



## **Documento del Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (CRA-INA) sobre: El agua en Mendoza y su problemática ambiental.**

Solicitado por el Ministerio de Medio Ambiente de la Provincia de Mendoza para la capacitación de docentes de la provincia. 7 de julio de 2009. INA-CRA, Mendoza – Argentina. Contacto: [jmorabito@ina.gov.ar](mailto:jmorabito@ina.gov.ar) 0261-4288251–4286993. Publicado en diario Los Andes, Mendoza – Argentina, 2009.

Personal que ha participado en la redacción del documento: Álvarez, Amilcar; Drovandi, Alejandro; Hernández, Jorge; Hernández, Rocío; Martinis, Nicolás; Maza, Jorge; Mirábile, Carlos; Morábito, José; Salatino. Santa y Vargas Aranibar, Adrián. Coordinador del documento: Morábito, José.

### **Índice**

- Introducción
- Caracterización del régimen hidrológico de los ríos mendocinos
- Caracterización del fenómeno aluvional
- Caracterización de las inundaciones urbanas
- El agua subterránea en Mendoza
- Las cuencas de agua subterránea
- La reserva o almacenamiento de agua subterránea
- La recarga y explotación de acuíferos
- El comportamiento hidroquímico del agua subterránea
- Contaminación del recurso hídrico subterráneo
- La sustentabilidad del recurso
- Principales problemas del agua subterránea
- El riego en Mendoza
- Métodos de riego más usados
- Como realizar un mejor aprovechamiento del agua para riego
- Drenaje agrícola
- Drenaje en las zonas bajo riego como Mendoza
- Implementación del drenaje
- Contaminación de las aguas superficiales
- Agentes contaminantes
- Contaminantes del agua
- Conclusiones y recomendaciones

### **Introducción**

En este documento se hace una breve descripción de aquellos aspectos del recurso hídrico que son estudiados por el personal del Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (INA-CRA) con sede en Mendoza. La temática del agua es muy amplia, importante, de gran impacto sobre la sociedad y exige la realización de estudios de alta especialidad que deben ser vistos de una manera multi e interdisciplinaria. Los estudios se realizan a nivel de Cuenca y sobre la base de la participación de todos los sectores de la sociedad.

Se resumen –a continuación- las principales actividades que se desarrollan desde el punto de vista de la “Hidrología de Superficie” presentando las particularidades del régimen hidrológico de los ríos mendocinos, realizando también una caracterización del fenómeno aluvional y avanzando en la presentación de los problemas de inundaciones urbanas. Desde el punto de vista de la Hidrología Subterránea se hace una descripción de las principales características hidrogeológicas, hidrológicas e hidroquímicas del sistema hídrico de la zona norte de la provincia de Mendoza. Se analizan las particularidades del riego en Mendoza, presentando los distintos métodos de riego y su situación actual. Se discuten los problemas de drenaje sub-superficial y su impacto sobre la salinidad de los suelos. Se exponen también los aspectos más importantes

de la acción antropogénica, sus impactos negativos sobre el recurso hídrico superficial y subterráneo y algunas propuestas de acción que permitan un efectivo control de la evolución de la calidad del agua y de un manejo más racional del recurso hídrico global, considerando la activa participación de todos los actores sociales presentes en la cuenca.

### Caracterización del régimen hidrológico de los ríos mendocinos

Los oasis irrigados en la Provincia de Mendoza son ecosistemas profundamente modificados por la acción del hombre, cuya fragilidad y vulnerabilidad se relacionan en gran medida con la disponibilidad del recurso hídrico. Ocupan aproximadamente el 4 % de la superficie provincial y concentran el 98% de la población y de la actividad socioeconómica.

Tales oasis se han originado gracias a la disponibilidad del recurso hídrico que existe en los ríos aprovechados y cuyo escurrimiento se origina en un 70% en la fusión nival. Salvo los ríos Malargüe y Grande el resto de los ríos mendocinos (Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel) se encuentran regulados a través de embalses de propósitos múltiples (agua potable, riego, producción energética, protección contra crecidas, recreación, usos ecológicos, etc.). Estos embalses regulan estacionalmente el agua para el riego compensando los déficits de suministro de agua que normalmente se producen en primavera, luego de la época de nevadas y previo al inicio de un franco proceso de fusión nival.

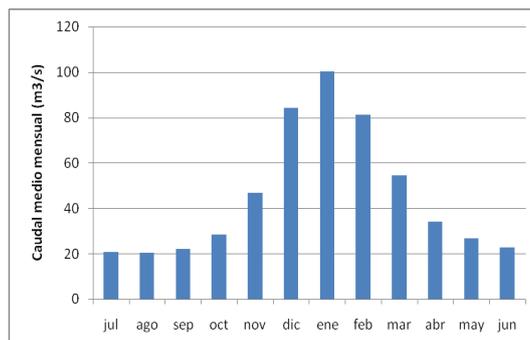


**Foto 1: Rio Cuevas afluente del río Mendoza en Puente del Inca**



**Foto 2: Arroyo de alta montaña en Mendoza**

La región andina mendocina presenta la particularidad de una ausencia casi total de aportes de precipitación pluvial en el escurrimiento superficial. El caudal base invernal está generado por el agua infiltrada y que aparece en las laderas de los cauces como aporte subsuperficial. El proceso de fusión nival comienza en la primavera (en la segunda quincena de setiembre o primeros días de octubre) y su finalización depende de la cobertura y espesor del manto nival, llegando en casos extremos a fines de febrero. Luego, el hidrograma anual de escurrimiento está comprendido entre julio y junio del año siguiente, produciéndose los caudales máximos a fines de diciembre o principios de enero.



**Figura 1: Hidrograma medio anual del río Mendoza**

A fin de mejorar la operación de los embalses y de prever distintos aspectos en cuanto al uso de sus aguas, actualmente se realizan pronósticos de escurrimientos de los ríos por fusión nival a nivel estacional (octubre-marzo) los que permiten predecir los caudales medios mensuales que se puede esperar. Lamentablemente, estos pronósticos a nivel mensual son considerados como demasiado largos, lo que reduce las posibilidades de realizar previsiones más precisas a través de la operación de los embalses, haciendo que la utilización del recurso sea ineficiente en este sentido. Esa ineficiencia repercute en la sustentabilidad socioeconómica de la región, ya que a veces ocurre que diferentes usos compiten entre sí, resultando en que los niveles de agua en los embalses no acompañan a los diferentes objetivos. Así, por ejemplo, la protección contra crecidas necesita de niveles bajos en el embalse para almacenar y laminar las crecidas (evitar el paso de caudales exageradamente altos) y, por otra parte, esos bajos niveles suelen perjudicar la disponibilidad de agua para otros usos, como para la producción energética. Por lo expuesto, resultaría conveniente realizar los pronósticos con un intervalo semanal en vez de mensual, como ocurre actualmente.

### **Caracterización del fenómeno aluvional**

La ciudad de Mendoza y su entorno, el Gran Mendoza, se encuentran ubicados junto a una serie de pequeñas cuencas aluvionales, sobre la planicie aluvial al Este del Pedemonte y las estribaciones orientales de la Precordillera. Es una zona árida a semiárida, con precipitaciones medias anuales no mayores a 235 mm, las cuales ocurren principalmente en el verano, caracterizadas como de gran intensidad, de tipo convectivas, torrenciales, intermitentes y de corta duración. Durante el resto del año prácticamente no llueve.

Esas precipitaciones que caen en las cuencas de recepción aluvionales, pueden dar lugar a crecientes de notable magnitud que originan aluviones que fluyen por los zanjones y cauces, habitualmente secos y que a su vez desembocan en cauces mayores sobre la bajada pedemontana hasta alcanzar la planicie aluvial. Como consecuencia, se producen anegamientos e inundaciones en los barrios periféricos del Gran Mendoza, muchas veces llegando a afectar el centro de la ciudad.

Estas cuencas presentan: sedimentos disgregables en superficie, accidentada configuración del terreno, mayor superficie expuesta, pendientes significativas, una densa red de drenaje formada por zanjones, cauces de arroyos secos subparalelos, una concentración lineal del escurrimiento pluvial y escasísima cubierta vegetal, integrando un ambiente natural fácilmente vulnerable.



Foto 3: Corriente de agua transportando gran cantidad de sedimentos

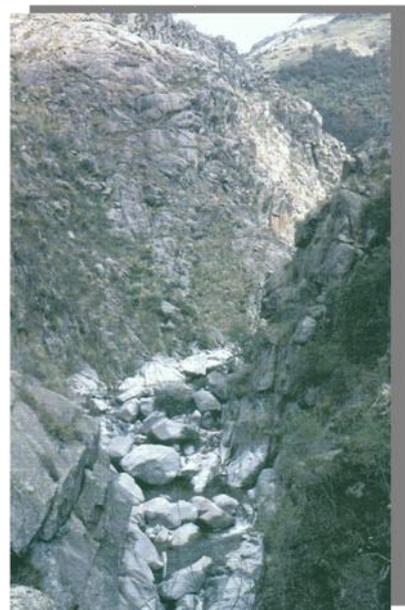


Foto 4: Cauces aluvionales

Durante el transcurso de cada tormenta de corta duración y gran intensidad, la erosión hídrica y los derrumbes laterales, aportan importantes volúmenes de bloques, cantos rodados, arena y material fino, los que, por arrastre o en suspensión, invaden la planicie aluvial y se depositan según su granulometría, a medida que la corriente va perdiendo capacidad de transporte. Hasta la parte distal de su recorrido, llegan los materiales más finos, dando origen a la formación de depósitos de lodo de grueso espesor, que suelen alcanzar los sectores periféricos de la ciudad.

El registro histórico de de estos aluviones se remonta al año 1716, cuando una gran inundación destruyó buena parte de los edificios de la zona céntrica, entre los que se encontraba la iglesia de Nuestra Señora de Loreto.

Desde 1716 a 1888, se produjeron varios aluviones, quedando antecedentes respecto a reclamos realizados por parte las autoridades coloniales.

En 1895, cayó sobre el Gran Mendoza una lluvia intensa. El torrente de agua arrastró, a su paso, puentes, troncos de árboles, ropas, muebles, animales y enseres domésticos, de los barrios pobres del Oeste de la ciudad. Este aluvión produjo 24 muertos, 200 heridos e infinidad de familias quedaron sin vivienda.

Otros daños históricos fueron los producidos en diciembre de 1918, marzo de 1919, enero y febrero de 1920, marzo de 1921, enero y diciembre de 1939.

El 23 y 24 de enero de 1945, se produjeron aluviones de magnitud que afectaron a la ciudad Capital, Godoy cruz, Las Heras y Guaymallén, dejando depósitos de lodo.

Entre 1946 y 1948 se produjeron 15 aluviones de diferente intensidad. El 31 de diciembre de 1959 llovió 91 mm en una hora y provocó un gran aluvión que produjo graves daños en el Gran Mendoza, con derrumbe de viviendas. Por el zanjón Frías escurrieron 20 m<sup>3</sup>/seg y por el zanjón de los Ciruelos 90 m<sup>3</sup>/seg.

El 4 de enero de 1970 se produjo una de los mayores desastres: una fuerte tormenta se precipitó sobre la cuenca del zanjón Frías y provocó la destrucción del dique homónimo, debido a que las crecientes superaron la capacidad de evacuación de agua del primitivo dique sobre el zanjón, provocando su colapso. Como consecuencia de la ruptura, se originó una avalancha de agua y lodo que inundó la zona de influencia; los aluviones superaron en algunos lugares el metro y medio de altura y prácticamente toda la ciudad resultó afectada, con 24 víctimas fatales y entre 1500 a 2000 accidentados y daños materiales millonarios.

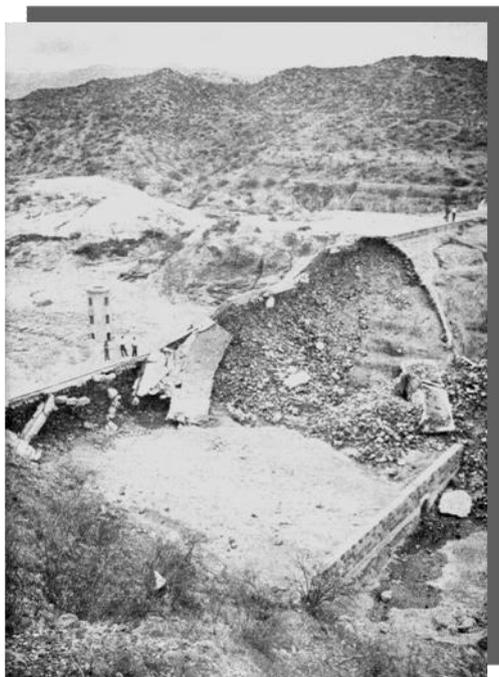


Foto 5: Rotura del Dique Frías

Estos son los hechos más destacables. Pero, para poder evaluar la magnitud del problema, en el ámbito del Gran Mendoza, en un proceso de 87 años, puede decirse que se registraron alrededor de 57 aluviones que lo afectaron, con diferentes grados de daños producidos.

A estas referencias deben sumarse las pérdidas millonarias por aluviones en Chacras de Coria, Vistalba, Costa de Araujo y Pedriel, con pérdidas de cosechas e importantes roturas en la red vial.

La tabla 1 presenta un listado de soluciones al problema aluvional. Se mencionan soluciones estructurales haciendo referencia a la construcción de obras que solucionan parcial o totalmente el problema. Las alternativas no estructurales están vinculadas a la planificación racional de acciones o estrategias de manejo que reducen el impacto aluvional, y aseguran la sustentabilidad de la cuenca.

**Tabla 1: Soluciones al problema aluvional**

Estructurales	Diques atenuadores de crecidas
	Canalizaciones
	Colectores
	Terraplenes
No estructurales	Legislación y creación de áreas protegidas
	Regulación del uso y ocupación del territorio
	Manejo adecuado de los escurrimientos por cuencas
	Sistemas de predicción y alerta hidrológica

### Caracterización de las inundaciones urbanas

Los problemas de inundación surgen debido a la insuficiente capacidad de conducción con que cuentan los canales y a las características peculiares del sistema de drenaje pluvial. Esta insuficiencia puede atribuirse tanto a la disminución paulatina de su pendiente, como a la disminución de su sección cuando atraviesa por la ciudad (presión urbanística). No es necesario resaltar, para los mendocinos, la situación crítica de la ciudad, ni tampoco hacer notar que el centro de Mendoza constituye un caso de núcleo urbano en el cual, con el pasar de los años, se producen crecientes en las zonas bajas con lluvias cada vez menores.



Foto 6: Inundación en la cuarta sección de la ciudad de Mendoza (14/02/90)

El rápido crecimiento urbano de los últimos tiempos, ha hecho enfrentar a los entes gubernamentales afectados a distintos problemas ocasionados por el desarrollo urbano. Según datos de UNESCO, mientras en 1800 sólo el 1% de la población mundial vivía en ciudades, en 1970 esa cifra era del 37%, y actualmente tal porcentaje asciende al 51%.

Uno de los problemas derivados es, justamente, el drenaje del escurrimiento superficial originado por las precipitaciones pluviales sobre zonas urbanizadas.

La urbanización, ya sea destinada a áreas residenciales, comerciales y/o industriales, produce un incremento en la impermeabilización de las cuencas, lo cual reduce el tiempo de distribución del escurrimiento, con el consecuente aumento de la descarga máxima de los volúmenes a evacuar. Como orden de magnitud se puede afirmar que con la urbanización, la evapotranspiración o consumo de agua por parte de los vegetales se reduce en un 38 % y el escurrimiento superficial (volumen de agua que circula sobre la superficie del suelo) aumenta en un 88 %.

Una reciente revisión de proyectos de control de crecidas ejecutados para áreas urbanas, demostró que donde solamente se consideraron medidas de tipo estructural con el consabido y significativo esfuerzo financiero, los daños se siguieron produciendo y los altos costos no pudieron ser evitados.

Con esta mención se quiere hacer resaltar la importancia que tienen, como complemento, la toma de decisiones de tipo no estructural consistentes, por ejemplo en:

- Legislaciones específicas sobre el tema, tendientes a minimizar los efectos perjudiciales del escurrimiento superficial, abarcando aspectos como: uso del suelo, reglamentación sobre loteos y urbanizaciones, códigos de edificación, confección de un manual de drenaje de ámbito municipal, etc.
- Limpieza de calles para evitar la obstaculización del escurrimiento y la contaminación aguas abajo.
- Educación pública sobre la problemática.
- Implementación de un sistema de pago de tasas destinadas a recaudar fondos para la operación y mantenimiento del sistema de drenaje y para la inversión en nuevas obras. Si estas tasas fueran proporcionales al escurrimiento producido por cada propiedad (equivalente a superficie impermeable) alentarían al propietario a que tal escurrimiento infiltre total o parcialmente en su propiedad (por ejemplo: jardín) aliviando así al sistema de drenaje existente.

Las acciones de tipo estructural pueden llevarse a cabo en dos sistemas de desagües:

- a) los que conducen los escurrimientos de las lluvias frecuentes, y
- b) los que conducen los escurrimientos de las lluvias poco frecuentes

El sistema (a) tiene como objetivo minimizar inconvenientes tales como los que se ocasionan en las propiedades o al tráfico vehicular o peatonal (por ej: acequias y canales menores). El sistema (b) es el encargado de evacuar el escurrimiento que excede al sistema menor, en especial en los eventos poco frecuentes (por ej: calles y canales colectores).

Otras medidas estructurales son aquellas destinadas a reducir el caudal pico (ó máximo) o a retener totalmente el volumen del escurrimiento a través de embalses que cumplan con tales funciones. Al respecto, en varios países desarrollados se han realizado proyectos en el marco de la concepción denominada "Azul-verde" que consiste en la utilización de grandes espacios abiertos para el almacenamiento temporario o permanente del agua pluvial, considerando puntos de vista estéticos y/o recreativos. Asimismo, y bajo el mismo concepto, se han diseñado plazas y paseos públicos en general.

En las playas de estacionamiento que se pavimentan, y que por lo tanto producen una importante cantidad de escurrimiento, se recomienda la utilización de pavimentos porosos y flexibles, y destinar algunos espacios a trincheras de infiltración. También en estos casos es importante un buen diseño de pendientes, de manera tal que se logre un almacenamiento temporario en el interior de la playa.

El Gran Mendoza no ha escapado a este problema de resonancia mundial, ya que en los últimos 40 años la población urbana se ha triplicado, con el consecuente efecto de impermeabilización; así, las asiduas crónicas periodísticas -durante la temporada estival- dan cuenta de la gravedad de los daños que ocasiona el escurrimiento que originan las intensas tormentas convectivas.

El sistema de drenaje pluvial natural que son las acequias de riego de la arboleda pública no está adecuadamente diseñado para aquella función, y por lo tanto el rol de conducción es asumido por las calzadas, con los obvios inconvenientes que se producen durante estos eventos.

## **El agua subterránea en Mendoza**

La provincia de Mendoza posee un clima árido, por lo cual para asegurar un adecuado desarrollo de los cultivos se requiere la aplicación de riego, que desde épocas precolombinas supieron utilizar los habitantes autóctonos. De allí la importancia que tienen los recursos hídricos para la provincia, limitados a las escasas precipitaciones, al agua acumulada en la cordillera (nieve y hielo), al agua circulante en sus ríos y arroyos, al agua acumulada en las lagunas y embalses superficiales y también al agua almacenada en los reservorios subterráneos.

Las precipitaciones que ocurren en el territorio provincial son escasas, variando desde 120 mm/año en el norte, hasta 380 mm/año en el sur. En la alta cordillera, se tienen registros de precipitaciones de 500 a 600 mm/año, que se producen principalmente en forma de nieve.

Mediante el aprovechamiento del agua, se han desarrollado en la zona de llanura, los oasis de riego que ocupan una superficie de unas 300.000 hectáreas que constituye sólo el 4 % de la superficie total de la provincia. En estos oasis se han conformando núcleos agro - urbano - industriales en los que habita el 98 % de la población. El resto de su territorio, son zonas de llanura desértica y cordillera. Esta distribución de la población responde principalmente a la disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea.

Las cuencas hidrográficas de los ríos de curso permanente y las cuencas hidrogeológicas con sedimentos depositados durante la era cuaternaria, con las que aquellas se encuentran asociadas, dan lugar a la formación de distintos sistemas hídricos. En general, estos sistemas, tienen un comportamiento similar, pero existen aspectos particulares en cada uno de ellos que es necesario tener en cuenta al momento de planificar su aprovechamiento sustentable.

Los recursos hídricos de la provincia provienen fundamentalmente de las precipitaciones meteóricas que ocurren en su territorio. En la cordillera se han acumulado grandes reservas de agua almacenada en glaciares, campos de nieve, y retenida por procesos de congelamiento en el perfil permeable de las formaciones rocosas. Allí se originan los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Malargüe, Grande y Barrancas, que tienen en conjunto un caudal medio de unos 320 m<sup>3</sup>/s y una cantidad importante de arroyos cordilleranos.

En la actualidad existen cinco embalses superficiales en la provincia, El Carrizal sobre el río Tunuyán, Nihuil y Valle Grande sobre el río Atuel, Agua del Toro y Los Reyunos sobre el río Diamante que tienen una capacidad conjunta de unos 1.380 hm<sup>3</sup>. Estos embalses se operan para la generación de energía eléctrica, pero cumplen una función muy importante en la regulación de los derrames naturales de los ríos, erogando -de acuerdo a un plan establecido- volúmenes de agua que el Departamento General de Irrigación (DGI) se encarga de distribuir a través de canales a propiedades agrícolas que poseen derecho de riego.

La mayor parte del subsuelo de la llanura mendocina corresponde a cuencas sedimentarias modernas (era cuaternaria) que constituyen los reservorios de agua subterránea o acuíferos (estrato o formación geológica que permite el almacenamiento y la circulación del agua por sus poros y/o grietas). El agua que allí se encuentra ha sido aportada principalmente por la infiltración que ocurre a través de los lechos de los ríos nombrados. Estos reservorios son explotados por una cantidad importante de perforaciones, la mayoría de ellas ubicados en las áreas cultivadas.

Con el agua de los cinco primeros ríos y la explotación de agua subterránea se sustentan los oasis cultivados y los crecientes requerimientos de agua potable y de uso industrial.

La explotación del agua subterránea en Mendoza data de principios del siglo XX. Ella se extraía, básicamente, para usos mineros. La Dirección de Minas de la Provincia era la encargada de llevar los registros de perforaciones y efectuar estudios hidrogeológicos vinculados a esa actividad. El agua subterránea era considerada un mineral de 4° categoría y su uso se regía por el derecho minero.



En 1950-1951 se realiza un censo y se detecta la existencia de 3000 perforaciones, la mayoría de las cuales eran de uso agrícola. Asimismo, estudios hidrológicos permiten establecer la relación entre el agua subterránea de la cuenca norte de Mendoza y los ríos Mendoza y Tunuyán. Dado que el Departamento General de Irrigación (DGI) ya era la entidad rectora de las aguas provinciales, se decidió transferirle, en 1953, el sector encargado de las aguas subterráneas.

A partir de ese año el DGI, que poseía poder de policía sobre los usos de las aguas de los ríos provinciales, comenzó a ejercerlo también sobre las aguas subterráneas, registrando y controlando las obras de captación que se ejecutaban, basándose en lo establecido por el Reglamento General de Perforaciones, aprobado a tales fines en 1953. Ello fue hasta 1974, año en el que la Legislatura Provincial aprobó la ley de Aguas Subterráneas, mediante la cual se rige hoy la extracción y uso de las mismas.

Hoy existen aproximadamente 20.000 perforaciones registradas, de las que sólo la mitad se encuentra funcionando. La gran mayoría está destinada al uso agrícola y, en menor medida, al consumo de poblaciones y a los usos industrial y minero.

Cabe destacar que en Mendoza, así como en otras provincias del noroeste argentino, se han realizado importantes estudios hidrogeológicos que han permitido una más eficiente exploración y explotación del agua subterránea. Estos estudios sistemáticos comenzaron en 1965, tras la firma de un convenio entre la Nación Argentina y la Organización para las Naciones Unidas (ONU), y se identificaron como Plan de Aguas Subterráneas para el Noroeste Argentino (PASNOA). Hoy, tienen continuidad a través del accionar del Instituto Nacional de Agua.

### **Las cuencas de agua subterránea**

El paisaje de la provincia está integrado por dos grandes regiones físicas de relieves muy distintos: un área elevada de montañas y serranías situada al poniente, y otra de escaso relieve, que constituye el área llana oriental. La primera de ellas está representada por la Cordillera de los Andes, en sus fases Principal, Frontal, Precordillera y sus estribaciones. La segunda, también desarrollada a lo largo de todo el territorio provincial de norte a sur, se denomina Llanura de la Travesía. En ese contexto se encuentran cinco cuencas hidrográficas pertenecientes a otros tantos ríos de curso permanente cuyo devenir dio origen a cuatro cuencas hidrogeológicas. Ellas son:

- La cuenca de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior, también llamada cuenca Norte.
- La cuenca del río Tunuyán Superior, también llamada cuenca Centro o del Valle de Uco.
- La cuenca de los ríos Diamante y Atuel, también llamada cuenca Sur.
- La cuenca del río Malargüe o de los ríos Atuel, Salado y Malargüe.

Todos los ríos mencionados tienen sus fuentes en la Cordillera de los Andes y sus caudales discurren de Oeste a Este para desembocar en la llanura, bajo cuya superficie se desarrollan cuencas sedimentarias modernas que constituyen los reservorios de agua subterránea recargados principalmente por los mismos ríos.

Existen otras cuencas que aún no se han explorado suficientemente, como la de Yalguaras, ubicada en la cordillera, al límite con la provincia de San Juan, una amplia cuenca ubicada al este del territorio provincial denominada Región de los ríos Tunuyán – Diamante, y en el sur de la provincia la Región del río Colorado y la Región Sur. También existen reservorios subterráneos en cuencas sedimentarias de la era terciaria que aún no han sido evaluados.

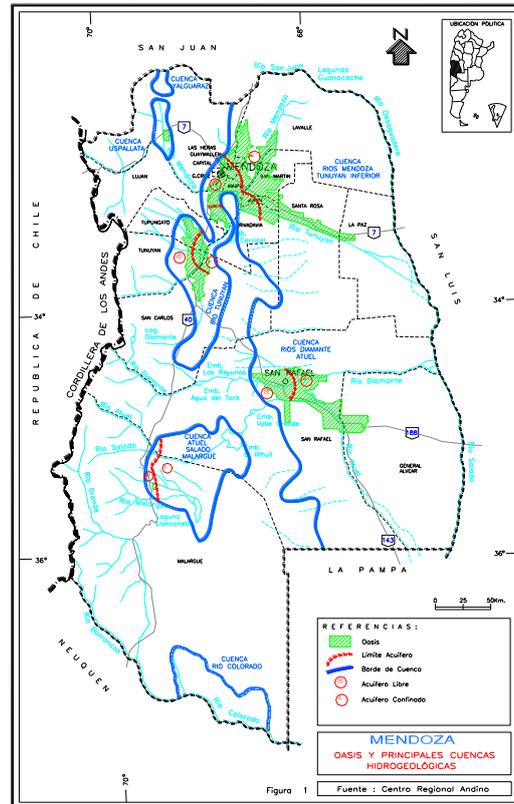


Figura 2: cuencas hidrogeológicas de Mendoza

En general, las cuencas hidrogeológicas de la provincia de Mendoza responden a un esquema que puede sintetizarse de la siguiente forma:

- **Base:** capa impermeable o semipermeable que se encuentra debajo de los acuíferos, constituida por sedimentos de la era Terciario Superior, que por su litología, compactación y consolidación han perdido o reducido su permeabilidad.
- **Formaciones acuíferas:** constituidas por sedimentos de origen fluvial que durante el proceso de transporte y depósito se han ido clasificando por tamaño, de mayor a menor, desde las zonas apicales a las zonas distales de las cuencas. Así se encuentran preferentemente materiales gruesos, como cantos rodados, gravas, gravillas y arenas gruesas en los conos de deyección, y predominancia de materiales más finos, como arenas finas, limos y arcillas, a medida que se produce un alejamiento en la llanura. Como consecuencia de ello, las permeabilidades también varían, disminuyendo coincidentemente con la disminución del diámetro de los sedimentos. En todas las cuencas mencionadas, también productos del proceso de clasificación en los depósitos, se encuentran formaciones acuíferas libres (en contacto directo con la atmósfera), semiconfinadas y confinadas (comprendidas entre capas impermeables).
- **Circulación del agua subterránea:** se desarrolla a partir de las zonas de mayor recarga (acuíferos libres) coincidentes en su mayor parte con los conos de deyección originados por los cursos de agua superficial, acompañando la pendiente topográfica del terreno natural hacia las zonas más bajas y de descarga. En general, se puede generalizar que el agua subterránea en todas las cuencas se mueve de oeste a este y de norte a sur.

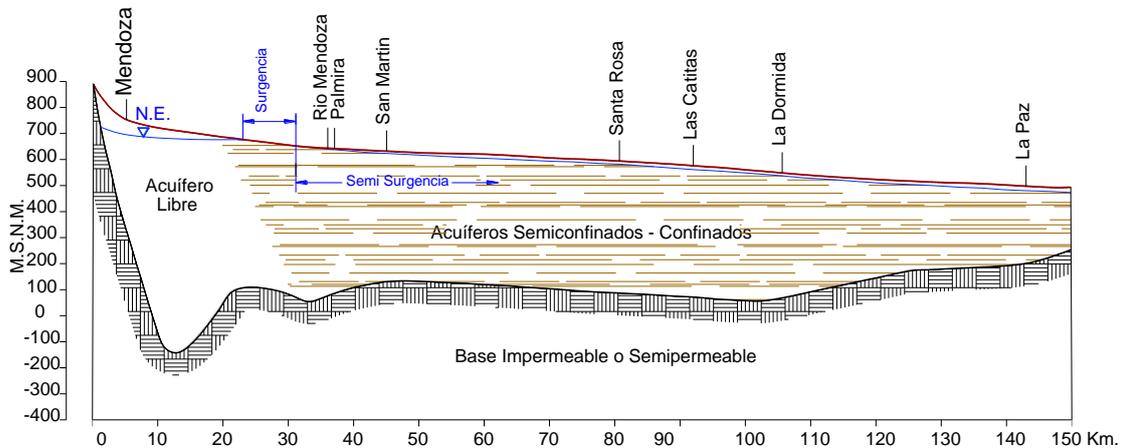


Figura 3: perfil de la cuenca norte trazado en dirección oeste – este (desde la ciudad de Mendoza hasta La Paz)

### La reserva o almacenamiento de agua subterránea

La reserva total de agua subterránea, almacenada en las cuencas sedimentarias cuaternarias, se ha calculado en forma primaria en unos 650.000 Hm<sup>3</sup>, de los cuales una porción es explotable en condiciones económicamente apropiadas. Esta cifra puede variar considerablemente al avanzar en la exploración hidrogeológica de la provincia, principalmente de los acuíferos en sedimentos de edad terciaria, que aún no se han estudiado convenientemente.

La reserva o almacenamiento suele sufrir variaciones cuantitativas que están vinculadas a su alimentación (o recarga de acuíferos) y a la extracción o descarga que se producen naturalmente o que realiza el hombre para satisfacer sus necesidades.

### La recarga y explotación de acuíferos

La recarga de los acuíferos sedimentarios que componen las cuencas mendocinas se produce como consecuencia de las infiltraciones que ocurren a través de la superficie del suelo, ya sea este el lecho de los ríos, de los canales o las áreas regadas, y por las pérdidas en conductos subterráneos como lo son: las cañerías de agua potable y sanitaria, etc. También las lluvias podrían llegar a contribuir, aunque muy poco en Mendoza, ya que las precipitaciones en la llanura son pobres.

El mecanismo sería el siguiente: una alícuota del agua infiltrada a través de la superficie del suelo -la que no es devuelta a la atmósfera como consecuencia de los fenómenos de transpiración de los vegetales y evaporación desde el suelo- percola en profundidad por entre los poros de las formaciones sedimentarias hasta alcanzar la zona saturada donde se almacena el agua subterránea. A partir de allí comienza su movimiento en el sentido de la pendiente hidráulica y queda disponible para su extracción.

Normalmente, esa recarga de acuíferos se produce, en forma más importante, en los sectores de las cuencas cercanos a la cordillera, donde los materiales depositados (sedimentos) son más gruesos y, por ende, las formaciones sedimentarias son más permeables; además, por allí circula casi la totalidad del agua que proviene del oeste.

La extracción del agua subterránea de los acuíferos mendocinos se realiza casi en su totalidad a través de perforaciones privadas provistas de equipos de bombeo, salvo en sectores de las cuencas (zonas de surgencia) donde la presión del acuífero explotado produce la elevación de los niveles estáticos (artesianismo) por encima de la superficie del terreno (pozos surgentes). Ya se mencionó antes que en Mendoza el número de perforaciones activas sería de 10.000 aproximadamente y el riego es, ampliamente, el

principal destino del agua extraída desde los acuíferos. En muchos casos se utiliza como complemento del agua de riego superficial que llega a las propiedades (con derechos de riego) a través de los canales y en otros, donde no llega el agua mencionada, se riega exclusivamente con agua subterránea.

Las profundidades desde las que se extrae el agua subterránea suelen variar a lo largo de una cuenca, es decir, desde donde desembocan los ríos que les dieron origen y que las recargan hasta sus sectores más alejados. En general, en las cuencas mendocinas las mayores profundidades de bombeo (100 - 200 m) se encuentran cercanas a la cordillera, donde el acuífero que subyace suele ser libre; a medida que una cuenca se extiende y la pendiente de la superficie del terreno se acerca a la horizontal, los niveles estáticos de agua subterránea se acercan a la superficie. La exploración en estos sectores suele ser importante (200 - 400 m), aunque el agua asciende hasta 20 o 30 m de profundidad permitiendo que el bombeo se realice desde esta profundidad. En algunas cuencas se define un área de surgencia, la que suele encontrarse después del cambio brusco de pendientes, donde se inicia la llanura propiamente dicha; en ella, las perforaciones profundas suelen presentar niveles de agua que pueden superar en 5 -15 m la superficie del terreno.

Los caudales que se extraen de las perforaciones también suelen variar; ello depende tanto de las características hidrológicas del acuífero explotado como de la capacidad del equipo de bombeo que se utilice, tomando como base que el factor limitante por excelencia lo constituyen las primeras en virtud de la mayor o menor disposición para ceder agua sin agotarse. Así, en las cuencas mendocinas se producen normalmente caudales de entre 50 y 300 m<sup>3</sup>/h.

## El comportamiento hidroquímico del agua subterránea

Actualmente se tiene, a nivel regional y con distinto grado de conocimiento, información del comportamiento hidroquímico de las cuencas de agua subterránea en relación: a las distintas fuentes de recarga, a la secuencia sedimentológica o tipo de rocas por cuyos poros circula el agua y a los efectos de origen antrópico (acciones humanas).

Para los horizontes acuíferos explotados actualmente, existe una estratificación hidroquímica vertical en tres niveles diferenciados principalmente por su grado de salinidad, la que en general disminuye con la profundidad.

Las recargas de los acuíferos, que se producen a partir de la infiltración en los cursos superficiales principales, son determinantes de la caracterización hidroquímica del agua subterránea de cada cuenca. En general el agua es cálcica - sulfatada y sulfatada - cálcica - sódica predominantemente.

A partir de las áreas de mayor recarga, la composición química del agua subterránea evoluciona en su movimiento horizontal sufriendo una mineralización natural progresiva en la dirección del flujo principal, variable para los distintos niveles de explotación y con distinto grado de afectación por acciones antrópicas.

**Cuenca Norte:** en la cuenca norte el primer nivel de explotación, tiene profundidades inferiores a los 80 m. La salinidad del agua -expresada en valores de conductividad eléctrica- varía desde 1 dS.m<sup>-1</sup> en el área de máxima recarga a valores superiores a 5,5 dS.m<sup>-1</sup> en zonas de intensa actividad agrícola ubicadas al este del río Mendoza. En general, este nivel no se explota actualmente debido a su elevado nivel de salinidad, causa por la cual la mayoría de las perforaciones de esta profundidad se han abandonando y reemplazado por otras que explotan los niveles mas profundos. Desde el punto de vista agrícola si el agua de riego supera 2,25 dS.m<sup>-1</sup> es considerada de alta salinidad y se torna perjudicial para alcanzar una adecuada productividad en la mayoría de los cultivos agrícolas.

El segundo nivel de explotación tiene profundidades que varían entre 100 y 180 m. Los tenores mas bajos de salinidad, variables entre unos 0,7 y 1 dS.m<sup>-1</sup>, se encuentran en el área de acuífero libre y en casi todo el sector de influencia del río Mendoza. Hacia el este de la cuenca la salinidad aumenta progresivamente hasta alcanzar valores de 4 dS.m<sup>-1</sup>.

Las salinidades elevadas en algunos sectores de la cuenca se deben principalmente a contaminación salina inducida desde el primer nivel por efectos derivados de la sobreexplotación de acuíferos, mala construcción de perforaciones y roturas de perforaciones por corrosión en cañerías de entubación.

El tercer nivel de explotación tiene profundidades superiores a los 200 m y es el menos expuesto a procesos de contaminación de origen exógeno. La salinidad del agua en este nivel varía entre unos 0,7 a 1,8 dS.m<sup>-1</sup>, pero en el área de influencia del río Mendoza no supera los 1,2 dS.m<sup>-1</sup>.

**Cuenca Centro:** existen en el área diferentes fuentes de agua superficial que ejercen un efecto hidroquímico importante sobre las características químicas del agua subterránea.

Estas fuentes de agua superficial, ríos y arroyos en su mayoría de régimen permanente, se originan al oeste de la cuenca en la cordillera Frontal y Principal debido a la fusión de hielo y nieve allí acumulada, como así también a las precipitaciones pluviales ocurridas en sus cuencas hidrográficas.

Entre los principales cursos de agua superficial pueden mencionarse los ríos Tunuyán y de Las Tunas, arroyos De La Carrera, Anchayuyo, Chupasangral, Villegas, Olmos, Grande, Manzano, Yaucha y Papagallos-Aguanda.

En la parte baja de la cuenca ubicada en la zona centro-este del Valle, se encuentran los cursos de agua colectores de drenaje subterráneo, de los cuales se posee información hidroquímica de los arroyos: La Estacada, Guiñazú, Claro, Salas Caroca y San Carlos.

El río Tunuyán nace en la zona de la cordillera Principal y está formado por la unión de los ríos Palomares y Salinillas. Es, entre los recursos superficiales del área, el que tiene mayor caudal, producto de los numerosos aportes que recibe a lo largo de su recorrido antes de ingresar a la cuenca de agua subterránea.

En su tramo medio, es decir desde el dique derivador Valle de Uco, el río circula por la cuenca rumbo al noreste hasta el cordón del Toba, desde donde se dirige al norte hasta abandonar aquella por su ángulo noreste.

Este río constituye el único egreso superficial de la cuenca, actuando en su tramo medio como colector de una serie de cursos de agua que nacen de la unión de dos o más arroyos cordilleranos o se forman con el caudal aportado por vertientes o por descarga natural de la cuenca subterránea

La composición química del río Tunuyán en el Dique Valle de Uco puede considerarse como la composición inercial a la entrada de la cuenca, a partir de allí comienza a notarse la incidencia de distintos aportes. La salinidad registrada varía desde 0,8 a 1,87 dS.m<sup>-1</sup> con un promedio es de 1,26 dS.m<sup>-1</sup>.

El carácter hidroquímico de las aguas del río Tunuyán en el dique Valle de Uco, cambia según las condiciones hidrológicas imperantes para el momento del muestreo, desde sulfatada cálcica y cálcica sulfatada (predominante) a sulfatada cálcica sódica.

En general, se puede asegurar que el agua bombeada en cualquier punto de la cuenca es de muy buena a buena calidad para la agricultura e, incluso, el consumo humano.

Las fuentes de agua superficial, ríos y arroyos que recargan la cuenca, ejercen un efecto hidroquímico diferenciado sobre las características del agua subterránea en su área de influencia.

Desde el punto de vista hidroquímico se ha verificado una estratificación vertical de la salinidad que ha permitido establecer dos niveles de explotación bien definidos y que coinciden con el esquema hidrogeológico mencionado en puntos anteriores.

Las características hidroquímicas del nivel acuífero superior están dadas por las curvas de igual salinidad del agua subterránea en términos de conductividad eléctrica específica (CEE) y que para este nivel varía entre 0,3 y 2,3 dS.m<sup>-1</sup>. La zona que presenta menor mineralización es el área central, comprendida entre el arroyo La Cieneguita y Vista Flores. En ella el agua que se extrae tiene una salinidad comprendida entre 0,35 y 0,4 dS.m<sup>-1</sup>.

En cuanto al nivel acuífero inferior, los pozos que en general explotan esta profundidad se localizan principalmente en el sector este de la misma en el área de acuífero confinado y presentan surgencia de agua. Puede establecerse que, a ésta profundidad, el agua subterránea es menos mineralizada y más uniforme en su salinidad que la explotada en el nivel acuífero superior.



La conductividad eléctrica del agua varía entre 0,2 y 0,85 dS.m<sup>-1</sup>. La zona de menor salinidad se localiza en la parte central de la cuenca, con valores promedios de conductividad eléctrica de 0,34 dS.m<sup>-1</sup>.

En general puede establecerse que la salinidad del agua subterránea de este nivel aumenta en la dirección del flujo. Para los dos niveles acuíferos, la variación de la salinidad en su recorrido está acompañada de un aumento en la concentración de sulfato y de sodio.

## **Contaminación del recurso hídrico subterráneo**

Cuando nos referimos a que el agua superficial o subterránea está contaminada, es cuando la composición o estado de sus aguas han sido modificadas directa o indirectamente por el hombre en una medida que se ve alterada para los usos que era posible en su estado natural.

En cada sistema hídrico, hay una interacción natural del agua de acuerdo a las distintas etapas del ciclo hidrológico y a las particularidades hidrogeológicas del mismo, que le confieren al agua ciertas características fisicoquímicas naturales. Las mismas se consideran como condiciones de base o línea de base para el control permanente de los efectos inducidos por la explotación ya que, como es ampliamente conocido, el hombre a través de sus acciones produce impactos negativos que pueden alterar el equilibrio ecológico.

Los recursos hídricos de diferentes regiones de la provincia están afectados por distintos problemas relacionados con la disponibilidad, calidad y uso con demanda creciente, principalmente para regadío y consumo humano. La calidad de las aguas superficiales y subterráneas es un aspecto especialmente sensible, especialmente debido a las actividades antrópicas.

En consecuencia, para el manejo adecuado y sostenible del recurso hídrico, se requiere un profundo conocimiento de las características hidrológicas, físico-químicas y biológicas del mismo. Por ello el conocimiento de las reservas de agua, del comportamiento natural y aptitud para diversos usos es fundamental para el diseño de políticas de manejo que garantice el desarrollo sostenible en la explotación de dicho recurso. Asimismo, debido a la variación espacial y temporal de la calidad del agua, es necesario implementar programas de monitoreo que suministren una estimación representativa, actual y realista de la misma. Esto último se logra mediante la evaluación continua del recurso hídrico, como un proceso de análisis que permita anticipar los futuros impactos ambientales negativos sobre el mismo. Los numerosos y valiosos datos obtenidos mediante estos programas de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas deben interpretarse de manera tal que facilite una rápida transferencia de información hacia los gestores de cuenca y la población en general.

Dentro del sistema hídrico, es importante destacar que el agua subterránea tiene la ventaja de estar más protegida que las aguas superficiales frente a una posible contaminación, pero una vez que se ha incorporado el agente contaminante al flujo subterráneo es difícil detectarlo y predecir la extensión de su efecto. Además, en la mayoría de los casos, es casi imposible establecer medidas correctivas que produzcan una rápida recuperación.

## **La sustentabilidad del recurso subterráneo**

Nuestra provincia debe efectuar el manejo optimizado de sus recursos hídricos globales con miras al desarrollo sustentable, para lo cual se precisa abordar los distintos factores hidrológicos en los planes de manejo, considerando las distintas actividades humanas y sus posibles efectos puntuales o zonales sobre el recurso hídrico. Para ello es necesario realizar la valoración del riesgo a la contaminación. En este sentido se cuenta con normativas precisas sobre emisión a aguas superficiales y disposición de residuos sólidos.

Generalmente para evaluar el riesgo potencial de contaminación de un acuífero se efectúa un proceso secuencial que abarca la caracterización de los sistemas acuíferos relevantes, seguido por un análisis de vulnerabilidad de éstos, que finalmente se utiliza para evaluar el riesgo asociado al desarrollo de actividades

de distinto tipo. La aplicación de métodos de evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación implica conocer con un determinado nivel de detalle las características hidrogeológicas de las zonas de interés.

La definición tradicional de Vulnerabilidad de un Acuífero se refiere a la susceptibilidad natural que presenta a la contaminación, y está determinada principalmente por las características intrínsecas del acuífero. De acuerdo al National Academy Council (1993) el concepto de Vulnerabilidad del Agua Subterránea se refiere a la tendencia o probabilidad que un contaminante alcance una posición especificada en el sistema acuífero, después de su introducción en algún punto sobre el terreno.

Los sistemas hídricos de la provincia de Mendoza, en especial la cuenca de aguas subterráneas Mendoza Norte y la cuenca Mendoza Centro, han sido estudiados sistemáticamente, lográndose un nivel aceptable de conocimiento de sus aspectos físicos y dinámicos.

Este conocimiento permite diferenciar las unidades hidrogeológicas, definidas en cada cuenca, de acuerdo a factores que pueden tener relevancia en la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos y los riesgos de contaminación asociados a actividades antrópicas.

Actualmente estas herramientas permiten definir los aspectos esenciales para establecer políticas de ordenamiento territorial que determinen la localización racional de actividades humanas en previsión del desarrollo sustentable.

## **Principales problemas del agua subterránea**

Los problemas de las aguas subterráneas mendocinas se vinculan con las cantidades y la calidad de las mismas. En las cuencas Norte, Centro y Sur el desarrollo de cultivos intensivos bajo riego ha provocado la salinización del acuífero somero (ó freático) donde existe cierto grado de confinamiento; las sales disueltas que suelen traer las aguas de los ríos y las aguas subterráneas destinadas al riego, más aquellas acumuladas en el perfil del suelo que exploran las raíces de las plantas regadas, suelen percolar en profundidad incorporándose a los acuíferos freáticos salinizándolos y haciéndoles perder sus aptitudes.

A la vez, en la cuenca Norte se encuentran dos áreas afectadas por la intensa extracción. Una de ellas corresponde a la subcuenca El Carrizal, la cual se encuentra en un delicado equilibrio, el que ha motivado a que el DGI la declare zona de restricción para construcción de nuevas perforaciones; esta subcuenca ha sufrido, además, la contaminación de su acuífero con sales de las formaciones petroleras y subproductos del petróleo. Hoy se encuentran corregidas la mayoría de las acciones que producían esas alteraciones y la subcuenca se encuentra monitoreada en forma permanente.

La otra se encuentra en el sector este de esa cuenca, más precisamente, en el departamento San Martín. Allí, el problema planteado se acentúa en el acuífero somero y se extiende hacia niveles de explotación más profundos. Gran cantidad de perforaciones deterioradas y con defectos de construcción han vinculado el acuífero somero salinizado con otros más profundos, permitiendo el pasaje de agua salada hacia ellos. Este sector de la cuenca posee un número grande de perforaciones en actividad que explotan niveles inferiores, por lo que ese pasaje de agua salada en profundidad se ha visto acelerado al bombearse intensamente. A la vez, ese bombeo intenso desde el nivel más bajo retorna a la superficie sales que, simultáneamente, inducen a que descendan desde el acuífero somero. Es decir, que existe un proceso de retroalimentación de sales que afecta los suelos agrícolas.

## **El Riego en Mendoza**

Argentina cuenta con una superficie implantada de 33.491.480 hectáreas que representan el 19% del total del área total del país. La superficie efectivamente regada en el país es de 1.355.601 hectáreas y representa el 4%

de la superficie implantada. La provincia de Mendoza, es la que tiene la mayor superficie regada del país (267.889 ha, representando un 20% del total a nivel nacional), y por su condición semidesértica su desarrollo y la vida de sus habitantes se debe exclusivamente al aprovechamiento integral de sus recursos hídricos. Una vasta infraestructura de riego que haga posible su aprovechamiento se desarrolló en cada uno de los cinco ríos que se destinan al riego: Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Malargüe. Los ríos Grande, Barrancas, Colorado y Desaguadero no son usados para tal fin hasta el momento.

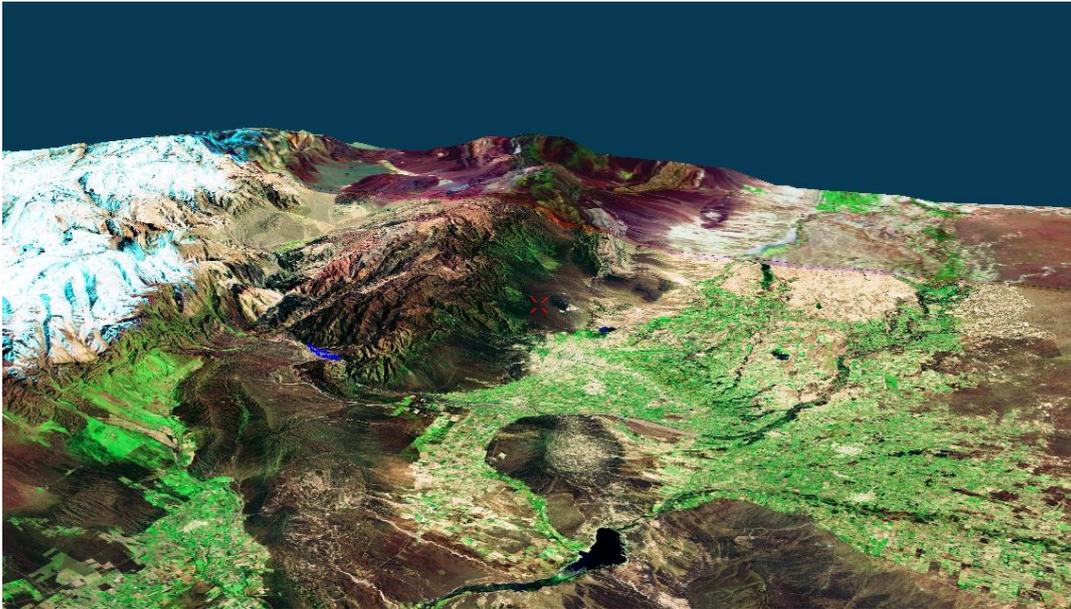


Foto 7: imagen satelital del oasis norte (rio Mendoza y Tunuyán inferior)

**Algunos conceptos básicos:** para entender mejor los contenidos propuestos en el tema del riego, es importante previamente conocer algunos términos básicos relacionados.

**Evapotranspiración:** se conoce como evapotranspiración (ETc) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación, por una parte, y por otra mediante la transpiración del cultivo.

**Necesidades de riego de los cultivos:** la cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración de una plantación se define como necesidades de agua del cultivo. A pesar de que los valores de la evapotranspiración del cultivo y de sus necesidades de agua son parecidos, sus definiciones conceptuales son diferentes. Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración. La necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la evapotranspiración de un cultivo y la precipitación efectiva (agua de lluvia efectivamente usada por la planta). El requerimiento de agua de riego también incluye cierta cantidad de agua adicional para el lavado de sales, y para compensar la falta de uniformidad en la aplicación del agua en el riego.

## ¿Por qué regamos?

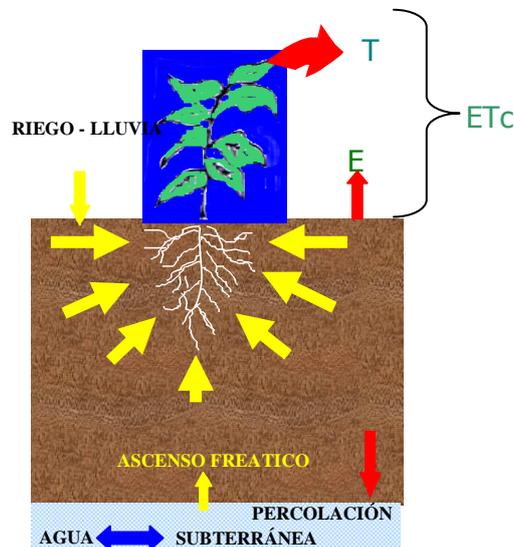


Figura 4: componentes del balance hídrico en la zona no saturada cultivada

En la superficie de la tierra, tanto la demanda evapotranspiratoria como la lluvia están distribuidas de manera tal, que determinan regiones geográficas con características climáticas propias, altamente diferenciadas.

La evapotranspiración, en cuanto al régimen y a su valor anual, condiciona la actividad vegetativa y, por ende, la actividad agropecuaria y su distribución territorial: desde los climas donde es mínima y en los que no resulta posible desarrollar cultivos, hasta aquellos en donde la actividad se registra en forma continua todo el año.

Comparar el monto y el régimen de la evapotranspiración potencial con el de la precipitación de una determinada región, permite definir, globalmente, su situación hidrológica y sus posibilidades de desarrollo. Asimismo, permite determinar los períodos de actividad vegetativa de los cultivos, los déficits y excesos de agua (si los hubiere) y conocer el grado de intervención con que el hombre deberá corregir tales situaciones.

**Definición de riego:** Israelsen y Hansen (1962) definen el riego como “**la aplicación artificial de agua al terreno, con el fin de suministrar a las especies vegetativas la humedad necesaria para su desarrollo**”. Dichos autores, ampliando la definición, asignan al riego los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Enfriar el suelo y la atmósfera para, de esta forma, mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- Lavar y diluir sales contenidas en el suelo.
- Reducir el peligro de erosión por canales que efectúe el agua a través del suelo.
- Ablandar los terrones de tierra.

El objetivo básico del riego y la esencia misma del uso de esta práctica agrícola es precisamente compensar el déficit de humedad del suelo para satisfacer el requerimiento de los cultivos que se desarrollan en él.

El riego permite compensar artificialmente el déficit de agua y la del drenaje eliminar el exceso. La facilidad de llevar a cabo obras y prácticas de riego para compensar el déficit, depende de su duración y frecuencia, y de su significancia económica y social. A tal fin se distingue el riego integral, el riego complementario y el riego suplementario.

Se considera al riego un riego **integral** cuando el período que comprende y la magnitud del déficit es significativo, y el aporte de la lluvia al proceso evapotranspiratorio es tan escaso que puede despreciarse. Este es el caso de los sistemas de riego de las zonas áridas o semiáridas como Mendoza.

Se llama riego **complementario** cuando el aporte de la lluvia al proceso evapotranspiratorio durante un lapso ininterrumpido resulta significativo, esto es mayor del 30% y menor del 60% de la evapotranspiración. Debe aprovecharse el recurso (agua de lluvia) para disminuir así la necesidad de riego. En este caso es más importante el valor de la precipitación que su distribución. Es el caso que se da en zonas como el Este de la provincia de San Luis.

Por último se considera riego **suplementario** a aquél que se realiza en áreas en que la lluvia representa la casi totalidad de la evapotranspiración, pudiendo incluso superarla en parte del período. No obstante pueden presentarse irregularidades en el régimen de lluvias, que hacen que ocurran lapsos breves (de una a tres semanas) de escasa o nula precipitación, lo que afecta la producción con las consiguientes consecuencias económicas.

Tanto en el riego integral como en el complementario, la producción depende íntegramente de esta actividad, mientras que en el suplementario representa más a la necesidad de asegurar la producción que normalmente se alcanza con la precipitación media del área, a base de corregir las irregularidades de la lluvia en cortos períodos de tiempo.

**Eficiencia de riego:** la **eficiencia del riego (ER)** es la relación o porcentaje entre el volumen de agua efectivamente utilizado por las plantas y el volumen de agua retirado en la bocatoma de un sistema de riego. Una parte importante del agua extraída no es utilizada por las plantas y se pierde en la red de canales y en las parcelas de riego.

Esta eficiencia de riego puede descomponerse en: eficiencia de **conducción (Ec)** de **distribución (Ed)** y de **aplicación (Ea)**; la primera corresponden a la conducción (canales mayores); la segunda es la eficiencia lograda en los sistemas de distribución (canales menores, hijuelas y acequias); por su parte la de aplicación es la eficiencia lograda sobre la superficie del suelo en el que se aplica el riego, mediante un método específico. Por lo dicho, se puede decir matemáticamente que **ER = Ec \* Ed \* Ea**.

La red de conducción parte de la toma de agua (desde el dique derivador, el lecho del río u otra fuente de agua), es de uso comunitario, transporta caudales elevados y normalmente no existen en ella tomas directas para riego. Las pérdidas de agua en el proceso se pueden producir por infiltración a través de las paredes de las conducciones (lo que es muy relevante en el caso de canales no revestidos), por evaporación y por transpiración de la vegetación existente en el cauce y sus proximidades. También pueden ocurrir deficiencias en el manejo (desbordes, errores de distribución, etc.).



Foto 8: canal de distribución de agua sin revestir

Las redes de distribución parten de la red de conducción, normalmente de los canales secundarios o de represas, y finaliza en las tomas de agua de las propiedades agrícolas, pasando de ahí a las parcelas cultivadas. En los sistemas por gravedad, las causas de las pérdidas son las mismas que en la red de conducción. Caso muy diferente es el de los sistemas de riego bajo presión, en donde la red de distribución parte de la estación de bombeo y se distribuye en tuberías bajo presión hasta la toma del propio sistema de riego, por lo que las pérdidas se reducen a fugas por averías o infrecuentes errores de manejo.



Foto 9: riego del arbolado público

Finalmente, se debe hacer mención a la aplicación del agua, es decir desde que el agua está disponible en la toma de la parcela de riego y hasta que queda almacenada en el zona radical de las plantas o rizósfera. Aquí, las pérdidas pueden ser por percolación, escurrimiento superficial y en menor medida por evaporación.

### Métodos de riego más usados

A continuación se presenta una síntesis con los métodos de riego más habitualmente utilizados y se da una breve explicación de los mismos.

<b>MÉTODOS DE RIEGO</b>		
<b>Métodos superficiales o por gravedad</b>		<b>Métodos presurizados</b>
<b>Superficiales tradicionales</b>	Surcos (con y sin pendiente)	Riego por aspersión
	Melgas o a manto	Riego por microaspersión
<b>Superficiales tecnificados</b>	Conducción por tuberías	Riego por goteo
	Dosificadores a los surcos	
	Riego discontinuo (por pulsos) o con dos caudales	

**-Superficiales o por gravedad:** el agua se desplaza sobre la superficie del área a regar, cubriéndola total (melgas o a manto) o parcialmente (surcos), conducida solamente por la diferencia topográfica entre un punto y otro, por la acción de la fuerza de la gravedad (de ahí el nombre de métodos gravitacionales)



Foto 10: riego por medio de melgas



Foto 11: riego por medio de surcos

Según la topografía y el tipo de sistematización que se haya realizado en la finca se pueden dividir en dos grupos principales:

- Con pendiente y desagüe al pie: el riego consiste en hacer escurrir el agua durante un tiempo suficientemente largo para que se infiltre el volumen que deseamos almacenar (se producen pérdidas por infiltración diferenciales en cada punto y por escurrimiento al pie de la parcela).
- Sin Pendiente: cuando la superficie a regar es “llana”, el método consiste en “llenar” el surco o la melga con el volumen deseado de agua y luego cerrar este “recipiente” y pasar a regar otros (se pueden producir pérdidas por percolación en cabecera, no hay escurrimiento al pie). El surco o la melga permanecen con agua hasta que el volumen se infiltra totalmente.

**-Superficiales tecnificados:** son métodos que buscan evitar alguna de las pérdidas que se producen en los métodos gravitacionales tradicionales, con el objeto de mejorar el control y la homogeneidad del agua aplicada.

- Conducción por tuberías: reducen las pérdidas por conducción y distribución en el interior de las propiedades.
- Dosificadores de caudal: logran que el caudal que recibe cada surco o melga sea el mismo, esto se logra mediante el uso de “sifones” para tomar agua de canales a cielo abierto o de orificios uniformes y regulables, si los surcos / melgas son abastecidos desde mangas o tuberías.
- Riego discontinuo y con dos caudales: especialmente diseñado para riego con pendiente. Buscan mejorar la uniformidad de infiltración a lo largo de los surcos y reducir a un mínimo las pérdidas por escurrimiento al pie. Mediante la interrupción del caudal o el uso de caudales variables, con un caudal grande logran un mojado más rápido de la totalidad del surco y luego aportan un caudal mínimo que se infiltra casi en su totalidad.



Foto 12: riego por superficie tecnificado por medio de tubería con ventanitas regulables

**-Presurizados:** requieren de una determinada presión para operar. El agua se obtiene por una diferencia de cota entre la fuente de agua y el sector a regar, o mediante un equipo de bombeo. El agua se conduce hasta la cabecera de la parcela mediante tuberías a presión. Existen diferentes tipos en función de los emisores que se utilicen.

- **Aspersión:** simula el aporte de agua que realizan las lluvias. Consiste en distribuir el agua por tuberías a presión y aplicarla a través de aspersores en forma de lluvia (cañones regadores, de avance frontal y equipos de diferentes dimensiones de alas móviles, etc.) mojando toda la superficie. Se busca aplicar una lámina de agua que sea capaz de infiltrarse en el suelo sin producir escorrentía. Si el equipo está bien diseñado respecto al tipo de suelo a regar, se obtiene una lámina muy uniforme sin que se presente escurrimiento. Se usa para regar jardines.
- **Microaspersión:** similar a la aspersión, pero a escala muy reducida. Se dispone de una gran cantidad de mangueras de riego que recorren las líneas del cultivo con emisores individuales o para un grupo de plantas (“microaspersores”) que con diferentes diseños mojan una superficie relativamente pequeña.
- **Goteo:** el agua se conduce a presión por tuberías y luego por mangueras de riego que recorren las hileras del cultivo. El emisor, externo o incorporado a la manguera de riego, es un “gotero” de caudal con una separación variable según el suelo y el cultivo a regar. Aplica el agua en forma de gotas que se van infiltrando a medida que caen.



Foto 13: riego por aspersión



Foto 14: Riego localizado (goteo)

Es importante recalcar que los métodos muy tecnificados no siempre aplican el agua tan eficientemente como se lo promociona, y que el escurrimiento superficial (riego superficial) utilizado sin pérdidas de conducción, bien proyectado y operado puede alcanzar una alta eficiencia, sin la presencia de problemas

asociados como la salinización del suelo, la presencia descontrolada de nemátodos y otras plagas, características de los métodos de riego localizados.

### **Cómo realizar un mejor aprovechamiento del agua para riego**

En Argentina surgen como problemas comunes para todas las áreas de riego dos factores fundamentales: el primero es el uso poco eficiente del recurso hídrico a nivel nacional, y el segundo, la falta de modelos modernos aptos para administrar el agua para los diferentes usos. Esto produce problemas económicos regionales y traba el desarrollo y la expansión futura de las áreas bajo riego.

Teniendo en cuenta esto, para mejorar el aprovechamiento del agua es necesario revisar y activar la política hídrica nacional y regional, incentivando la participación de los usuarios en el manejo y administración del recurso hídrico, premiando el uso eficiente del recurso y castigando al ineficiente y contaminador.

La propuesta de IPTRID (Programa internacional para la investigación tecnológica en riego y drenaje, financiado por el Banco Mundial) aconseja a los entes responsables de la administración del agua:

- 1.- Modernizar la administración y entrega a los diversos usos del agua.
- 2.- Realizar las reformas políticas necesarias considerando la evaluación del agua y la revisión de su costo de oportunidad.
- 3.- Crear incentivos para mejorar la eficiencia de aplicación del agua.
- 4.- Adoptar tecnologías para lograr el ahorro del agua y mejorar su calidad.
- 5.- Ejecutar las reformas institucionales y de manejo que permitan incentivar la conservación del agua y sus beneficios productivos.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, resulta necesario que cada administración realice a nivel de cuenca un “Plan de acción para el manejo apropiado del agua”.

Se define como manejo apropiado del agua a la aplicación de aquellos métodos culturales, sistemas y técnicas que posibiliten una calidad de vida y un nivel social adecuado, ambientalmente aceptable, con los que se obtengan productos o servicios de calidad, al menor costo económico. Obviamente, un manejo apropiado del agua no propone el uso de poca tecnología o de formas de manejo de trabajo intensivo, es más bien la correcta selección y adopción de las soluciones adecuadas para alcanzar las condiciones de desarrollo en un ambiente particular, pero sustentable. (John Hennessy, 1992). Para ello se deberá considerar:

- 1.- . La adopción de una visión holística de la base del conocimiento (disponibilidad y calidad del agua), de la naturaleza de la demanda de agua (potable, sanitaria, agrícola e industrial) y de la necesidad de protección de desastres naturales (sequías e inundaciones).
- 2.- . El logro de acuerdos con los usuarios de cuencas, partícipes naturales del desarrollo, el derecho de las comunidades al uso equitativo del agua en su área, sea ésta regional, interestatal o internacional; sin perjudicar a las otras comunidades.
- 3.- . La adopción del principio que indica que todos tenemos derecho a disponer de agua limpia a precio razonable y que el agua no es un regalo.
- 4.- . La decisión de entrega de agua sobre la base del valor económico-social del recurso. Principio de “el que usa, paga”.
- 5.- . La necesidad de que todos los sectores interesados participen en las decisiones del cuidado del agua (sector público, usuarios, grupos comunitarios, grupos conservacionistas, organizaciones no gubernamentales, etc.)
- 6.- . Que los responsables de la administración del recurso hídrico, en su ámbito de acción, realicen el registro de la entrega del agua a los usuarios individuales y que esos datos estén disponibles libremente.



Por otro lado, sería conveniente asegurar el monitoreo del agua superficial, subterránea y de los suelos en cada una de las cuencas, para conocer su estado y tomar medidas correctivas a tiempo.

## **Drenaje agrícola**

El drenaje agrícola es la eliminación del exceso de agua en los suelos o tierras cultivadas. Su solución se alcanza mediante procedimientos empleados para desecar el terreno agrícola por medio de tubos o conductos subterráneos perforados.

El **suelo** es un **medio poroso** compuesto por partículas minerales, agua, sólidos y aire, y habitado por raíces, fauna y microorganismos. En este medio, los poros pueden estar total o parcialmente ocupado por agua. Lo conveniente es que los poros estén parcialmente ocupados por líquido (el resto por aire), para evitar la asfixia radical y otros inconvenientes.

Si se realiza un sondeo (orificio, agujero, pozo) en suelos con problemas de drenaje, se observará a cierta profundidad la presencia de agua, que en un primer momento asciende un poco para luego estabilizarse a un cierto nivel, el que se denomina nivel freático, y que separa la zona saturada (los poros se encuentran completamente llenos de agua) de la de la no saturada

El drenaje agrícola se inició en las regiones húmedas como una técnica de manejo del agua, para impedir que los suelos se encharcaran en superficie y así poder mantener el nivel de la capa freática por debajo de la zona donde exploran las raíces (rizosfera). De esta forma se logra mejorar la aireación del suelo en la zona radical, aumentar la disponibilidad de nitrógeno para una mayor actividad de los microorganismos del suelo y favorecer la mineralización del mismo, como así también posibilitar el tránsito de maquinarias y poder realizar las labores culturales en los momentos oportunos.

Luego el drenaje se difundió a las zonas áridas bajo riego, para eliminar los excesos de agua y evitar la salinización de los suelos regados cuando la freática está muy próxima a la superficie (menos de 2 m de profundidad). El drenaje también es el elemento fundamental en la recuperación de suelos salinos.

## **Drenaje en las zonas bajo riego como Mendoza**

Toda producción agrícola en condiciones económicas favorables necesita de un ambiente edáfico adecuado en la zona de exploración radical, el que depende de diversos factores, entre ellos el régimen hídrico, su aireación, nivel de salinidad, actividad de microorganismos, etc.

Como ya se dijo, en zonas áridas el régimen de reposición natural de agua al suelo no se ajusta a las reales necesidades de los cultivos, debiéndose reponer o suministrar agua mediante el riego, lo cual hace variar el régimen natural de humedad del suelo y en suelos con mal drenaje (baja velocidad de infiltración) cuando los volúmenes aportados son mayores que los consumidos por las plantas se producen problemas de elevación del nivel freático. Es sabido que zonas con riego, desarrolladas cuidadosamente, al ser operadas rara vez alcanzan eficiencias de riego mayores al 60 %, lo que indica que en el mejor de los casos el 40 % del agua de riego no es usada por las plantas, percolando en profundidad o recargando la freática y elevando su nivel.



Foto 15: suelo con freática cercana a superficie. Sobre la izquierda se ve una acequia sangría.



Foto 16: tubería de drenaje perforada enterrada que está eliminado el exceso de agua del suelo

Estas pérdidas se infiltran en profundidad y cuando alcanzan estratos transmisores impermeables (suelos de texturas “pesadas”, normalmente con alto porcentaje de arcillas) causan problemas de elevación del nivel freático, con los consiguientes inconvenientes de salinización de suelos y asfixia radical de los cultivos; por ello, se deben eliminar los excesos mediante obras de drenaje.

Esta problemática se agrava en forma cíclica, dependiendo entre otros factores de la ocurrencia de ciclos hidrológicos ricos o pobres (lluvia, nieve); filtraciones e infiltración del agua de la red de distribución no impermeabilizada (canales); eficiencia de riego, etc.

En el mundo se degradan anualmente 10 millones de hectáreas por problemas de salinización y drenaje y se encaran obras de recuperación en tan solo 2 millones de has. Haciendo proyecciones sobre información de FAO del año 1980, se estima que en la actualidad existirían aproximadamente unos 200 millones de hectáreas drenadas en el mundo, mientras que unos 80 millones de has regadas necesitarían ser drenadas.

En Mendoza se ha visto en el pasado reciente (ciclo hidrológico rico 1980-1990) cómo se salinizaron por este problema miles de hectáreas, produciendo la muerte de cultivos o la disminución de sus rendimientos, terminando con el abandono de dichas tierras. Esta situación se ve agravada ya que, en esta provincia, el derecho de agua es inherente a la tierra, por lo cual al degradarse suelos con derecho de agua no es posible transferir esos derechos de riego a otros suelos, es decir que nos vemos obligados a mantener la productividad de nuestros suelos regados so pena de transformar los oasis cultivados en el desierto que anteriormente eran.

## Implementación del drenaje

El abatimiento del nivel freático en los suelos con problemas de drenaje se logra mediante la colocación o ejecución de drenes en el suelo, a determinada profundidad y espaciamiento uno de otro, con el objeto de evacuar (drenar) el agua. Dichos drenes pueden ser abiertos o cerrados, los primeros son zanjas profundas en el suelo y los cerrados son tubos ranurados o perforados que se instalan a cierta profundidad, estos últimos se han difundido ampliamente en los últimos 30 años debido a sus múltiples ventajas sobre las zanjas, como permitir que circule la maquinaria agrícola, y el hecho de no desperdiciarse terreno, ya que se puede implantar cultivos sobre los mismos.

Se hace indispensable actuar con racionalidad en este tema y estar siempre alerta dado que es un problema cíclico, y que tanto su duración como su nueva aparición es variable en el tiempo, y también porque las tareas de recuperación son costosas y en muchos casos sobrepasan aún el valor de la tierra.



Tanto los agricultores como los organismos oficiales correspondientes, acuciados por los problemas económicos, tienden a abandonar el mantenimiento de los drenes y colectores de drenaje luego de la desaparición momentánea del problema, lo que ocasiona que al producirse nuevamente no se esté en condiciones de actuar inmediatamente, siendo esto fatal ya que en un ciclo agrícola puede quedar degradado el suelo.

Por lo tanto, se hace indispensable el permanente mantenimiento y la lectura de la red de freatómetros instalados o pozos de observación del agua freática (orificios realizados con tubos de PVC de 3 a 4 pulgadas de diámetro, 3 m de profundidad, perforados o ranurados en su tercio inferior y con un material filtrante para que ingrese agua del suelo al interior del tubo (libre de sedimentos) y así medir la profundidad del agua), a fin de monitorear permanentemente el comportamiento del nivel freático y elaborar mapas temáticos necesarios para alertar tanto a los agricultores como a las reparticiones oficiales involucradas, a fin de tomar las medidas correspondientes con antelación.

Además, es necesario hacer estudios integrales de drenaje tanto zonal como parcelarios a fin de conocer la problemática particular de cada zona potencialmente afectable y de disponer de información necesaria (valores de las variables, mapas temáticos, etc.) para el diseño y la ejecución de las medidas y obras de recuperación necesarias.

Como se expresó anteriormente, el nivel freático separa a la zona no saturada (arriba del nivel freático) de la zona saturada (debajo del NF). En suelos con excesos de agua y con deficiente drenaje, como es lógico suponer, el nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie, quedando parte del sistema radical de los cultivos en la zona saturada con los perjuicios ya mencionados, por lo que es necesario drenar esas tierras para alejar la zona saturada de la zona que exploran las raíces, aumentando la profundidad o espesor de la zona no saturada.

Esta zona no saturada es importante también ya que representa la primera línea de defensa contra la contaminación del agua subterránea, siendo un ambiente favorable para atenuar o eliminar contaminantes. El agua, en esta capa, presenta un movimiento lento, y circunscripto a los poros pequeños con superficie específica muy grande, en donde el ambiente es normalmente aeróbico y frecuentemente salino, favoreciendo procesos como:

- 1) Intercepción y eliminación de microorganismos patógenos;
- 2) Atenuación de metales pesados y otras sustancias químicas inorgánicas, mediante precipitación (carbonatos, sulfuros, hidróxidos) y el intercambio de cationes,
- 3) Biodegradación de hidrocarburos y compuestos orgánicos naturales; todos estos procesos se continúan en la zona saturada, aunque en mucho menor medida.

## **Contaminación de las aguas superficiales**

La supervivencia del hombre depende mayormente de la disponibilidad de agua. Es sabido que solamente una pequeña fracción del total de agua presente en la Tierra se encuentra disponible de manera más o menos directa para su empleo en las actividades humanas. Esa cantidad se ve significativamente disminuida si se consideran los efectos de la contaminación sobre su calidad, de manera que la misma sea adecuada para sus principales usos.

Los problemas de calidad del agua se han intensificado con el tiempo en respuesta al crecimiento y la mayor concentración de poblaciones y centros industriales, pero recién cuando se reconoció que como consecuencia de las descargas descontroladas de aguas residuales se podían producir serios problemas sobre la salud, es que se inició un efectivo control de la contaminación del agua.

La falta de agua dulce suficiente y en calidad adecuada compete con el cambio climático entre los problemas más graves a nivel global, y si las predicciones que estiman un aumento en el uso del agua de un 50% en los



próximos 30 años se cumplen, la situación explicada no puede sino empeorar. Solamente podrá evitarse una crisis global del agua si se adoptan cambios esenciales en la gestión de ese líquido elemento por parte de la sociedad.

La palabra contaminación implica características de calidad indeseables, en este caso en el agua. Sin embargo, ello puede ser interpretado de diferentes maneras. Así, la presencia de ciertas sustancias consideradas contaminantes para la provisión de agua para consumo humano podría ser aceptable o aún deseable si se trata de agua para usos recreativos. Las diferencias explicadas acerca de lo que puede considerarse como contaminación, sirven para explicar el concepto básico de que la calidad del agua no puede ser evaluada completamente sin considerar los usos específicos que se harán de la misma. Por ello, puede definirse a la contaminación como “la presencia de materiales en el agua que interfieren de forma importante con uno ó más usos benéficos de la misma”.

Esta definición relaciona a la contaminación con problemas de calidad de agua específicos en el cauce o curso que la conduce. Si una descarga de aguas residuales verdaderamente interfiere con algún uso benéfico que de otra forma sería deseable, podremos afirmar que ese curso de agua está “contaminado”. Pero si la descarga no crea un problema de calidad de agua ello no constituiría estrictamente un caso de contaminación.

### **Agentes contaminantes**

Según lo dicho, tradicionalmente se habla de dos grandes categorías en las que pueden ser divididas las múltiples fuentes de contaminación de aguas superficiales: (a) fuentes puntuales, cuando los problemas de contaminación del agua son causados por sustancias originadas en una fuente en particular; y (b) fuentes no puntuales ó difusas, resultado de contribuciones desde diversas fuentes, siendo importante reconocerlas, así como reconocer los tipos de materiales que cada una de dichas fuentes puede aportar. Las fuentes puntuales incluyen a las aguas residuales de origen municipal e industrial, y cualquier otra fuente para la cual se puede identificar un punto de entrada específico. La segunda categoría incluye el escurrimiento del agua desde las tierras, y otras contribuciones que no pueden ser circunscriptas a un punto de entrada específico. Generalmente los aportes desde fuente puntuales pueden ser tratados y controlados antes de su descarga, mientras que las fuentes difusas son más difíciles de manejar, por lo que deben ser tratadas de forma diferente.

Según algunos autores, las fuentes desde las que pueden ingresar contaminantes a los cursos de agua incluyen: (i) fuentes naturales (atmósfera, minerales disueltos, descomposición de la vegetación, crecimientos en el medio acuático, agua que escurre por tormentas); (ii) fuentes agrícolas (aumento de la erosión, residuos de animales, fertilizantes, pesticidas, riego); (iii) aguas residuales (cloacas, aguas residuales industriales, agua que escurre por tormentas, principalmente en zonas urbanas, aguas residuales desde embarcaciones, subproductos de tratamientos de agua); (iv) reservorios ó embalses (incorporación de sustancias desde los depósitos de fondo, crecimiento de material vegetal en el agua); y (v) otras fuentes (actividades constructivas, minería, basurales y rellenos de basura, etc.)

### **Contaminantes del agua**

Es importante mencionar que el efecto de un constituyente del agua sobre el uso del que desee hacerse de la misma, dependerá en buena medida de su concentración. Si la sustancia se encuentra suficientemente diluida, posiblemente no presentará problemas para el uso del agua para cierto propósito. Sin embargo, al aumentar la concentración de un constituyente, la calidad del agua puede verse impactada adversamente para algunos usos benéficos, e incluso transformarse en inservible para cualquier uso deseable.

A menudo una sustancia no causa contaminación del agua directamente por su sola presencia, ya que su concentración se encuentra por debajo de la que podría causar problemas de calidad. Es por ello que, según algunos autores, lo apropiado es considerar a cada constituyente del agua como “sospechoso” hasta que se pueda conocer si su concentración está por encima o por debajo de un nivel que puede generar un problema

importante de calidad que limite algún uso benéfico de la misma. De acuerdo a ello, los autores afirman que es preferible referirse a esos constituyentes como “contaminantes potenciales”, es decir que tienen el potencial para causar problemas de calidad de agua, pero que no necesariamente lo hacen siempre.

Los principales tipos de contaminación de las aguas, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) son: (i) por organismos patógenos; (ii) por presencia de sustancias orgánicas susceptibles de ser descompuestas; (iii) por sales inorgánicas; (iv) por fertilizantes naturales y artificiales; (v) por sustancias oleosas (petróleo y sus derivados); (vi) por agentes tóxicos específicos; (vii) por sustancias radioactivas; (viii) por herbicidas, fungicidas, pesticidas, etc.; (ix) por vuelco de aguas con elevada temperatura; (x) contaminación natural por escurrimiento luego de precipitaciones provocada por lavado de lodos, aceites, desechos, etc., sobre fuentes superficiales ó subterráneas

Si bien son numerosas las fuentes de contaminación del agua que pueden analizarse en detalle, en el cuadro que sigue se sintetizan las más relevantes en la Provincia de Mendoza en la actualidad, presentándose una breve descripción de las mismas, de los principales efectos que generan, los sectores en que los mismos se presentan con mayor intensidad ó frecuencia, así como algunas medidas generales reconocidas para su control.



Foto 17: colector aluvional contaminado



Foto 18: canal de riego que ha recibió la contaminación



Foto 19: Piletas de tratamiento de aguas servidas domiciliarias para su re uso en la agricultura

FUENTE	DESCRIPCIÓN	EFECTOS	LOCALIZACIÓN	CONTROL
Actividad agrícola	Uso inadecuado de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes) aplicados a los cultivos o al suelo para mejorar la cantidad y la calidad de la producción	Los agroquímicos aportan elementos como Nitrógeno y Fósforo, que en ciertas formas y concentraciones pueden alterar la calidad del agua, afectando su flora y fauna naturales, provocando en algunos casos cambios en el ecosistema (como la “eutrofización”)	Embalses de la zona Norte (especialmente El Carrizal) y de la zona Sur de la provincia	Las medidas preventivas, como el incentivo en el uso racional de agroquímicos en la producción, son las más efectivas y, a la larga, las menos costosas
	Contaminación salina por uso ineficiente del agua de riego y mal funcionamiento del drenaje	El agua que incorpora cierta cantidad de sales se hace menos apta para su posterior uso ó reuso, tanto en agricultura como en otras actividades	En todas las zonas agrícolas (oasis) de la provincia	Aplicación eficiente del agua en agricultura y buen funcionamiento de los sistemas de drenaje
Actividad industrial	En Mendoza esta actividad se desarrolla en buena medida en los oasis. Se estima que más de 900 establecimientos industriales ejercen actividades contaminantes en la provincia, con distinto grado en cuanto a la calidad y la cantidad de los efluentes que vuelcan	Los agentes contaminantes desde las actividades industriales son muy variados, pudiéndose encontrar agentes biológicos (bacterias y virus) y todo tipo de compuestos químicos. Sin embargo, desde las actividades que predominan en Mendoza (agroindustria) es dable esperar mayormente aporte de sales y de materia orgánica.	La zona del oasis Norte (Río Mendoza y Río Tunuyán Inferior) aparece como el área más afectada por la actividad, pues allí se concentran unos 600 establecimientos.	Adecuado tratamiento de efluentes industriales en los establecimientos. Un adecuado ordenamiento del territorio favorecería que estas actividades se vayan aislando de los sectores agrícolas y poblacionales, en donde suelen ser más impactantes
Actividad sanitaria	Plantas de tratamiento primario de efluentes cloacales (como El Paramillo y Campo Espejo en la zona Norte) En parte, los líquidos residuales son reutilizados para el riego de áreas con cultivos restringidos especiales (A.C.R.E) para lo que los efluentes deben ser adaptados a parámetros de calidad establecidos.	En el caso de los efluentes de la actividad sanitaria provenientes de áreas urbanas, los mismos son sometidos a tratamiento primario y posteriormente, en algunos casos, son reutilizados para riego. En otros casos, en cambio, se produce su vuelco a cauces superficiales, constituyendo un alto riesgo en términos de contaminación del agua, tanto superficial como subterránea	En el Gran Mendoza se han detectado altos niveles de contaminación orgánica debido a la actividad sanitaria. Se perciben efectos también en sectores ubicados hacia la cola del sistema, como en el Departamento de Lavalle	Tratamiento completo y adecuado de efluentes cloacales, adecuándolos para su posible reuso agrícola, de acuerdo a normativa específica
Residuos sólidos urbanos	Existencia de numerosos sitios de disposición no controlada de residuos sólidos, tanto en zonas urbanas como suburbanas y rurales	La generación de lixiviados desde los basurales es un problema por el riesgo de arrastre de agentes contaminantes al agua superficial y especialmente subterránea. La mayoría de los basurales existentes son a cielo abierto o con enterramiento simple, y en general localizados en zonas con suelos permeables. Un serio problema operativo en la red de riego es producido por residuos varios (basura, botellas plásticas, partes de vegetales, etc.) que obstruyen elementos del sistema (compuertas y demás)	La calidad del agua se puede ver alterada por la presencia de sustancias muy variadas, tanto orgánicas como inorgánicas, provenientes de los basurales	Erradicación de basurales a cielo abierto y previsión de suficiente cantidad de sitios controlados para la disposición final de los residuos sólidos de tipo urbanos (desde el Plan Provincial de Residuos Sólidos de la provincia se prevé un gran avance en este tema)

<p style="text-align: center;"><b>Actividad petrolera</b></p>	<p>Derrame de hidrocarburos desde varias fuentes, derrames durante tratamientos químicos o en operaciones de servicios en pozos. Desde diversos elementos que se utilizan durante la explotación, por desechos de refinerías, sustancias limpiadoras, tambores usados, aceites y fluidos hidráulicos, etc. Aguas de producción altamente salinas</p>	<p>Han sido más comunes los efectos sobre los acuíferos, producidos por la disposición de agua de producción, altamente salina, en piletas de filtración, pozos sumideros o inyectores. Además de presentar muy alta salinidad, el agua de producción suele contener restos de hidrocarburos, metales pesados, sustancias radioactivas, etc. Se han producido accidentes que han afectado la calidad de aguas superficiales por el derrame de hidrocarburos desde ductos.</p>	<p>En las cercanías de las zonas productoras. En el oasis Norte de Mendoza se han producido diversos problemas, aparentemente relacionados con la producción petrolera.</p>	<p>En general las empresas petroleras han ido internalizando los posibles problemas ambientales derivados de su actividad, sometiéndose a diversas normativas de calidad y de gestión ambiental (como las normas ISO y similares). De todas maneras, los controles por parte del Estado en esta actividad siguen siendo muy importantes.</p>
---	--	---	---	--



## **Bibliografía**

### ***Caracterización del régimen hidrológico de los ríos mendocinos***

Maza, J.; L. Fornero; H. Yañez "Simulación Matemática de la Fusión Nival y Pronóstico de Escurrimiento". Bulletin de l' Institut Français d' Etudes Andines (ISSN 0303-7495), Tomo 24 N°3, pags. 651-659. Lima, Perú, 1995.

Estadística Hidrológica 2004 - República Argentina- *SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS*. Ed. EVARSA 1a ed. - Buenos Aires, 2004. CD Rom ISBN 987-98869-3-3

### ***Caracterización del fenómeno aluvional***

Fernández, J. M., (1977) "*Contribución a la Historia de los Aluviones de la provincia de Mendoza*" INCyTH-CRA (inédito)

Fernández, P., J. Maza, , A. Vargas Aranibar (1994) "*Prediction of Floods from a Mountain River with Glacierized and Snow Covered Areas*". 2° International Conference on River Floods Hydraulics, York. John Willy & Sons

Fernández, P., A. Vargas Aranibar, J. Maza, L. Fornero (1994) "*Estudio de Campos de Tormentas Convectivas como Productoras de los Aluviones del Oeste del Gran Mendoza*". XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Santiago de Chile. IAHR

Roby, H. (1994) "*Algunas reflexiones sobre aluviones e inundaciones en Mendoza*". Mendoza en el 2000, Proyecto de Ordenamiento Territorial para la Provincia. Centro Coordinador de Ediciones Académicas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza

Vargas Aranibar, A. (1999) "*El Problema Aluvional en Mendoza*". Revista del INA Año II agosto/septiembre 1999. Revista oficial trimestral del Instituto Nacional del Agua

### ***Caracterización de las inundaciones urbanas***

Inundaciones Urbanas en Argentina. Organizador J.C. Bertoni. ISBN 987-9406-76-1. Ed. Universitas, Córdoba, 254 pgs., 2004

Maza J.A., V. Burgos, P. López, V. Benegas "*Sustentabilidad Hidrológica de Urbanizaciones en Pedemonte*". IV Foro Mundial del Agua. CD "Acciones Locales para un Reto Global". Organizado por el Consejo Mundial del Agua y Comisión Nacional del Agua. México DF, 2006.

### ***El agua subterránea en Mendoza***



***Las cuencas de agua subterránea***  
***La reserva o almacenamiento de agua subterránea***  
***La recarga y explotación de acuíferos***  
***El comportamiento hidroquímico del agua subterránea***  
***Contaminación del recurso hídrico subterráneo***  
***La sustentabilidad del recurso***  
***Principales problemas del agua subterránea***

Instituto Nacional del Agua (INA) - Centro regional de aguas subterránea (CRAS), 1969 – 2009. Catálogo Bibliográfico. Investigaciones Hidrogeológicas realizadas en la provincia de Mendoza. San Juan. Argentina

Instituto Nacional del Agua (INA) - Centro Regional Andino (CRA), 1998 – 2009. Investigaciones Hidrogeológicas realizadas en la provincia de Mendoza. Argentina

Pazos, J. A.; J.L. Bessone; J.A. Vivas; A. Vaca; C. Wetten y C.E. Valero, (1993). *Recursos hídricos subterráneos y aguas termales*. Relatorio XII Congreso Geológico Argentino. Geología y Recursos Naturales de Mendoza: 551-599. Buenos Aires. Argentina

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación. Gobierno de Mendoza. Departamento General de Irrigación - Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008. Plan Director de Ordenamiento de los Recursos Hídricos - Cuenca del Río Mendoza. Anexo N° 1: Aguas Subterráneas. Mendoza, Argentina

***El riego en Mendoza***  
***Métodos de riego más usados***  
***Como realizar un mejor aprovechamiento del agua para riego***  
***Drenaje agrícola***  
***Drenaje en las zonas bajo riego como Mendoza***  
***Implementación del drenaje***

Chambouleyron J. (2005) *Riego y drenaje. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable*. Tomos I y II. EDIUNC. Universidad Nacional de Cuyo. 2005

De la Peña I. (1975). *Principios y Soluciones de Drenaje Parcelario*. Chapingo. Méjico

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. (1997). “*Descripción preliminar de la cuenca del río Mendoza*”. Mendoza. Argentina

Grassi C. (1975). *Manual de Drenaje Agrícola*. CIDIAT. Venezuela



- Martínez Beltrán J. (1987). *Drenaje Agrícola*. Vol. I. Instituto Nacional de Reforma Agraria y desarrollo Agrario. IRYDA. España
- Mirábile C., J. Morábito, M. Manzanera, D. Tozzi (2006). *Dinámica de la salinidad del suelo en el oasis del río Tunuyán inferior. Comparación 1985-2002*. III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza
- Mirabile C. (1986) *Balance salino del área bajo riego del río Tunuyán inferior*. INCyTH, Mendoza, Argentina
- Morábito J., J. Martínez Tívoli, S. Salatino, C. Mirábile (2002) *Necesidades de riego en el área de Influencia del río Mendoza*. XIX Congreso Nacional del Agua, 2002. Resúmenes. Carlos Paz- Córdoba. v. 1, p. 71-71
- Morábito, J. (1997) *El riego en el mundo, Argentina y Mendoza*. Publicación interna INA - CRA
- Morábito, J., S. Salatino, R. Medina, M. Zimmermann, M. Filippini, A. Bermejillo, N. Nacif, S. Campos, C. Dediol, D. Genovese, P. Pizzuolo y L. Mastrantonio. (2006) *Evaluación de la calidad del agua en el área regadía del río Mendoza, Argentina*. III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego

### ***Contaminación de las aguas superficiales***

#### ***Agentes contaminantes***

#### ***Contaminantes del agua***

- Álvarez, A., N. Martinis (1996) *Las cuencas hidrogeológicas de la provincia de Mendoza, Contaminación*. RR - M007, INAS, Mendoza
- Chambouleyron, J. et al. (1996). “*Evaluación de la contaminación del agua de riego en el oasis del Río Tunuyán Inferior, Mendoza*”
- Chambouleyron, J. y otros (2002). “*Conflictos ambientales en tierras regadías. Evaluación de impactos en la cuenca del Río Tunuyán, Mendoza, Argentina*”. Editor: UNCuyo. Coeditores: FONCYT – INA. Argentina
- Cubillos, A.(1988) “*Calidad del agua y control de la polución*”. CIDIAT, Serie: Ambiente y Recursos Naturales Renovables. A.R.14. Venezuela
- Lamb, J. C. (1991). “*Water quality and its control*”. Lecture Notes. International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE Delft). The Netherlands
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación - Gobierno de Mendoza - Departamento General de Irrigación - Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008 (2005) Planes Directores de las Cuencas de los ríos Atuel, Malargüe, Mendoza, Tunuyán y Diamante



Zuluaga, J. y otros (2002) *Monitoreo de la calidad del agua de riego superficial y subterránea en el cinturón verde de Mendoza*