

Las cualidades climáticas derivadas de la combinación de temperatura, humedad y radiación resultan idóneas para el aprovechamiento agrícola directo y sin apenas modificaciones.

(Junta de Andalucía. 2000, Diputación de Almería. 2009)

El modelo productivo almeriense está basado actualmente en la agricultura intensiva, el turismo y la industria asociada a estos sectores estratégicos.

En los municipios irrigados de la costa de Almería el 79,7% de las fincas utilizan agua para riego de origen subterráneo; le siguen en importancia las aguas superficiales con el 18,5% de las fincas, a continuación figuran las aguas residuales depuradas con el 7,2% de las fincas y por último el agua desalada con el 2% de las fincas. La desalación supone una garantía de suministro de 91,1 Hm³ anuales ya disponibles para todo el litoral mediterráneo. Almería es una de las mayores fuentes, teniendo una capacidad aproximada de 70 Hm³/año en sus 3 plantas desaladoras.

En Dalías, del agua que se utiliza, aproximadamente el 75% es de origen superficial. En El Ejido el porcentaje de agua superficial utilizada es bastante elevado también (figura 23).

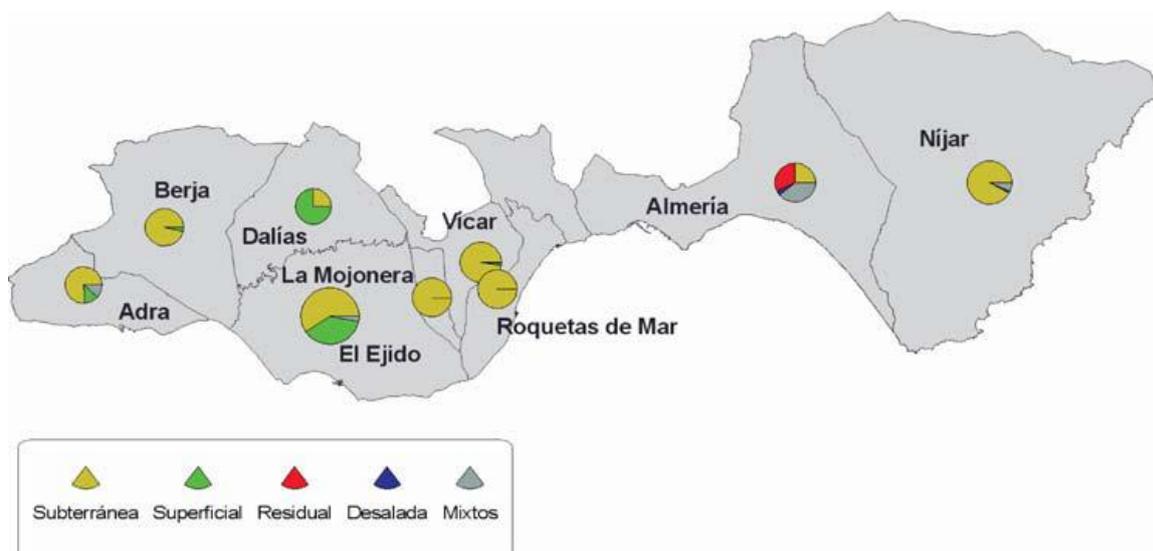


Figura 23: origen de agua en la zona irrigada de la provincia de Almería (Diputación de Almería. 2009)

Con respecto a la gestión de la distribución del agua de riego, la comunidad de regantes es la forma de gestión de la distribución del agua de riego predominante, con un 79,5% de las fincas. El 20,5% de las fincas riegan de pozo propiedad del titular de la explotación. También existen casos mixtos de gestión de la distribución del agua de riego: el 5,6% de las fincas cuyo abastecimiento está gestionado por comunidades de regantes, también utilizan o tienen suministro de agua de pozos privados (Diputación de Almería. 2009, Céspedes López, A.J. et al. 2009)

Esta situación muestra importantes similitudes con las características del Norte de Mendoza, ya que las condiciones climáticas hacen que la gestión del agua se torne prioritaria para el desarrollo de ambas provincias, pudiendo significar un punto de partida para algunas acciones futuras:

- La actividad agrícola en el Campo Dalías ha convertido una zona seca en una pujante área económica, pagando el precio del deterioro en la calidad del agua. Esta situación es similar a la que ocurre en la cuenca del Río Mendoza donde el área cultivada corresponde a aproximadamente el 25% del total nacional, pero el agua freática presenta elevada salinidad causada por el lavado de los suelos.
- En ambas zonas, la necesidad de satisfacer la creciente demanda de agua hace preciso tener en cuenta la reutilización de las aguas residuales previamente depuradas, así como la investigación de otras fuentes alternativas de recursos (Pulido Bosh, A. 1997).
- Entre los procesos de cambio, se destacan el aumento general de las superficies de cultivo -transformación de secano a regadío, roturación de nuevas tierras-, aumento del tamaño de las explotaciones agrícolas (disminución de la empresa familiar agraria, Crecimiento de empresas medianas con mano de obra asalariada, aparición de grandes empresas agrarias con mano de obra asalariada)
- En el marco del Libro Blanco del Agua, España pretende superar su concepto tradicional de "*Política hidráulica*" que pretendía la máxima extensificación del regadío, y casi un único instrumento: **ejecución de infraestructuras hidráulicas**, donde los aspectos de gestión jugaban un papel muy poco relevante. Hoy se pretende lograr una "*Política del agua*": conjunto de acciones de las administraciones

públicas que afectan al desarrollo, asignación, preservación y gestión de los recursos hídricos (Lozano Ruiz-Valdepeñas, L. 2001). Mendoza, por medio de los Planes Directores de sus ríos, pretende lograr mejoras estructurales y no estructurales de la gestión del recurso.

La gran diferencia recae en que las acciones que realiza el Departamento General de Irrigación se basan casi exclusivamente en las tierras irrigadas, sin abarcar ni considerar las tierras de secano que ocupan el 95% del territorio provincial. No existe una institución que gestione las cuencas tanto en su oasis como en el desierto, quedando desprovistas de atención, grandes superficies.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

Las aportaciones de los ríos en la provincia de Mendoza, proveniente del derretimiento de hielo y nieve de la cordillera de Los Andes, son la fuente de vida tanto de los ecosistemas naturales, como de las poblaciones y sus actividades, ya que la lluvia es escasa e irregular. Por ende, cualquier estudio que ayude al entendimiento del origen y la dinámica de este recurso vital puede contribuir con la mejora en la gestión del mismo.

La observación sistemática (multi-anual) de la superficie terrestre es una de las principales ventajas de la teledetección, sumado a la posibilidad de analizar zonas de difícil acceso, como es el caso del presente estudio.

La relación entre la superficie de nieve estimada a partir de imágenes Landsat y los caudales del río Mendoza es alta, aunque requiera para una buena predicción del uso de datos de Equivalente Agua Nieve u otras mediciones. Sin embargo, pocos estudios han podido encontrar esta relación utilizando imágenes satelitales, lo que puede llevar a entender que, solamente la superficie no es buen estimador del volumen de nieve que después se convertirá en agua del río. Se plantea la necesidad de ampliar y mejorar la metodología utilizada, incluyendo estudios sobre el espesor de nieve que puedan transformarse en volumen de agua y otros datos como temperatura o radiación solar. En algunos casos se puede subestimar o sobreestimar la cantidad de nieve. Por ejemplo, si hay una tormenta el día antes de tomada la imagen pero la cantidad de precipitación es leve se derretirá o sublimará rápidamente y no será un buen indicador del caudal. Por este motivo es necesario contar con mayor cantidad de imágenes, registros de las tormentas y todos los datos posibles provenientes de las estaciones meteorológicas.

Es necesario tener en cuenta la distribución de la alimentación nival a lo largo del año. La compensación hidrológica glacio-nival tiende a darse a fines del verano, desfasada del comienzo de derretimiento y de los requerimientos de riego agrícola. En años secos este desfase es aún mayor, por lo que es necesario diseñar estrategias de gestión para minimizar el impacto de la sequía ya que existiendo un balance negativo será imposible cubrir toda la demanda. También los años excesivamente húmedos requieren de especial atención ya que el agua que no se utiliza del potreros en un año hidrológico, tampoco puede ser reservada para el siguiente ya que éste recibe las nuevas aportaciones.

Según los resultados obtenidos por OPTIGES, en un año medio existirían déficits para las demandas agrícolas, por lo que es necesario aplicar mejoras en la gestión del recurso o nuevas fuentes de agua. Se establece una relación muy estrecha entre el agua entregada cada año para riego con las aportaciones provenientes del río y de la nieve, medida ésta como Equivalente Agua Nieve. La superficie névea, explicaría un 40% del agua suministrada para demandas agrícolas, por lo que es necesario tener en cuenta otras variables que presenten mayor relación, como es el caso del EAN referido anteriormente.

Las instituciones relacionadas con los recursos hídricos en la provincia de Mendoza, establecen cada vez más su compromiso en el estudio y la gestión de los mismos. Sin embargo, la articulación entre estas instituciones es escasa, lo que trae consecuencias en el manejo de la información hidrológica. Atendiendo a esta situación, se plantea la necesidad de generar nuevos convenios de trabajo y mejorar los existentes, así se podrán incrementar los proyectos en conjunto, facilitar el uso de la información tanto a gestores como investigadores, proponer mejoras en conjunto de la legislación y planificación del manejo del recurso hídrico.

La política hídrica debe apuntar a satisfacer el volumen mínimo requerido por los usos consuntivos y debe tender a independizarse del derrame mínimo garantizado por la componente interanual. Frente a los años secos, debe evaluarse la capacidad del dique Potrerillos para garantizar la restitución de un aporte adicional durante un segundo año seco.

Con respecto a la legislación hídrica, se evidencia una necesidad de establecer nuevas normas que afecten a la demanda agrícola, ya que con respecto a los usos urbanos, se están incrementando los controles de derroche del recurso. Debería haber restricciones que inciten al ahorro y mejor manejo del agua. Por ejemplo, actualmente en el Término Municipal de El Ejido, Almería, se solicita un sistema en los invernaderos, de captación y almacenamiento de agua de lluvia. También se plantea la necesidad de acelerar la implementación de acciones interdisciplinarias e intergeneracionales, como el Plan Estratégico de Desarrollo de Mendoza, que permitan un crecimiento de la provincia, no solo contando con un ordenamiento territorial acorde a sus características intrínsecas, sino teniendo en cuenta los incrementos de las demandas y el proceso de adaptación al que debe

atenerse la comunidad habiendo estudiado las restricciones hídricas y los procesos actuales de cambio climático.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

En la provincia de Mendoza existe déficit hídrico la mayor parte del año, por lo que se torna indispensable un correcto manejo de los recursos hídricos existentes. Un estudio más exhaustivo del manejo del recurso hídrico y aplicación de estrategias adaptadas de otras zonas áridas del planeta permitiría mejoras en la gestión y desarrollo en la provincia de Mendoza, llegando a ser posible un nuevo crecimiento económico-social de las zonas más abandonadas: el secano.

A lo largo del presente trabajo, se han dejado algunos temas planteados para resolver en investigaciones más complejas y que requieren de mayor tiempo de elaboración. Entre otros, se plantean posibles trabajos a modo de continuación de esta tesina:

- Estudio de la superficie de nieve en la cordillera (cuenca Norte de Mendoza) que permita obtener datos a nivel semanal o mensual, con lo que se podrían hacer mejores comparaciones temporales, multi-anales y multi-estacionales, con alguna herramienta que provea datos de mejor resolución temporal, por ejemplo imágenes MODIS.
- Sería importante conocer el porcentaje de hielo y nieve que se derrite cada año, para lo cual sería necesario realizar una comparación entre imágenes de verano (que muestran claramente la superficie de glaciares ya que son hielos permanentes) con las imágenes de invierno que muestran la cantidad de nieve caída. La diferencia entre ambas es la nieve derretida durante los meses de mayores temperaturas.
- Se propone también hacer un análisis del caudal base del río, relacionarlo con las variaciones de los glaciares, con la precipitación nival y con el caudal generado por el derretimiento de ésta. Es importante poder discriminar el caudal que se genera de manera permanente por la dinámica de los glaciares y el que viene dado por el derretimiento de la nieve ocurrida en los meses de invierno ya que esto determinará el agua disponible para cubrir las demandas.
- Un tratamiento en detalle de las correlaciones realizadas también puede ser buen indicador del funcionamiento de la cuenca. Se propone realizar un análisis más

detallado, con una escala que utilice series de datos a nivel mensual, semanal e incluso diario. Es decir, desglosar el término de caudal para mejorar las correlaciones con superficie de nieve.

- Será importante discriminar los periodos según fenómenos de El Niño y La Niña y dar un tratamiento especial a estos años ya que tienen particularidades que los diferencian del resto. Ya que estos fenómenos puede ser pronosticados, en la gestión se podría utilizar diferentes estadísticos de predicción según en qué estado climático se encuentre.
- Mejorar predicción de caudales a partir del derretimiento de nieve. Esto se puede realizar aplicando algún modelo de simulación de este proceso o generando una ecuación que relacione ambos parámetros. También puede ser relevante investigar acerca de metodologías que den a conocer, tanto la superficie como el espesor de la nieve, con lo que sería más probable estimar la cantidad de agua producida a partir del derretimiento de la misma. Se torna indispensable agregar datos de temperatura a diferentes escalas para comprender el derretimiento de nieve. También pueden ser importantes la radiación solar.
- Se puede evaluar y calibrar la metodología utilizada comparando la superficie de nieve adquirida mediante imágenes y los valores tomados en las estaciones de medición de Equivalente Agua Nieve del Departamento General de Irrigación. Sería interesante aplicar un modelo o ecuación que permita evaluar el EAN en las celdas de las imágenes donde están las estaciones y después extrapolar el resultado al resto de la imagen.
- Con respecto a la simulación y optimización de la cuenca del río Mendoza, sería importante trabajar con la información histórica para generar un escenario de aportaciones de recursos, que permita perfeccionar un modelo de análisis de la gestión fiable. Con este modelo se podrá estudiar, en primer lugar, la efectividad de medidas de mejora del sistema a largo plazo. En segundo lugar estudiar las diferentes estrategias de predicción (obtenidas por los métodos propuestos arriba) y plantear las posibles estrategias de gestión para paliar los efectos negativos de las sequías.

ANEXO 1: Glaciares



Glaciares: definición y clasificación

Argentina es un país que cuenta con miles de kilómetros cuadrados de glaciares y permafrost de montaña en su territorio. Según cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 km² cubiertos por glaciares, con un 75% del área total ubicada en Chile. Argentina ocupa el segundo lugar con cerca del 15% del área total de glaciares sudamericanos. Por este motivo es muy importante el estudio de estas geoformas ya que son reservas hídricas en estado sólido de gran importancia socio-económica, geopolítica, ambiental y científico-académica. Si bien en las últimas décadas se ha avanzado significativamente en el estudio de estos cuerpos de hielo, aún hoy sólo algunos sitios han sido analizados en detalle y en la actualidad no existe información sobre la ubicación, área total, significancia hidrológica o la historia reciente de los glaciares y geoformas periglaciales (también llamadas crioformas) a lo largo de vastas porciones de la Cordillera de los Andes.

Estos conocimientos son fundamentales para establecer medidas de manejo y adaptación frente a eventos de escases hídrica en las distintas regiones y para las diferentes actividades socioeconómicas que dependen de los recursos hídricos en las regiones áridas del oeste argentino.

En el territorio de la República Argentina se pueden agrupar a **las reservas hídricas estratégicas** en estado sólido en dos grandes grupos: glaciares (descubiertos y cubiertos) y glaciares de escombros. Estos grandes grupos contienen, tanto en volumen como en superficie cubierta, las mayores reservas hídricas en estado sólido de la cordillera. Además, debido a sus características físicas, pueden ser identificados y delimitados fácilmente.

A continuación se definen los conceptos más importantes que se utilizarán a lo largo del trabajo:

Glaciar: Una masa de hielo terrestre que fluye hacia abajo por gravedad (a través de la deformación interna y / o deslizamiento en la base) y se ve limitada por la tensión interna y la fricción en la base y los lados. Un glaciar se mantiene por la acumulación de nieve en altitudes elevadas, equilibrado por la fusión en altitudes bajas o la descarga en el mar (Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011).

Glaciar (descubierto y cubierto): cuerpo de hielo permanente generado sobre suelo a partir de la recristalización de la nieve y/o hielo debido a la compactación de su propio peso,

sin o con cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ogivas, morenas medias) o no y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea).

Glaciar de escombros: *cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea).*

El ambiente periglacial es un ambiente frío y criogénico pero no glaciario, por arriba del límite superior del bosque si éste existe.

En este ambiente existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo –lo que favorece su desplazamiento pendiente abajo– son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica. Este movimiento genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos, crestas laterales o “Haldenshutt”) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales.

(Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010a)

Glaciares y evidencias de cambio climático

Los estudios realizados en los glaciares de los Andes de Argentina indican que estos han sufrido un retroceso durante el último siglo, en coincidencia con análisis de otras regiones montañosas del planeta. La pérdida de volumen de los glaciares es muy marcada también en la Península Antártica y ha sido documentada en numerosas ocasiones por científicos del Instituto Antártico Argentino. Los glaciares de todo el mundo han retrocedido desde el final de la Pequeña Era de Hielo en 1850, aproximadamente. Sin embargo, estas retracciones se han incrementado en las últimas décadas comprometiendo seriamente estos grandes reservorios de agua dulce. La retracción se encuentra asociada en el norte de la Patagonia con tendencias negativas en las precipitaciones y el escurrimiento de los ríos cordilleranos. Las variaciones glaciarias han sido objeto de estudio de muchos investigadores alrededor del mundo pretendiendo, además, comprender el clima y cambio climático

(Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010a, Espizúa, L.E. y Maldonado, G.I. 2005, Masiokas, M.H. et al. 2009, Villalba, R. 2008).

Entre los trabajos desarrollados, se encuentra el registro fotográfico que emplea fotografías antiguas recopiladas de diversas fuentes y la comparación con otras actuales tomadas desde zonas y perspectivas similares (Masiokas, M.H. et al. 2008). Esta información se complementa con estudios dendro-geomorfológicos similares a los aplicados por Villalba, R. (1990) para datar los depósitos morénicos de los glaciares del Monte Tronador (Patagonia Argentina). Brevemente, los pasos a seguir son: 1) mapeo detallado de las geoformas glaciales, 2) estimación de la edad mínima de estas geoformas a través de la datación dendrocronológica de los árboles que crecen sobre las mismas, 3) datación dendrocronológica de cicatrices en los árboles dejadas por los avances del glaciar sobre el bosque, 4) datación radiocarbono de material fósil sepultado por el glaciar, y 5) establecimiento de relaciones entre la dinámica glacial y el crecimiento de los árboles.

Finalmente, los cambios recientes en los cuerpos de hielo están siendo monitoreados con la ayuda de imágenes satelitales. Los primeros estudios se basan en la comparación de imágenes satelitales Landsat 5 tomadas entre los años 1985 y 1987 con imágenes Landsat 7 de los años 2000 al 2002. Se espera repetir las observaciones satelitales con un intervalo de dos años, de modo de mantener actualizada las fluctuaciones de las masas de hielo a lo largo de la Patagonia (Masiokas, M.H. et al. 2008, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010b, Villalba, R. et al. 2003)

Existen estudios que demuestran que la temperatura media de la Tierra ha aumentado entre 0.6 y 0.7° C desde comienzos del siglo XX. También se han realizado estudios de tendencias futuras presentan los cambios en las temperaturas medias y las precipitaciones de verano (Diciembre a Febrero) e invierno (Junio a Agosto) para el período 2080 - 2099 en comparación al intervalo 1980 – 1999, simulados por un conjunto de 21 modelos empleados por el IPCC para elaborar los escenarios climáticos durante el siglo XXI. Las simulaciones de las variaciones climáticas futuras están basadas en el escenario de emisiones A1B. El escenario A1B considera un mundo que en el futuro experimentará un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanzará su valor máximo hacia mediados de siglo y disminuirá posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. En este escenario no se dependerá demasiado de un único tipo de

fuente de energía (fósil *versus* renovable), y supone que todas las fuentes de suministro de energía y todas las tecnologías experimentarán mejoras durante el siglo XXI (Villalba, R. 2008, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007)

En general, las simulaciones indican un aumento de las temperaturas en la región andina y zonas aledañas (entre 3 y 4°C en verano y entre 1 y 2°C en invierno en comparación al intervalo 1980-1999) lo cual es muy probable que influya, tanto en el sistema ambiental en los patrones económicos de producción, sobre todo en las provincias de Mendoza y San Juan. Estos aumentos en las temperaturas elevarán substancialmente la evapotranspiración regional, alterarán las relaciones entre precipitaciones líquidas y sólidas (nieve) y modificarán la distribución estacional de los derrames de los ríos andinos con un adelantamiento en los picos de escorrentía. Estas simulaciones también indican una probable reducción de las precipitaciones en la zona cordillerana de la cuenca de estudio y áreas cercanas y un aumento en el agua caída en el llano y piedemonte (Figura 1.1, 1.2 y 1.3). Todas estas modificaciones en los patrones climáticos hacen muy importantes los estudios de las reservas actuales y pasadas de agua dulce ya que, además de una reducción en la disponibilidad de recursos hídricos, se sigue presentando de forma ininterrumpida un crecimiento de la población y, por ende, una mayor demanda en la cantidad y calidad del agua.

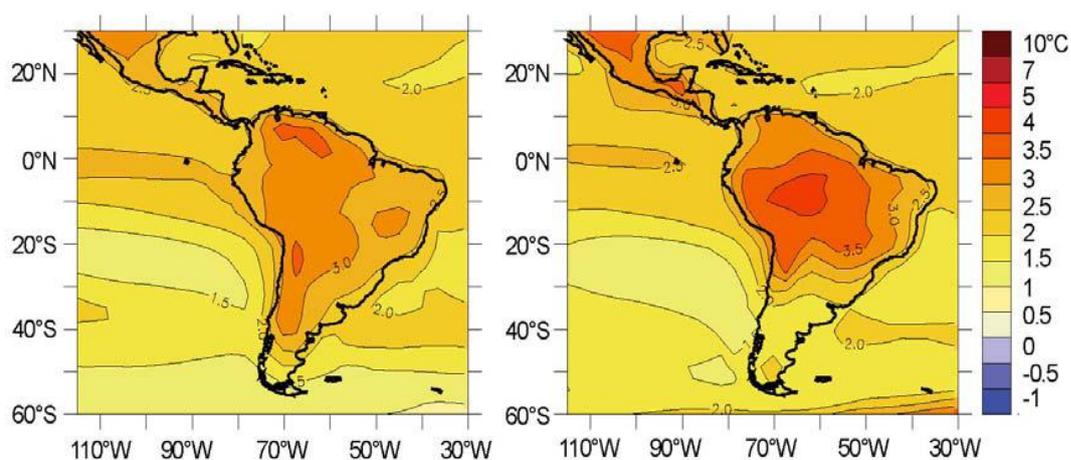


Figura 1.1: Cambios en la temperatura media de superficie (°C) para América del Sur y regiones aledañas en verano (Diciembre a Febrero, izquierda) e invierno (Junio a Agosto, derecha) para el intervalo 2080-2099 en relación a 1980-1999, simulados por un conjunto de 21 modelos empleados por el IPCC en la elaboración de los escenarios climáticos para el siglo XXI (Villalba, R. 2008)

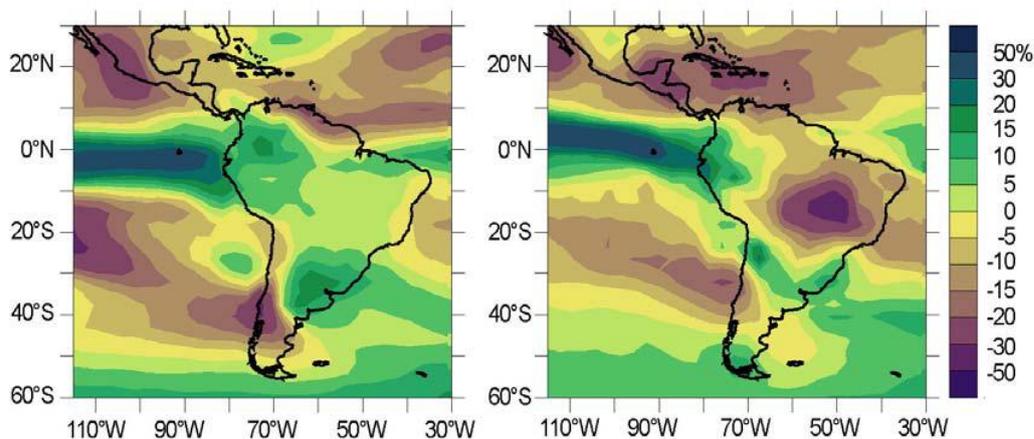


Figura 1.2: Cambios en la precipitación total (en porcentaje) para América del Sur en verano (Diciembre a Febrero, izquierda) e invierno (Junio a Agosto, derecha) para el intervalo 2080-2099 en relación a 1980-1999, simulados por un conjunto de 21 modelos empleados por el IPCC en la elaboración de los escenarios climáticos durante el siglo XXI (Villalba, R. 2008).

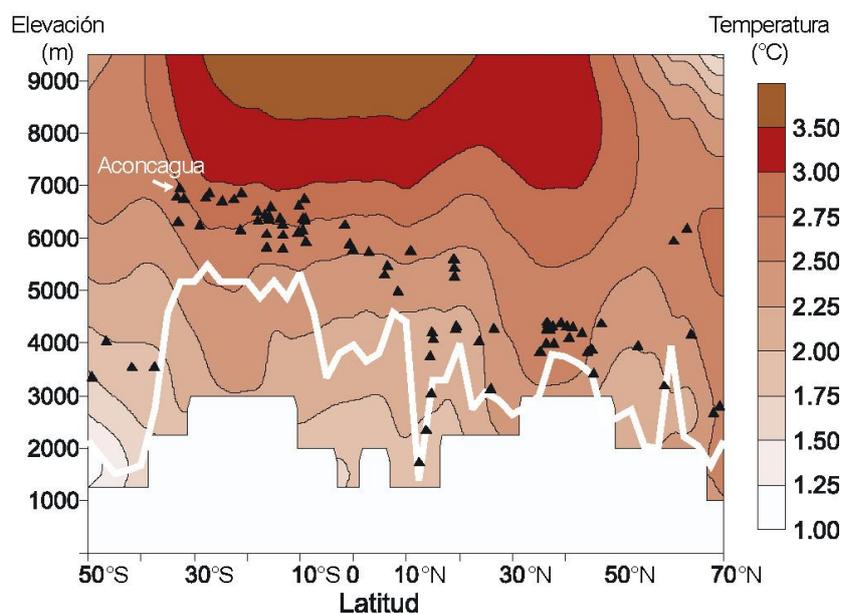


Figura 1.3: Perfil esquemático de las Cordilleras de las Américas desde aproximadamente el sur de la Patagonia (izquierda, 50°S) hasta Alaska (derecha, 70°N). La línea blanca continua representa la altura media de las Cordilleras y los triángulos negros las montañas de mayor altura. El Aconcagua de 6962 m de altura está indicado. Impuesto sobre este perfil, se muestran los cambios de la temperatura media anual que resulta de promediar las simulaciones de 7 modelos de Circulación General de la atmósfera. Estos cambios se producirán como consecuencia del aumento del CO₂ a niveles cercanos al doble del presente (en la actualidad 380 ppm). Nótese que los aumentos de temperatura aumentarán con la altura, comprometiendo el futuro de los glaciares en las Cordilleras de las Américas (Villalba, R. 2008)

Las fluctuaciones detectadas en los glaciares de la cuenca estudiada (figura 1.4), muestran a partir de 1963 un retroceso casi general, que se extiende en la mayoría de los casos hasta el año 1982. A partir de 1985 se observa que gran cantidad de cuerpos de hielo han sufrido avances de importancia en relación a su posición en 1982. Algunos avances presentan características de “surge” (avance extraordinario donde un cuerpo glaciar avanza desde cientos de metros a kilómetros en un corto período de tiempo). A partir de 1992 los glaciares tienden a estabilizarse, aunque en algunos casos se observan pequeñas fluctuaciones, tanto de retrocesos como avances. La detección de estas fluctuaciones menores podría responder a la mayor frecuencia temporal de la información satelital disponible. El análisis temporal de las fluctuaciones de los cuerpos de hielos en los Andes Centrales estaría indicando que los avances registrados en la década del 80 representan pequeños pulsos de avance y retroceso, causados por eventos climáticos repetitivos pero de corta duración, dentro de un retroceso generalizado de mayor escala temporal. Para comprobar o refutar esta hipótesis es necesario continuar con el monitoreo permanente de los glaciares y su relación con los parámetros meteorológicos. Para estos estudios, Llorens (2002) propone el análisis con sensores remotos como una herramienta fundamental (Llorens, R. 2002)

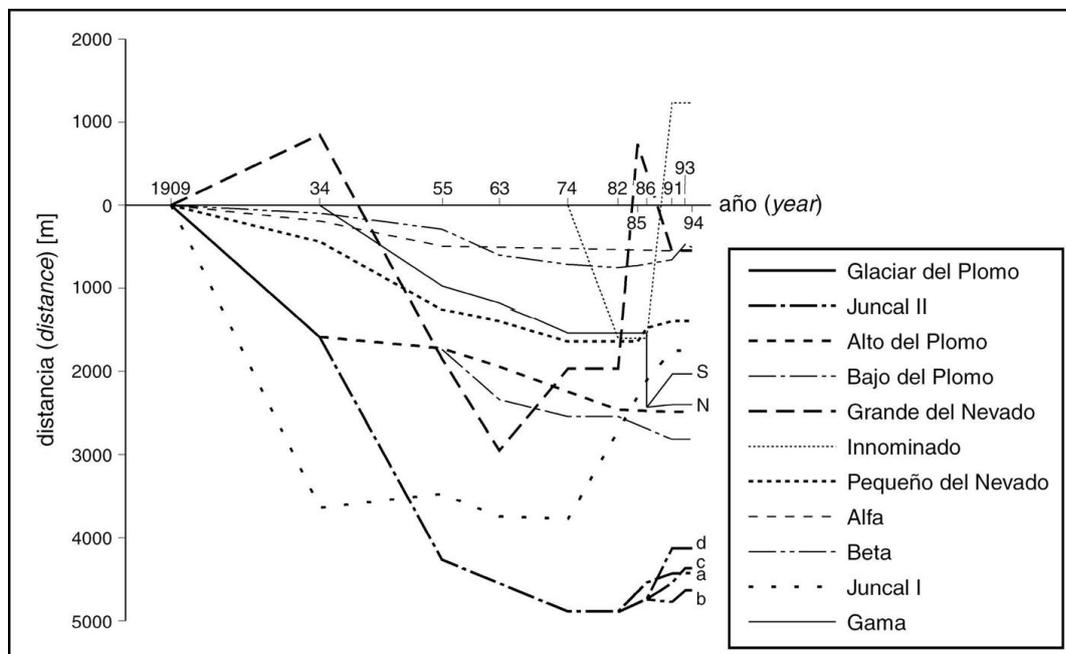


Figura 1.4: Fluctuaciones glaciarias en las nacientes del Río Plomo (Llorens, R. 2002)

Un estudio realizado por Espizua, L.E. y Maldonado, G.I. (2005) indica también que existe una clara tendencia de retracción de los glaciares Las Vacas y Güssfeldt ubicados en las cercanías del Cerro Aconcagua (6959 m.s.n.m.). El frente del Glaciar de las Vacas retrocedió unos 3040 m entre 1896 y 1963, a partir de entonces retrocedió de forma más lenta. Avanzó posteriormente unos 690 m entre 1974 y 1997 y retrocedió levemente a partir de 2003. El Glaciar Güssfeldt, por otra parte, retrocedió aproximadamente 5000 m entre 1896 y 1999 pero ha mostrado pocos cambios entre 1999 y el 2005 (Espizúa, L.E. y Maldonado, G.I. 2005, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2009).

Otro glaciar muy estudiado es el Piloto, ubicado en el Cajón del Rubio, en la cabecera de la cuenca del Río Las Cuevas, uno de los 3 afluentes del río Mendoza. Éste presenta una gran variación interanual y responde a los efectos de El Niño (años húmedos) con un balance positivo y a La Niña (años secos) con tendencias negativas. Sin embargo, a excepción de estos años extraordinarios, el 67% de los años muestra un balance neto negativo con una pérdida de masa de -10,5m en equivalente agua/nieve. La acumulación de nieve en invierno, sin considerar los años de El Niño, ha disminuido según los registros, siendo más marcada a partir de 1992 lo cual tiene un fuerte efecto en el balance de masa negativo del glaciar. El glaciar contribuye en las descargas del río Las Cuevas en un $82 \pm 8\%$ durante años extremadamente secos, por lo que es de suma importancia para los caudales tanto de este río como del Mendoza (Leiva, J.C. et al. 2007, Leiva, J.C. 2002).

A continuación se puede apreciar un gráfico (figura 1.5) que explica el balance de masa acumulado del glaciar en los años estudiados por el mismo autor (Leiva, J.C. et al. 2007)

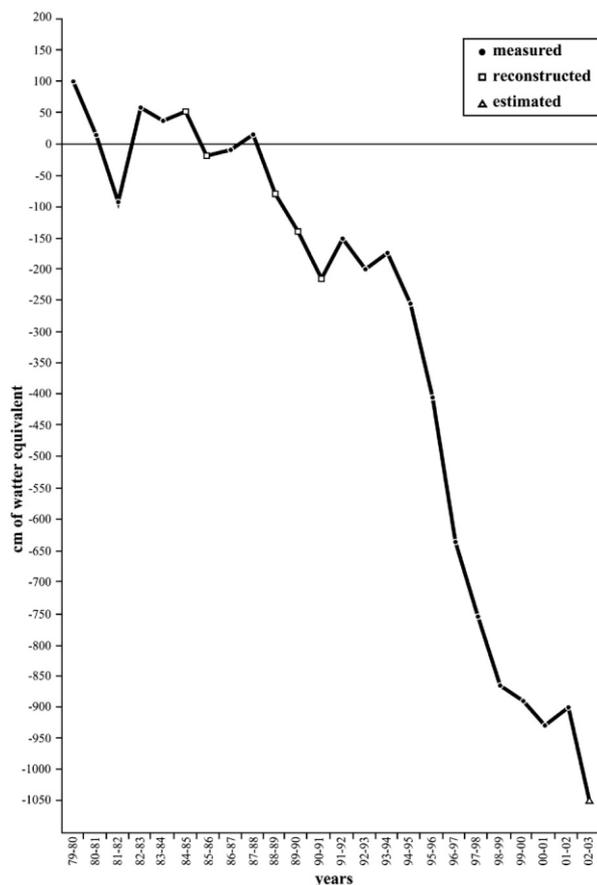


Figura 1.5: Balance de masa del glaciar Piloto

GLACIARES DE MENDOZA

Todas las actividades económicas de las regiones áridas del oeste argentino (agricultura, industria, producción de energía eléctrica, turismo, etc.) así como el abastecimiento urbano dependen casi exclusivamente del recurso hídrico proveniente de la nieve y de los cuerpos de hielo en las altas cumbres de la Cordillera de los Andes. Las tormentas que se producen principalmente en invierno, generan la acumulación de nieve. Según las condiciones climáticas (radiación solar y temperatura) puede persistir de un año al siguiente y formar cuerpos de hielo permanentes. El balance de hielo -Acumulación vs. Ablación-, juega un papel fundamental en la regulación del recurso hídrico (Llorens, R. 2002).

La mayor parte de las precipitaciones en el sector central de los Andes ocurre durante el invierno y proviene del Océano Pacífico. Por ello, la vertiente chilena de la cordillera generalmente recibe mayores precipitaciones que la vertiente argentina. Sin

embargo, la porción argentina también tiene aportes esporádicos de precipitación desde el este provenientes del Océano Atlántico. Los Andes Centrales de Argentina tienen características fisiográficas y climáticas muy particulares, con un clima continental con reducidas precipitaciones, intensa radiación, congelamiento y descongelamiento diarios, y un relieve muy accidentado (Corte, A.E. y Espizúa, L.E. 1981). Gracias a estas condiciones es posible observar una amplia variedad de glaciares que incluye a los clásicos glaciares "limpios" o descubiertos, glaciares cubiertos por una capa de detritos, y también a los llamados "glaciares de escombros" (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2009).

Los estudios que se han realizado en Cordillera de Los Andes con respecto a los glaciares son escasos, se encuentran en algunos casos desactualizados y se han realizado en zonas puntuales (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2009). Para la cuenca del río Mendoza, se ha realizado un inventario que representa una contribución al Inventario Mundial de Glaciares (WGI), programa internacional coordinado por el World Glacier Monitoring Service (WGMS) con sede en Suiza, y el Global Land Ice Measurements From Space (GLIMS). A partir de este estudio se han inventariado por sobre los 1500 m.s.n.m. 980 cuerpos de hielo que cubren una superficie de 664,34 km² y están orientados principalmente en sentido Sur y Sureste (Llorens, R. 2002). En los Andes Centrales los glaciares se desarrollan en ambientes áridos muy por encima de la línea de vegetación (Pitte, P. et al. 2009). En la cuenca del Río Mendoza uno de los sistemas de glaciares más importantes es el del Río Plomo, que ha sido estudiado desde 1914 y su evolución a partir de 1974 ha sido determinada mediante el análisis de imágenes satelitales (Llorens, R. y Leiva, J.C. 1995). En la cuenca del Río Cuevas, afluente del Río Mendoza, se han estudiado las fluctuaciones de los glaciares del Cerro Aconcagua (Espizúa, L.E. y Maldonado, G.I. 2005) (Espizua y Maldonado 2007, Espizua y Pitte 2009), y se observa el mismo comportamiento de retroceso de frentes y pérdida de masa de los glaciares.

Con respecto a la hidrología periglacial, en la provincia de Mendoza, se detectó una relación importante entre los caudales de cuencas periglaciales, ocupadas fundamentalmente por glaciares de escombros, y las curvas de temperaturas del aire y del suelo. Esta relación indica que se puede prever el comportamiento de los caudales siguiendo la marcha de las temperaturas del aire y del suelo, a la vez que también es posible hacer

proyecciones a futuro (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010a).

GESTIÓN DE LOS CUERPOS DE HIELO EN ARGENTINA

Conscientes de la importancia nacional y regional de los cuerpos de hielo en la Cordillera de Los Andes, en 2010 las Honorables Cámaras de Diputados y Senadores de Argentina convirtieron en Ley un Proyecto de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y el Ambiente Periglacial”, que contempla entre otras medidas, la creación de un Inventario Nacional de Glaciares. El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639 de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, la cual en su Artículo 3 establece:

ARTICULO 3º — Inventario. Créase el Inventario Nacional de Glaciares, donde se individualizarán todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.

Esta iniciativa responde al creciente interés de la sociedad sobre temas ambientales, a una mayor preocupación sobre los efectos adversos que el cambio climático podría tener sobre nuestras reservas estratégicas de agua en estado sólido en la Cordillera de los Andes, y a la necesidad de que Argentina fortalezca las bases científico-tecnológicas que puedan apoyar un desarrollo sustentable de nuestro país. Dentro de este contexto, el “Inventario Nacional de Glaciares” organizado y gestionado por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), tiene una importancia fundamental ya que sentará las bases para definir el estado actual de las reservas hídricas cordilleranas, los requerimientos científico-técnicos relacionados con la concreción del Inventario Nacional, las interacciones de los cuerpos de hielo con otros sistemas naturales, y los posibles impactos de los cambios climáticos futuros sobre estos recursos estratégicos. Considerando la gran extensión de Los Andes argentinos, se propone una organización en grandes regiones que agrupen cuerpos de hielo con características morfológicas y medioambientales relativamente similares:

1. Andes Desérticos. Incluye todo el Noroeste Argentino y el sector norte de la Provincia de San Juan, incorporando la cuenca del Río Jáchal.

2. **Andes Centrales**, donde se encuentra el área de estudio. Incluye desde la cuenca del Río San Juan en la provincia del mismo nombre, hasta la cuenca del Río Colorado en el norte de la Provincia de Neuquén.

3. **Andes del Norte de la Patagonia**. Incluye desde la cuenca del Río Neuquén hasta las cuencas de los Ríos Simpson, Senguerr y Chico en la Provincia de Santa Cruz.

4. **Andes del Sur de la Patagonia**. Incluye las cuencas del Río Deseado y los Lagos Buenos Aires y Pueyrredón, hasta las cuencas de los Ríos Gallegos y Chico en la Provincia de Santa Cruz.

5. **Andes de Tierra del Fuego e islas del Atlántico Sur.**

(Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010a, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2009).

Actualmente, los grandes proyectos mineros de la zona cordillerana comprometen seriamente estos grandes cuerpos de hielo, por lo que el gobierno nacional ha planteado una preocupación inminente y ha solicitado a las instituciones de investigación a relevar los glaciares, sus fluctuaciones y comportamiento. A lo largo de la Cordillera de Los Andes, tanto en el sector chileno como en el argentino, extendiéndose hasta Bolivia, Perú, etc. existen importantes fuentes de minerales metalíferos (oro, plata, cobre, etc.) que son explotadas en la mayoría de los casos por empresas multinacionales de gran influencia, tanto en la economía como en el funcionamiento socio-político de la región donde se asientan; por lo que se están intensificando los controles ambientales y de seguridad que prevean el bienestar social y ambiental a largo plazo (Ferri Hidalgo, L. et al. 2005, Brailovsky, A.E. 2008, Romero, M.L. 2010).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E.M.; Fusari, E.; Soria, N. y Salomón, M. 2005. *Utilización del Índice de Pobreza Hídrica como Herramienta del Ordenamiento Territorial en Zonas Áridas. Mendoza (Argentina)*. 17pp. Mendoza, Argentina
- Abraham, E.M. 2000a. *Geomorfología de la Provincia de Mendoza*. En: ARGENTINA. Recursos y Problemas Ambientales de la Zona Árida. Abraham, E.M. and Rodríguez Martínez, F. (Eds.) 29-48. Argentina
- Abraham, E.M. 2000b. *Recursos y problemas ambientales de la Provincia de Mendoza*. En: Argentina. Recursos y problemas ambientales de la zona árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja. Abraham, E.M. and Rodríguez Martínez, F. (Eds.) 15-23. Andalucía, España
- Álvarez, A.; Fasciolo, G.; Barbazza, C.; Lorenzo, F. y Balanza, M.E. 2008. *Impactos en el agua subterránea de un sistema de efluentes para riego. El Sistema Paramillos (Lavalle, Mendoza, Argentina)*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo. XL 61-81pp. Mendoza, Argentina
- Asociación de Inspecciones de Cauce. 1a zona Río Mendoza. 2010. *ASIC. 1a zona Río Mendoza. Organización*.(on line). <http://www.asicprimerazona.com.ar/Antecedentes/antecedentes.htm#Organizaci%C3%B3n> (Accesado: Marzo 2011)
- Brailovsky, A.E. 2008. *La protección de los glaciares y la minería (on line)*. http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Mineria/la_proteccion_de_los_glaciares_y_la_mineria (Accesado: Julio 2011)
- Calcagno, A.; Mendiburo, N. y Gaviño Novillo, M. 2000. *Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina*. World water vision. Argentina

- Cea López, C.; Cristobal Rosselló, J. y Pons Fernandez, X. 2007. *Determinación de la superficie nival del Pirineo Catalán mediante imágenes Landsat y MODIS*. 7th Geomatic week. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona, España
- Céspedes López, A.J.; García García, M.C.; Pérez Parra, J.J. y Cuadrado Gómez, I.M. 2009. *Caracterización de la explotación hortícola protegida en Almería*. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. 178pp. Almería, España
- CGIAR Consortium for Spatial Information. 2004. *SRTM 90m DEM version 4 (on line)*. <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> (Accesado: Junio 2011)
- Chuvieco Salinero, E. 2008. *Sensores y satélites de teledetección*. En: *Teledetección Ambiental*. Anonymous (Eds.) Ariel S.A. 87. Barcelona, España
- Corte, A.E. y Espizúa, L.E. 1981. *Inventario de glaciares de la cuenca del Río Mendoza*. IANIGLA-CONICET. 5-62pp. Mendoza, Argentina
- Departamento General de Irrigación. 2010a. *Pronóstico de escurrimientos para los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Malargüe y Grande. Período Octubre 2010-Septiembre 2011*. 18pp. Mendoza, Argentina
- Departamento General de Irrigación. 2010b. *Misión / Visión*.(on line). http://www.irrigacion.gov.ar/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=20 (Accesado: Octubre 2010)
- Departamento General de Irrigación. 2006a. *Plan director del Río Mendoza*. Departamento General de Irrigación - Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Gobierno de Mendoza. 82pp. Mendoza
- Departamento General de Irrigación. 2006b. *Estudios de caracterización del sistema hídrico superficial de la provincia de Mendoza*. Departamento general de Irrigación. Gobierno de Mendoza. 176pp. Mendoza
- Díaz Araujo, E. y Bertranou, A. 2004. *Investigación sistémica sobre regímenes de gestión del agua. El caso de Mendoza. Argentina*. GWP; SAMTAC. 92pp. Chile

- Diputación de Almería. 2009. *Agenda 21 provincial de Almería. Documento de Síntesis*. Excma. Diputación Provincial de Almería. Volumen 1 184pp. Almería, España
- Dozier, J. 1989. *Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper*. Remote Sensing of Environment. 28 9-22pp.
- Espizúa, L.E. y Maldonado, G.I. 2005. *Glacier variations in the Central Andes (Mendoza province, Argentina) from 1986 to 2005*. Environmental change and rational water use. Commission for Water Sustainability of the International Geographical Union. 72pp. Buenos Aires, Argentina
- Fernandez, L. 2010. *Agua, Ordenamiento Territorial y Derechos Humanos en la Provincia de Mendoza. La participación social y el recurso hídrico en la planificación de la Mendoza actual*. Oikos red ambiental. 1a Ed. 92pp. Mendoza, Argentina
- Ferri Hidalgo, L.; Gargantini, H.; Pitte, P. y Irusta, O. 2005. *Ambiente y procesos glaciales y periglaciales en Lama-Veladero, San Juan, Argentina*. Preparado para: Subsecretaría de Minería de la Provincia de San Juan. Responsable: Lydia Elena Espizúa. 62pp. San Juan, Argentina
- Fontela, C.; Morábito, J.; Maffei, J.; Salatino, S.; Mirábile, C. y Mastrantonio, L. 2009. *Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo*. Revista Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Tomo XLI (1): 135-154pp. Mendoza, Argentina
- Geoservice Perú. 2010. *Información técnica resumida. Landsat 7 ETM*. http://www.gspperu.com/pdf/res_landsat7etm.pdf. 4pp. Lima, Perú
- Gobierno de Mendoza. 2010. *Plan Estratégico de Desarrollo de la Provincia de Mendoza. Mendoza 2030*. Mendoza, Argentina

- Gutiérrez Fernández, M.A. 1999. *El agua: gestión del ciclo y planificación hidrológica. Aguas superficiales*. Encuentro medioambiental almeriense: en busca de soluciones. Almería, España
- Hernández, J.; Fornero, L. y Martinis, N. 2008. *Aplicación del Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas Modflow al Acuífero de la Subcuenca El Carrizal y su Extensión al Oasis Norte de Mendoza*. Manejo sustentable del Agua en Argentina: Agua Superficial y Subterránea. 11pp.
http://www.inta.gov.ar/mendoza/intainfo/documentos/Taller_Agua/Hern%C3%A1ndez.pdf
- Hernández, J. y Martinis, N. 2006. *Particularidades de las cuencas hidrogeológicas explotadas con fines de riego en la provincia de Mendoza*. III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. 17pp. Mendoza, Argentina
- Hernández, J. *Balance hídrico en la cuenca Norte de Mendoza. Aplicación del Modelo "Juancras"*.
http://www.inta.gov.ar/mendoza/intainfo/documentos/Doc_Varios/Hernandez_Jorge.pdf.
- Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas. 2011. *Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (on line)*. http://wiki.mendoza-conicet.gob.ar/iadiza#Folleto_y_P.C3.B3ster_Institucional (Accesado: Noviembre 2010)
- Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2011. *Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales.(on line)*. <http://wiki.mendoza-conicet.gob.ar/ianigla> (Accesado: Noviembre 2010)
- Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010a. *Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución*. En cumplimiento con lo establecido por la Ley 26.639 de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial. Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza. 86pp. Mendoza, Argentina

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2010b. *Evidencias Dendrocronológicas y Glaciológicas de Cambios Climáticos en la Patagonia en los últimos 1000 años (on line)*. http://www3.mendoza-conicet.gov.ar/institutos/ianigla/castellano/dha/patagonia/pp_intro.htm (Accesado: Marzo 2010)

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 2009. *Glaciares de Argentina (on line)*. <http://www.glaciares.org.ar/> (Accesado: 18 de junio de 2011)

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2010. *Censo 2010*. http://www.censo2010.indec.gov.ar/preliminares/cuadro_mendoza.asp. Argentina

Instituto Nacional del Agua. 2011. *Instituto Nacional del Agua (on line)*. www.ina.gov.ar (Accesado: Marzo 2011)

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011. *Glossary of Terms used in the IPCC Fourth Assessment Report (on line)*. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_glossary.shtml (Accesado: 22 de julio de 2011)

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 989pp. New York, USA

Junta de Andalucía. 2000. *Plan de Ordenación del Territorio del Poniente Almeriense*. Consejería de Obras Públicas. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo. Secretaría General de Planificación. Departamento de Publicaciones. 217pp.

Lascano, M.E. y Villalba, R. 2007. *Algunas precisiones sobre el rol de los glaciares en el escurrimiento andino*. XXI Congreso Nacional del Agua. CONAGUA 2007. 17pp. Tucumán, Argentina

- Leiva, J.C. 2002. *La situación actual de los Glaciares Andinos*. En: IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales. Trombotto, D.T. and Villalba, R. (Eds.) MAGRAF-CRICYT. 181-185. Mendoza, Argentina
- Leiva, J.C.; Cabrera, G.A. y Lenzano, L.E. 2007. *20 years of mass balances on the Piloto glacier, Las Cuevas river basin, Mendoza, Argentina*. Global and Planetary Change. 59 (1-4): 10-16pp.
- Llorens, R. 2002. *Avances o retrocesos glaciarios en los Andes Centrales Argentinos*. En: IANIGLA, 30 años de investigación básica y aplicada en ciencias ambientales. Trombotto, D.T. and Villalba, R. (Eds.) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. 177-180. Mendoza, Argentina
- Llorens, R. y Leiva, J.C. 1995. *Glaciological Studies in the High Central Andes using Digital Processing of Satellite Images*. Mountain research and development. 15 (4): 323-330pp.
- Lozano Ruiz-Valdepeñas, L. 2001. *El Plan Hidrológico Nacional y la Provincia de Almería*. En: Problemática de la Gestión del Agua en Regiones Semiáridas. Pulido Bosh, A., Pulido Leboeuf, P.A. and Calaforra Chordi, J.M. (Eds.) Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería. 203-217. Almería, España
- Maestro Cano, I. y Recio Recio, J. 2004. *Análisis comparativo de distintos métodos de estimación de la superficie glaciar en el Pirineo axial aragonés a partir de imágenes Landsat*. GeoFocus (Artículos). 4 79-92pp. Madrid, España
- Masiokas, M.H.; Villalba, R.; Luckman, B.H. y Mauget, S. 2010. *Intra- to Multidecadal Variations of Snowpack and Streamflow Records in the Andes of Chile and Argentina between 30° and 37°S*. Journal of Hydrometeorology. 11 (3): 822-831pp.
- Masiokas, M.H.; Rivera, A.; Espizua, L.E.; Villalba, R.; Delgado, S. y Aravena, J.C. 2009. *Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 281 (3-4): 242-268pp.

- Masiokas, M.H.; Villalba, R.; Luckman, B.H.; Lascano, M.E.; Delgado, S. y Stepanek, P. 2008. *20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia*. Global and Planetary Change. 60 (1-2): 85-100pp.
- Masiokas, M.H.; Villalba, R.; Luckman, B.H.; Le Quesne, C. y Aravena, J.C. 2006. *Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region*. Journal of Climate. 19 6334-6352pp. Washington DC, USA
- Maza, J.; Cazorzi, F.; López, P.; Fornero, L.; Vargas, A. y Zuluaga, J.M. 2000. *Snowmelt mathematical simulation with different climatic scenarios in the Tupungato River basin, Mendoza, Argentina*. Remote Sensing and Hydrology 2000. IAHS press. 267 126-128pp. New Mexico, USA
- Maza, J.; Fornero, L. y Yañez, H. 1995. *Simulación matemática de la fusión nival y pronóstico de escurrimiento*. Bulletin de l'Institute Français d'Études Andines. 24 (3): 651-659pp.
- Montaña, E.; Toledo, M.; Manssur, A., et al. 2010. *Diagnóstico situacional de la Provincia de Mendoza*. Mendoza, Argentina
- Morábito, J.A.; Tozzi, D.A. y Querner, E.P. 2007. *Cambios hidrológicos en la cuenca del Río Mendoza simulados con el modelo SIMGRO*. XXI CONAGUA. Tucumán, Argentina
- Moral Ituarte, L. 2009. *Nuevas tendencias en gestión del agua, ordenación del territorio e integración de políticas sectoriales*. Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales. XIII (285): Barcelona, España
- Owe, M.; Brubaker, K.; Ritchie, J. y Rango, A. 2000. *Snow and Ice*. En: Remote Sensing and Hydrology. Anonymous (Eds.) IAHS press. 54-143. New Mexico, USA
- Peña Fernández, J.L. 1999. *Desarrollo sostenible en Almería: el medio rural*. Encuentro medioambiental almeriense: en busca de soluciones. Almería, España

- Peralta, P. y Claps, C. 2001. *Seasonal Variation of the Mountain Phytoplankton in the Arid Mendoza Basin, Westcentral Argentina*. Journal of Freshwater Ecology. 16 (3): 445-454pp.
- Pereyra, G. Com. Per. 06/04/2011. Departamento General de Irrigación, Jefe del Departamento de Hidrología.
- Pinto, M. 2006. *La administración y gestión del agua en Mendoza*. III Jornada de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina
- Pitte, P.; Ferri Hidalgo, L. y Espizúa, L.E. 2009. *Aplicación de sensores remotos al estudio de glaciares en el Cerro Aconcagua*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. 1473-1480pp. Natal, Brasil
- Pulido Bosh, A. 1997. *Los recursos hídricos de la provincia de Almería*. Actas del I y II seminario del agua. 65-90pp. Almería, España
- Roig, F.A.; Martínez Carretero, E. y Méndez, E. 2000. *Vegetación de la Provincia de Mendoza*. En: ARGENTINA. Recursos y Problemas Ambientales de la Zona Árida. Abraham, E.M. and Rodríguez Martínez, F. (Eds.) 63. Argentina
- Romero, M.L. 2010. *Ya se inventarió más de la mitad de los glaciares*. Diario de Cuyo. http://www.diariodecuyo.com.ar/home/new_noticia.php?noticia_id=410924#. San Juan, Argentina
- Salomón, M. 2001. *Estudio de cuencas precordilleranas y pedemontanas de los ríos Chacras de Coria y Tejo. Mendoza. Argentina*. Tesis de Magíster. Maestría en Planificación y manejo de Cuenca Hidrográficas. Universidad Nacional del Comahue. 285pp. Neuquén, Argentina
- Salomón, M. y Fernandez, P. 1998. *Aplicación de modelo lluvia-escorrentía en la cuenca Cerro Pelota, Cerro Petaca, Chacras de Coria, Pto. el Peral y Manzano al Oeste del Gran Mendoza. Departamentos Luján y Las Heras -Mendoza*. Universidad Nacional del Comahue. 6pp. Mendoza, Argentina

- Secretaría de Medio Ambiente. 2010. *Informe Ambiental 2010*. 3 197pp. Mendoza, Argentina
- Secretaría de Medio Ambiente. 2009. *Informe Ambiental 2009*. 2 186pp. Mendoza, Argentina
- Siddiqui, Z.A.; Farooq, M.; Khan, P.A. y Shah, S.S. 2003. ***Use of Landsat data for snow cover estimation and related river run-off in Jhelum river basin in Pakistan***. Proceedings of the 21st International Cartographic Conference. 2498-2504pp. Durban, South Africa
- Solera Solera, A.; Paredes Arquiola, J. y Andreu Álvarez, J. 2007. *AQUATOOLDMA. Entorno de desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de aguas*. Manual de Usuario. <http://www.upv.es/aquatool/software.html>. Valencia, España
- Stehr, A.; Debels, P.; Arumi, J.L.; Romero, F. y Alcayaga, H. 2009. *Combining the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and MODIS imagery to estimate monthly flows in a data-scarce Chilean Andean basin*. Hydrological Sciences Journal. 54 (6): 1053-1067pp.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos. *Organización Institucional - Objetivos (on line)*. <http://www.hidricosargentina.gov.ar/objetivos.html> (Accesado: Mayo 2011)
- Unidad de SIG y Teledetección. Departamento General de Irrigación. *Sistema de Información para la Planificación Hídrica.(on line)*. http://www.irrigacion.gov.ar/siph/7JPG/1Mapas/3Cuencas/Rio_Mendoza/0_indice_cartografia_RM.htm#15 (Accesado: Abril 2011)
- Unit States Geological Survey. 2011. *Erth Explorer (on line)*. <http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/> (Accesado: diciembre 2010)
- Villalba, R. 2008. *Cambios Climáticos Regionales en el Contexto del Calentamiento Global*. IV Jornada de Riego y Fertirriego. 6pp. Mendoza, Argentina

Villalba, R.; Lara, A.; Boninsegna, J.A., et al. 2003. *Large-scale temperature changes across the Southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years*. Climatic change. Springer Netherlands. 59 (1-2): 177-232pp. Netherlands

Villalba, R. 1990. *Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records*. Quaternary Research. 34 (3): 346-360pp.

Zuluaga, J.M.; Fornero, L.; Drovandi, A. y Nuñez, M. 2002. *Estimación del área nevada en la alta cuenca del río Mendoza, Argentina, mediante la teledetección satelital*. III Congreso Internacional de Geomática. 17pp. La Habana, Cuba