

## **Informe Proyecto de Investigación**

### **Análisis de la Interacción Agua Superficial y Subterránea y su Influencia en los Esguimientos en el Tramo inferior de Cuenca del río Atuel**

#### **1. Introducción**

El conocimiento de los procesos hidrológicos y de los factores que determinan la dinámica y la química del agua, es fundamental para el aprovechamiento del recurso hídrico y para diseñar estrategias de gestión. En ambientes semiáridos donde la disponibilidad del recurso hídrico se encuentra limitada tanto en cantidad como en calidad, la comprensión de la dinámica de los procesos hidrológicos es de crucial importancia. Los ambientes semiáridos además de su balance hidrológico mayoritariamente negativo, se caracterizan por presentar una gran variabilidad en las precipitaciones que repercuten sobre la respuesta de los sistemas hidrológicos.

Como resultado de dicha variabilidad hidrológica, es frecuente que en ríos de ambientes áridos y semiáridos se construyan obras de regulación a los efectos de garantizar el abastecimiento de agua a diversas demandas. Dichas obras constituyen un factor adicional que puede afectar drásticamente el régimen hidrológico de los ríos agua abajo, lo que adiciona una incertidumbre mayor a la descripción de dichos sistemas hidrológicos. En este sentido, la cuenca del río Atuel constituye un típico ejemplo de dicha situación.

#### **2. Objetivos**

Describir la relación río-acuífero en la cuenca inferior del río Atuel a partir del análisis de factores naturales y antrópicos.

#### **3. Metodología**

##### **3.1 Descripción del Área**

El área de estudio se abarca en la cuenca del río Atuel, que comprende el sector centro-oeste de la Provincia de Mendoza y el Nord-Oeste de la Provincia de La Pampa. Específicamente, la mayoría de las actividades se focalizan en la parte de la cuenca inferior del río Atuel que se extiende entre el límite de las provincias de La Pampa y Mendoza (paralelo 36° de latitud Sur) hasta su confluencia con el río Salado. Dicha área y que conforma lo que se denomina el delta interior del río Atuel (Figura 1).

El río Atuel atraviesa distintos ambientes geográficos con un desarrollo Oeste-Este desde la cordillera de los Andes, con picos que superan los 5.000 metros de altitud sobre el nivel del mar, hasta la llanura semidesértica de 400 m.s.n.m. en su tramo final donde desemboca en el río Salado en territorio pampeano. Este último tramo se caracteriza por ser una gran planicie aluvial con depósitos de sedimentos aluviales, arenas finas y limos. El delta interior del río Atuel se manifiesta como una compleja red hidrográfica caracterizada por la activación y/o desactivación de distintos cauces como resultado de la acumulación de sedimentos debido al bajo gradiente hidráulico y la intermitencia de los esguimientos, la acción eólica y la actividad antrópica. Actualmente sólo el brazo occidental denominado Arroyo de la Barda se encuentra activo.

Hidrológicamente, el río Atuel en territorio pampeano presenta una drástica modificación de su régimen natural de escurrimientos producto del embalse y la regulación de su caudal tanto para la utilización de agua para irrigación como para la generación de energía hidroeléctrica en la provincia de Mendoza. Como consecuencia de ello, el régimen nival que el río Atuel presenta en la alta cuenca, caracterizado por caudales máximos en primavera-verano y mínimos en invierno, se traduce en escurrimientos intermitentes con máximos en invierno y mínimos o nulos en verano a la entrada de la provincia de La Pampa.

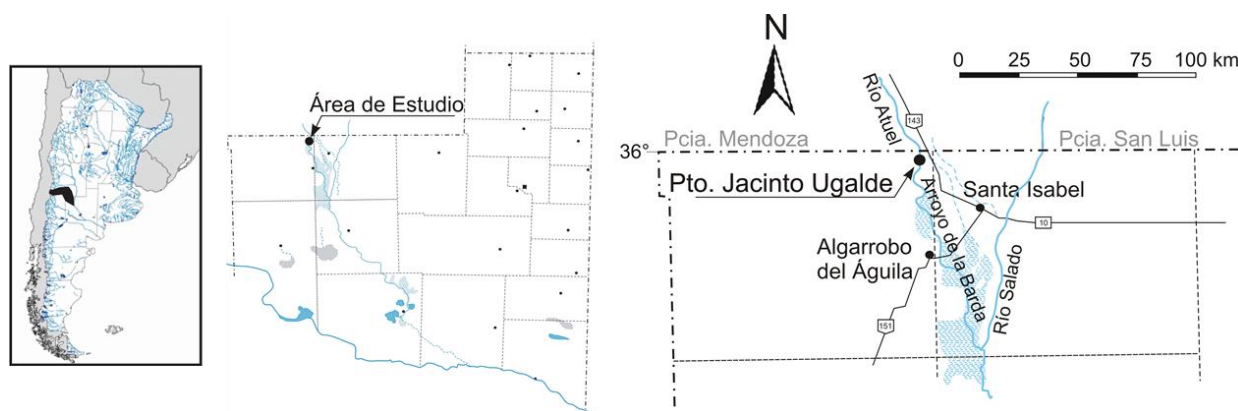


Figura 1: Ubicación de la cuenca del río Atuel en Argentina y la provincia de La Pampa, y detalle de la cuenca inferior donde se focalizó la mayoría de las investigaciones realizadas.

### 3.2 Métodos empleados

Considerando que la interacción entre el agua superficial y subterránea es naturalmente muy compleja y que resulta en respuestas variables tanto espacialmente como temporalmente, distintas técnicas y metodologías se aplicaron para abordar el problema que incluye la identificación y descripción de los procesos de interacción y flujos de agua.

Estos métodos pueden agruparse en hidrológicos, hidráulicos, e hidroquímicos.

## 4. Resultados

### 4.1 Análisis Hidrológico

El estudio se basó en el análisis de los caudales diarios y mensuales registrados en las distintas estaciones de aforo de la cuenca del río Atuel a los efectos de determinar y describir el régimen hidrológico y las modificaciones del mismo.

A partir de la comparación de los caudales mensuales registrados en la estaciones de aforo de La Angostura (Mendoza) y de Puesto Ugalde (Ingreso a La Pampa), aguas arriba y abajo del área de riego respectivamente, se evidencia que ambas series presentan una dinámica similar en cuanto a sus valores extremos, sin embargo se observa un drástico cambio del régimen hidrológico y una manifiesta atenuación de los caudales circulantes en territorio pampeano (Figura 2).

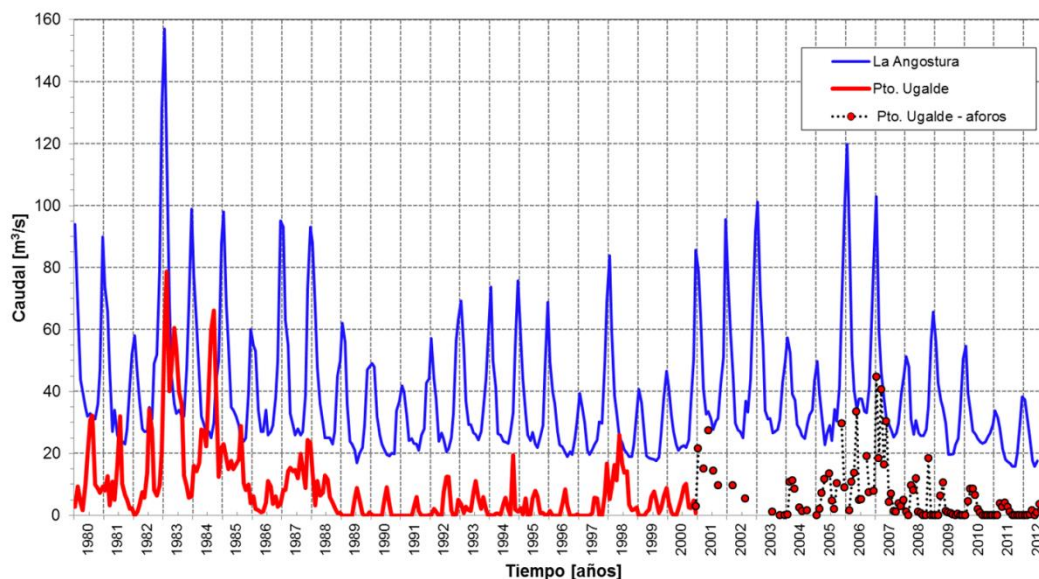


Figura 2: Caudales cronológicos medios mensuales del río Atuel en La Angostura y Puesto Ugalde.

El río Atuel en la Angostura presenta un régimen nival definido, caracterizado por la periodicidad de sus caudales, con valores máximos hacia fines de la primavera y verano y mínimos en el período invernal, y por una marcada irregularidad determinada por la cantidad de nieve que cae durante el invierno. En contraste, en Puesto Ugalde el río adquiere un carácter intermitente con una evidente modificación del régimen hidrológico que se manifiesta con escurrimientos presentes fundamentalmente en la época invernal, a excepción de años hidrológicos ricos que generan excedentes no aprovechables aguas arriba, y que resultan en escurrimientos continuos como los registrados de 1980 a 1988 (Figura 3).

El caudal medio anual para la serie 1980/81-1999/00 con registros continuos es de 38,9 y 8,6 m<sup>3</sup>/s para la Angostura y Puesto Ugalde respectivamente. En Puesto Ugalde el módulo es superado el 30% de las veces mientras que el 18% del tiempo no se registraron escurrimientos. Dichos valores parecen incrementarse en la última década si se consideran los aforos efectuados como representativos de la dinámica del escurrimiento.

El comportamiento del río Atuel en la cuenca inferior es independiente de la alta cuenca y obedece fundamentalmente a la regulación y uso para irrigación y generación de energía hidroeléctrica en Mendoza. Luego del período hidrológicamente rico que caracterizó la década de 1980 donde existieron excedentes que alcanzaron la provincia de la Pampa, se observa que a partir de 1989 los escurrimientos en la cuenca inferior son principalmente invernales. Dicho fenómeno que se manifiesta con una marcada regularidad y se observa aguas abajo del área de riego, en las estaciones de aforo de Carmensa y Puesto Ugalde, responde a la dinámica del sistema de riego y resulta en una drástica alteración del régimen hidrológico del río Atuel. Los escurrimientos son consecuencia de la baja eficiencia del sistema de riego, fundamentalmente por inundación. De esta manera, los importantes excedentes de riego infiltran y resultan en un ascenso del nivel freático hacia fines de la época de riego, que origina que el cauce drene dichos excedentes, debido a su carácter temporariamente efluente como resultado del mayor gradiente hidráulico establecido. La eficiencia de riego del sistema fue establecida por varios autores en un 27%.

Otro factor que contribuiría a la existencia de escurrimientos invernales, es el eventual aporte subterráneo del río Diamante en la zona de Las Aguaditas, aunque la mezcla del mismo con drenajes torna difusa su contribución (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 3: Río Atuel. a) Cuenca alta El Sosneado, b) Cuenca inferior con escurrimientos invernales



(a)



(b)

Figura 4: Drenajes activos en época invernal a) Canal de drenaje cercano al río Atuel aguas arriba de Villa Atuel, b) Zona de las aguaditas.

## 4.2 Análisis Hidráulico

La vinculación hidráulica entre los niveles en el río y en los pozos cercanos al mismo, se realizó a partir de la nivelación a lo largo de transectas transversales al cauce donde se relevó la superficie del terreno, la superficie freática y el tirante de agua (Figura 5). Los sondeos en el cauce y transectas de piezómetros transversales al mismo, muestra que los niveles saturados se desconectan del río en la época estival, mientras que en presencia de escurrimientos se verifica una conexión entre ellos. La Figura 6 ilustra el perfil topográfico transversal en Puesto Ugalde y la ubicación de tres piezómetros y un sondeo correspondiente a un molino. Se observa que en períodos sin escurrimiento el nivel saturado descendió 2,90 m por debajo del cauce. Dichos descensos se verificaron en el abril de 2011 y febrero de 2012 evidenciando que el nivel saturado desciende desconectándose del cauce, hasta que se restablece el gradiente regional del acuífero freático. Por otro lado, la presencia de escurrimientos genera un almacenamiento en banco y le confiere al río un carácter influente, aunque de una extensión muy limitada. Sondeos ubicados a distancias mayores a los 200 metros del cauce no evidenciaron influencias atribuibles al nivel del agua en el río con las condiciones de bajos escurrimientos actuales. Sin embargo, el análisis de la respuesta de los niveles bajo condiciones de escurrimiento históricas refleja en una importante incidencia del río sobre los niveles saturados



(a)



(b)

Figura 5: Relevamiento topográfico. a) Nivelación de sección del cauce río Atuel, b) Sondeo del nivel freático en el cauce del río Atuel.



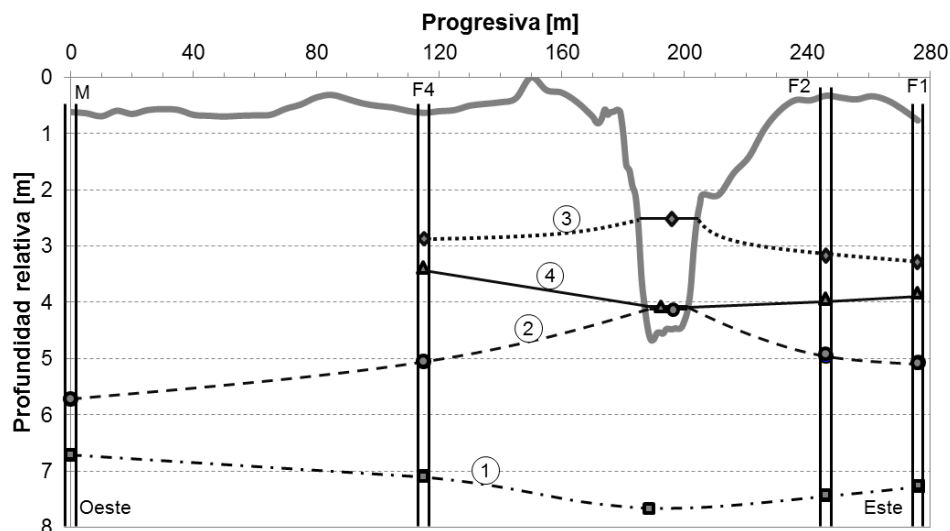


Figura 6: Perfil topográfico transversal al río Atuel y del nivel freático (NF) en Puesto Ugalde. M: molino, F: freatímetro, 1: NF Feb-12 (sin escurrimientos), 2: NF Jul-11, 3: NF May-98, 4: NF Ago-98. Escala vertical exagerada.

### 4.3 Análisis Hidroquímico

La caracterización hidroquímica comprendió la toma de muestras de agua superficial en toda la cuenca, mientras que la toma de muestras de agua subterránea se concentró en la cuenca inferior (Figura 7). Los análisis de laboratorio incluyeron fundamentalmente las determinaciones de los iones mayoritarios. Además, se obtuvieron muestras para las determinaciones isotópicas de deuterio y oxígeno-18, realizadas en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, UBA-Conicet). El análisis incluyó además la vinculación de las características hidroquímicas con la duración y estacionalidad de los escurrimientos.

La caracterización hidroquímica muestra, a partir del análisis de los iones mayoritarios, que el agua superficial presenta la misma tipificación, predominantemente sulfatada-cálcica, a lo largo de toda la cuenca al igual que el agua subterránea en la cuenca inferior (Figura 8). Además, coincide con el análisis histórico que verificó que dicha tipificación no se modifica con la magnitud y con la duración de los escurrimientos, aunque sí se evidenció una mayor dilución de los iones mayoritarios con el incremento de ambas situaciones. Similarmente, no se observaron diferencias significativas en el tipo de agua según la estación del año, sin embargo las muestras de verano tenían concentraciones similares a la muestra invernal del período de mayor duración.

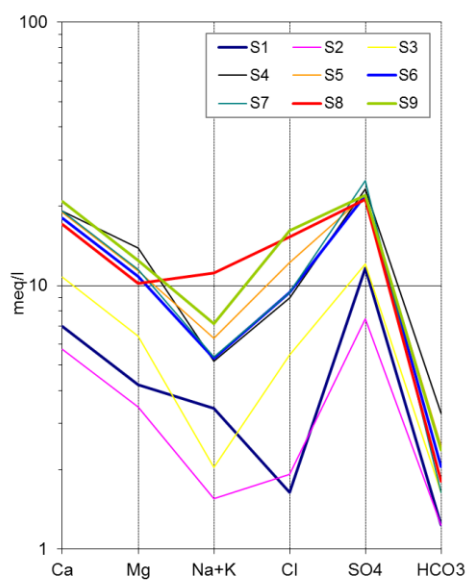


(a)

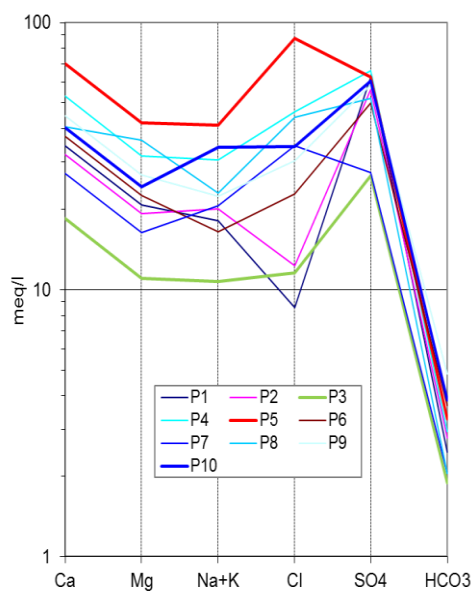


(b)

Figura 7: Muestreos. a) Toma de muestras de agua superficial y b) Determinación de parámetros fisicoquímicos a campo.



(a)



(b)

Figura 8. Diagrama de Schöeller-Berkaloff de muestras de agua en la cuenca del Río Atuel.

a) S: agua superficial, b) P: agua subterránea.

## 5. Conclusiones

A partir de los resultados alcanzados, se detalla en forma sintética las evidencias y procesos que afectan la dinámica del río Atuel en su cuenca inferior.

- Se observa que debido al embalse, regulación y al uso de sus caudales en la provincia de Mendoza, el régimen hidrológico fundamentalmente nival del río Atuel, se ve drásticamente modificado. En consecuencia, el río Atuel en territorio pampeano presenta un carácter intermitente con una inversión del régimen con escurrimientos invernales muy atenuados y mínimos o nulos en el período estival.
- Dicha variabilidad en los escurrimientos genera un cambio en el tipo y en incidencia de la interacción entre el agua superficial y subterránea. Para las condiciones actuales, al inicio de los escurrimientos típicamente en el mes de mayo y durante el invierno, le confieren al río un carácter influente que eleva el nivel freático desconectado en el período estival. La baja magnitud de los escurrimientos hace que dicho fenómeno tenga una reducida extensión, limitado a una estrecha faja ribereña, mientras que su efecto puede ampliarse notablemente e inclusive invertirse el carácter, si se verifican escurrimientos superiores.
- La dinámica de los caudales muestra una estrecha relación con los caudales erogados en Carmensa y evidencia el carácter mayoritariamente alóctono. Los caudales invernales son el resultado de los excedentes del agua de irrigación producto de la baja eficiencia de los sistemas de riego utilizados en Mendoza.
- El comportamiento del tramo encausado del río Atuel entre Carmensa y Puesto Ugalde, manifiesta en condiciones de escurrimiento continuo, pérdidas de conducción del orden del 10% o menos, valores muy aceptables para un ambiente semiárido. La razón de ello se basa en que una vez saturado el subálveo si bien el río adquiere un carácter influente, el mismo no altera el flujo regional hacia el río. Por el contrario, la interrupción de los escurrimientos es la principal causa de las pérdidas debido a la desconexión del nivel saturado, dado que con el restablecimiento de los mismos, se pierde un volumen significativo de agua en la restitución del nivel saturado.
- Desde el punto de vista hidroquímico, la cuenca del río Atuel se caracteriza a partir del análisis de los iones mayoritarios por su homogeneidad en cuanto al tipo de agua, sulfatada cálcica, tanto en el agua superficial como subterránea. El agua superficial evidencia sin embargo, un notable aumento de la su concentración en el sentido del escurrimiento, aunque en la cuenca inferior su calidad para distintos usos siempre es mejor que la del agua subterránea para cualquier escenario de escurrimiento.
- De esta manera, se concluye que la principal acción para asegurar los escurrimientos continuos del río Atuel en territorio pampeano es garantizar la permanencia de los mismos en Carmensa, situación que evitaría erogaciones monetarias importantes e innecesarias y de un muy alto costo ambiental como las requeridas para impermeabilizar el tramo de cauce entre Carmensa y Puesto Ugalde. En base a lo expuesto, surge que optimizando el riego en la provincia de Mendoza, quedarían disponibles importantes excedentes de agua que podrían alcanzar el territorio pampeano siguiendo el cauce natural del río Atuel.