



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA



FACULTAD DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

**"ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL  
MÍNIMO NECESARIO PARA EL REESTABLECIMIENTO DEL  
SISTEMA ECOLÓGICO FLUVIAL EN EL CURSO INFERIOR  
DEL RÍO ATUEL"**

**INFORME FINAL**  
**(VERSIÓN 1.0)**

Santa Rosa – Agosto de 2005

## **CAPÍTULO 13: Simulación hidrológica y definición de escenarios**

### **Simulación hidrológica**

*Dr. Luis VIVES; Dr. Eduardo MARIÑO (Coordinación)*

### **Definición de escenarios**

*Ing.Civ. Marcelo GAVIÑO NOVILLO*

## 13. Simulación hidrológica y definición de escenarios

### 13.1. Simulaciones del caudal en Anguero Ugalde

Con objeto de caracterizar la dinámica del río Atuel en la zona de los bañados se procedió a la implementación de un modelo hidrodinámico entre el tramo de La Angostura (Mendoza) y el Puesto de Anguero Ugalde (La Pampa). El modelo se empleó a fin de estimar el régimen natural que tendría el río Atuel a la entrada de los humedales sin considerar la influencia del embalse de los Nihules y apoyar la definición de los escenarios para la definición de los caudales fluvioecológicos.

#### *Modelo Simulación Hidrodinámica Hec-Ras*

Se empleó el modelo hidrodinámico Hec-Ras del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros del ejército de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers) que surge en tanto una evolución del conocido y ampliamente utilizado modelo HEC-2, al cual se agregaron varias mejoras entre las que destaca la capacidad de resolver las ecuaciones de Saint Venant y por tanto contar con un modelo hidrodinámico completo capaz de efectuar análisis de escurrimientos no-permanente. El software cuenta también con una interfase gráfica de usuario que facilita las labores de preproceso y postproceso.

El cálculo de las profundidades y caudales generados a partir de una onda de crecida está basado sobre las ecuaciones de Saint Venant. El sistema puede resolverse para condiciones permanentes y no-permanentes. Las ecuaciones utilizadas son:

Conservación de Masa (Continuidad)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

A = sección transversal (m<sup>2</sup>)

q = Caudal específico (m<sup>3</sup>/s/m)

x = distancia longitudinal del canal (m)

t = tiempo (s)

Cantidad de Movimiento (Dinámica)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} - g \frac{AQ/Q}{K^2} + q \frac{Q}{A} \cos \alpha = 0$$

H = nivel de agua (m)

$\beta$  = coeficiente de corrección del momentum

g = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\alpha$  = ángulo de incidencia del flujo

K = conducción del canal

n = coef. de Manning

R = radio hidráulico (A/P)

P = perímetro mojado (m)

#### *Implementación y calibración*

Para la representación de la geometría del cauce, se utilizó para todo el tramo de río una misma sección transversal media representativa que se muestra en la Fig.13.1. Las pendientes del cauce fueron obtenidas por medio del análisis del modelo digital del terreno (SRTM) como consecuencia de no contarse con información topográfica de detalle.

En todo el tramo se adoptó la hipótesis simplificadora de que no existe ingreso de agua al sistema. Para el tramo entre Carmensa y Anguero Ugalde se implementó una pérdida de caudal por infiltración al acuífero obtenida de la relación entre los caudales observados en Carmensa y A. Ugalde.

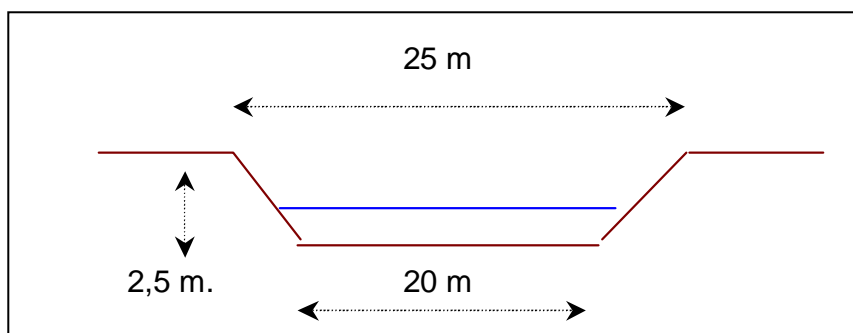


Fig.13.1: Sección transversal utilizada para la representación del río Atuel

La calibración del modelo se obtuvo para el tramo comprendido entre las estaciones de Carmensa y de Anguero Ugalde. En la primera se contaba con hidrogramas de caudales medios diarios, desde mayo del 1985 hasta febrero del 2000 con una interrupción de datos entre octubre de 1990 y febrero del 1994. El período comprendido entre 1994 a 2000 presentaba muchos datos con caudales nulos que provocaban inestabilidades numéricas; y por ello se empleó para calibrar la serie comprendida entre mayo de 1985 a octubre de 1990. La variable a ajustar fue el parámetro  $n$  de Manning con respecto a los datos de caudales aforados en la segunda estación.

Los datos disponibles en Anguero Ugalde corresponden a valores puntuales de caudales obtenidos durante toma de datos de calidad de agua por lo tanto no son una serie continua de caudales diarios, motivo por el cual el ajuste es parcial. El resultado de dicha simulación se puede observar en la Fig. 13.2. El valor del parámetro  $n$  empleado fue de 0.035. Dada la poca disponibilidad de información (aforos, secciones, niveles, etc.) y que en general los errores entre los valores calculados con los aforos están en el orden de 2 a 3  $m^3/s$  de diferencia, el ajuste obtenido puede considerarse aceptable.

#### *Explotación del modelo*

Una vez calibrado el modelo, se realizó la explotación del mismo propagando a lo largo del tramo desde La Angostura hasta Anguero Ugalde. Se simuló a lo largo de siete décadas de registros, dando como resultado hidrogramas en las dos secciones como los presentados en las Fig.13.3, 13.4 y 13.5. Si adoptamos que los desbordes en la zona de los humedales se producen para caudales superiores a 30 - 35  $m^3/s$  podemos observar que los humedales del Atuel deberían tener un desborde por año durante el período de verano. Esta situación sólo se observa esporádicamente desde la construcción de los Nihuiles (1984), y acontece cuando la capacidad de regulación del sistema se encuentra superada.

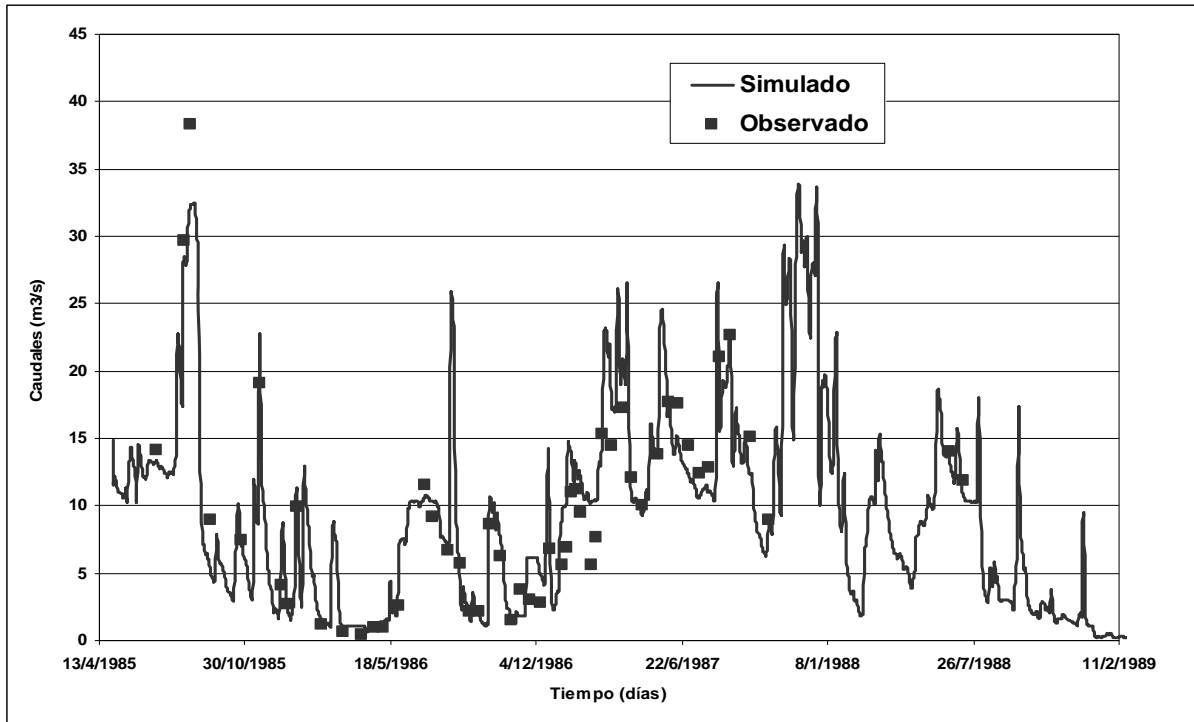


Fig. 13.2: Hidrograma calculado y valores puntuales observados de caudal Anguero Ugalde

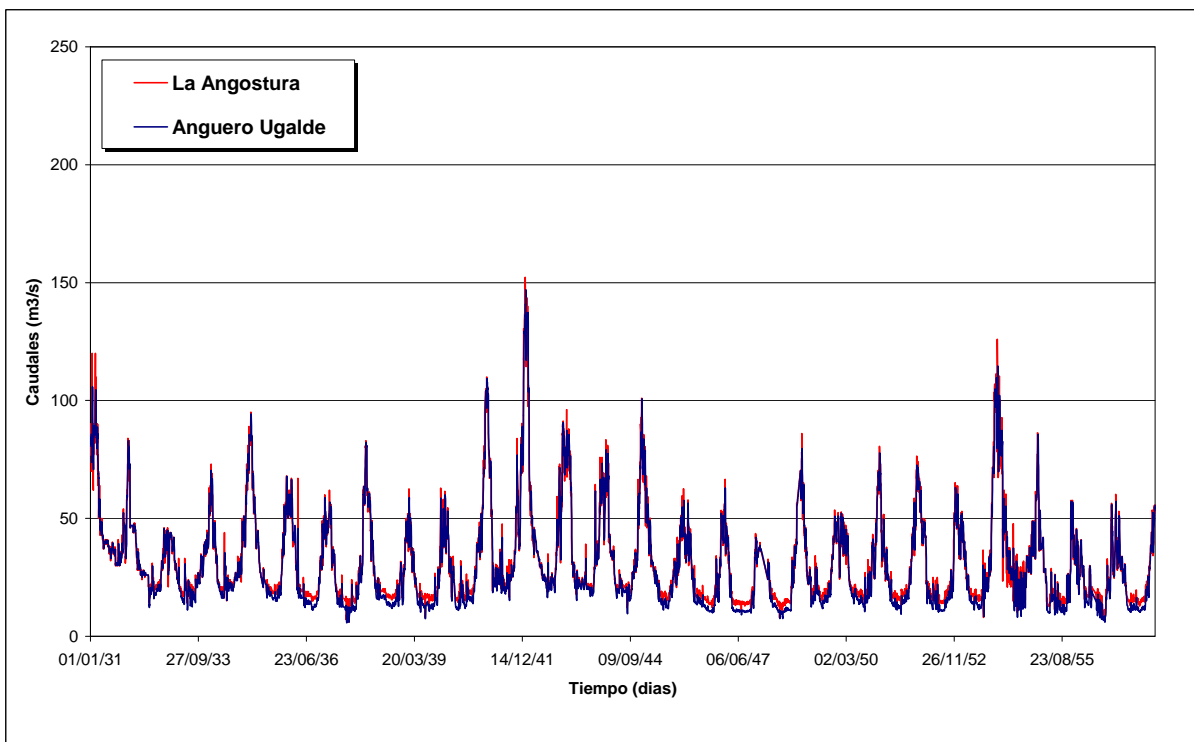


Fig. 13.3 Simulación del Río Atuel. Tramo La Angostura y Anguero Ugalde. Período 1931-1957.

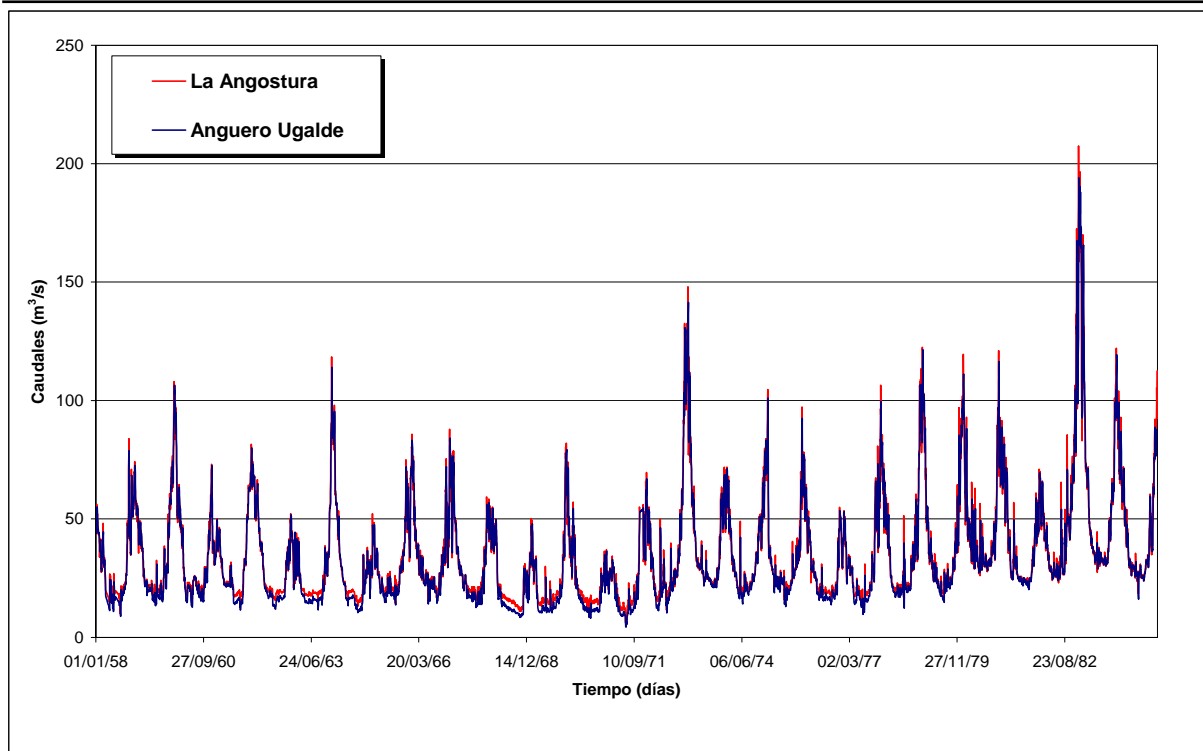


Fig. 13.4: Simulación del Río Atuel. Tramo La Angostura y Anguero Ugalde. Período 1957-1984.

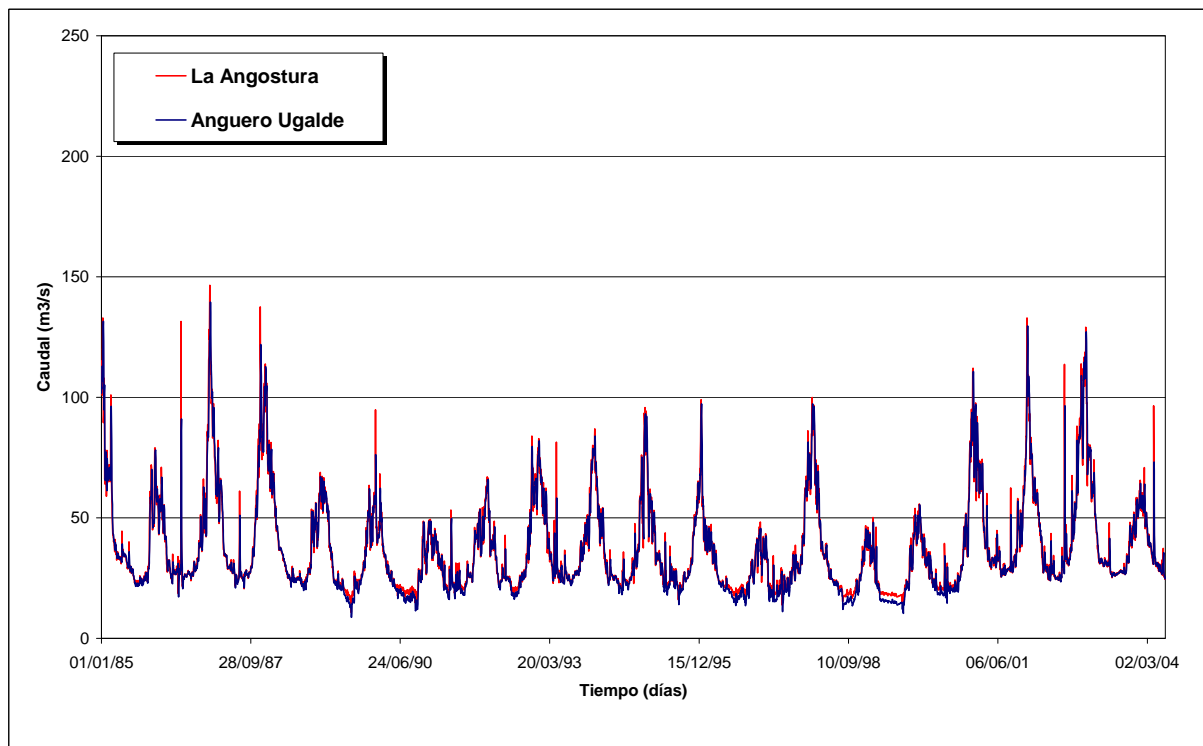


Fig. 13.5: Simulación del Río Atuel. Tramo La Angostura y Anguero Ugalde. Período 1985-2004.

### 13.2 Análisis de permanencia de caudales

Complementariamente se realizó el análisis de la duración o permanencia de caudales diarios para dos períodos de tiempos diferentes, uno largo (1931 a 2004) y otro corto (1985 a 2004).

Para el primer período se trabajó con los datos de la estación La Angostura y con los datos simulados numéricamente para la estación de Anguero Ugalde. La Fig.13.6 muestra que ambas curvas de permanencia son muy similares, pero presentan la particularidad que para permanencias altas, mayores a 60 %, (o sea caudales bajos, menores que 25 m<sup>3</sup>/s) los caudales son mayores en la estación de aguas arriba, lo que es atribuible a la pérdida de caudal por infiltración del lecho en el tramo final (Carmensa – Anguero Ugalde).

Para la serie corta, posterior a la construcción de los Nihuiles, se presentan en la Fig. 13.7 las curvas de permanencia para las estaciones de La Angostura y Carmensa, ambos a partir de datos diarios observados, período 1/5/1985 al 30/6/2004. En la Fig. 13.8 se presentan las curvas de la estación Anguero Ugalde a partir de datos diarios simulados para el período 1/5/1985 al 30/10/1989 con las alternativas con y sin embalse. En ambas figuras se puede observar el fuerte efecto de la regulación del sistema que reduce los caudales hacia aguas abajo. Por ejemplo para una permanencia del 50% tenemos un caudal de 30 m<sup>3</sup>/s en La Angostura y en Carmensa de 5,56 m<sup>3</sup>/s, efecto que es mayor en caudales altos. En la Tabla 13.1 se presentan los caudales para valores de permanencia específicos.

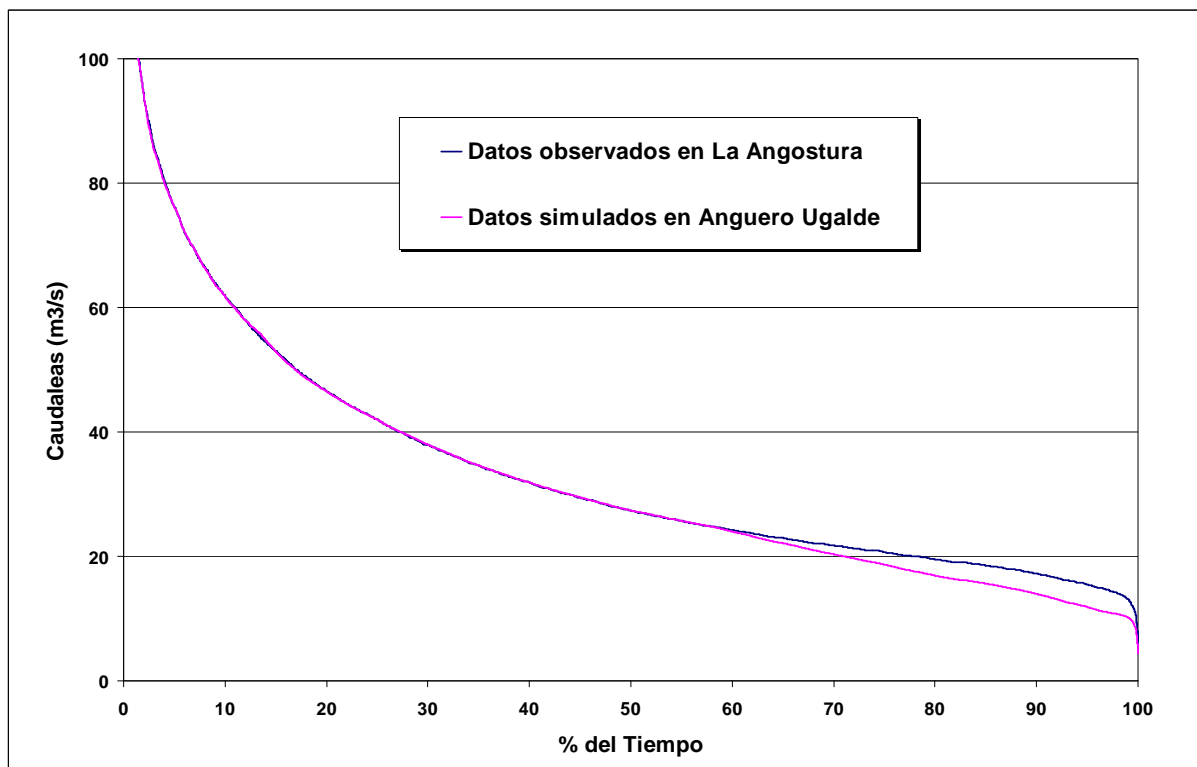


Fig. 13.6: Curva de permanencia de las estaciones La Angostura y Jacinto Ugalde Período 1931 a 2004.

Las condiciones del lecho del río sugieren que se produce desborde en la zona de Anguero Ugalde para caudales mayores a 30 - 35 m<sup>3</sup>/s. Podemos observar por un lado (Fig. 13.8) que esos caudales son superados en La Angostura (aguas arriba de Los Nihuiles) aproximadamente 45 % del tiempo. Por otro lado, en la misma figura, vemos que el manejo del sistema de embalses no permite alcanzar en Carmensa (aguas abajo de Los Nihuiles) ese valor mínimo de desborde más que el 2 % del tiempo. Es decir, nos encontramos que antiguamente el desborde tenía una frecuencia del orden de 45 % y que actualmente casi no existe. La Fig. 13.8 muestra los caudales que llegarían en A. Ugalde para las situaciones con y sin embalses, indica una conclusión similar. Si además tenemos presente que el

sistema es fuertemente dependiente de los frecuentes desbordes del río Atuel para mantener los humedales debido a la alta evapotranspiración y escasa precipitación, entonces estamos frente a un sistema deficitario que no permitirá el mantenimiento del humedal a menos que el río Atuel desborde con la frecuencia y magnitud necesarias.

Tabla 13.1. Frecuencia de caudales (en m<sup>3</sup>/s)

Serie	Punto medición	Datos	5 %	50 %	75%	95 %
1931-2004	La Angostura	observado	76,12	42,00	27,34	15,5
	Anguero Ugalde	simulado	76,06	41,99	27,37	11,84
1/5/1985 al 30/6/2004	La Angostura	observado	77,03	30,00	24,07	19,00
	Carmensa	observado	25,40	5,36	1,32	0,19
1/5/1985 al 31/10/1989	A. Ugalde sin embalse	simulado	84,35	29,86	25,09	19,88
	A. Ugalde con embalse	simulado	23,45	7,18	2,06	0,28

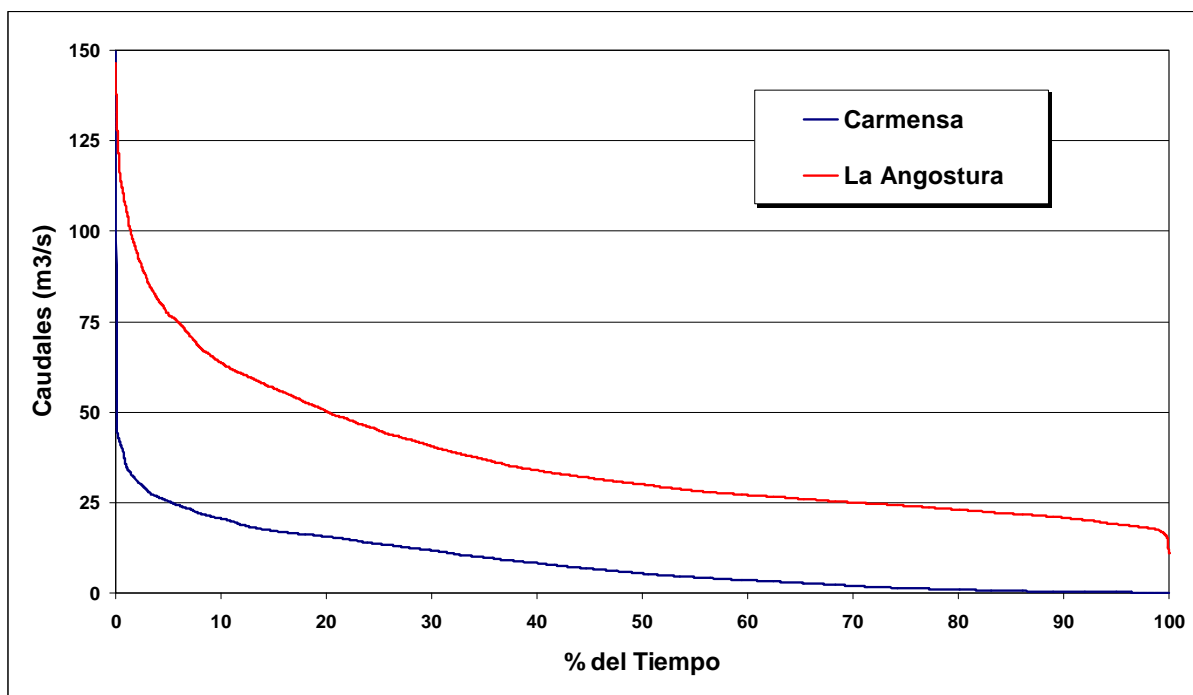


Fig. 13.7: Curva de permanencia observada de las estaciones La Angostura y Carmensa Serie de datos diarios durante el período 1/5/1985 al 30/6/2004.



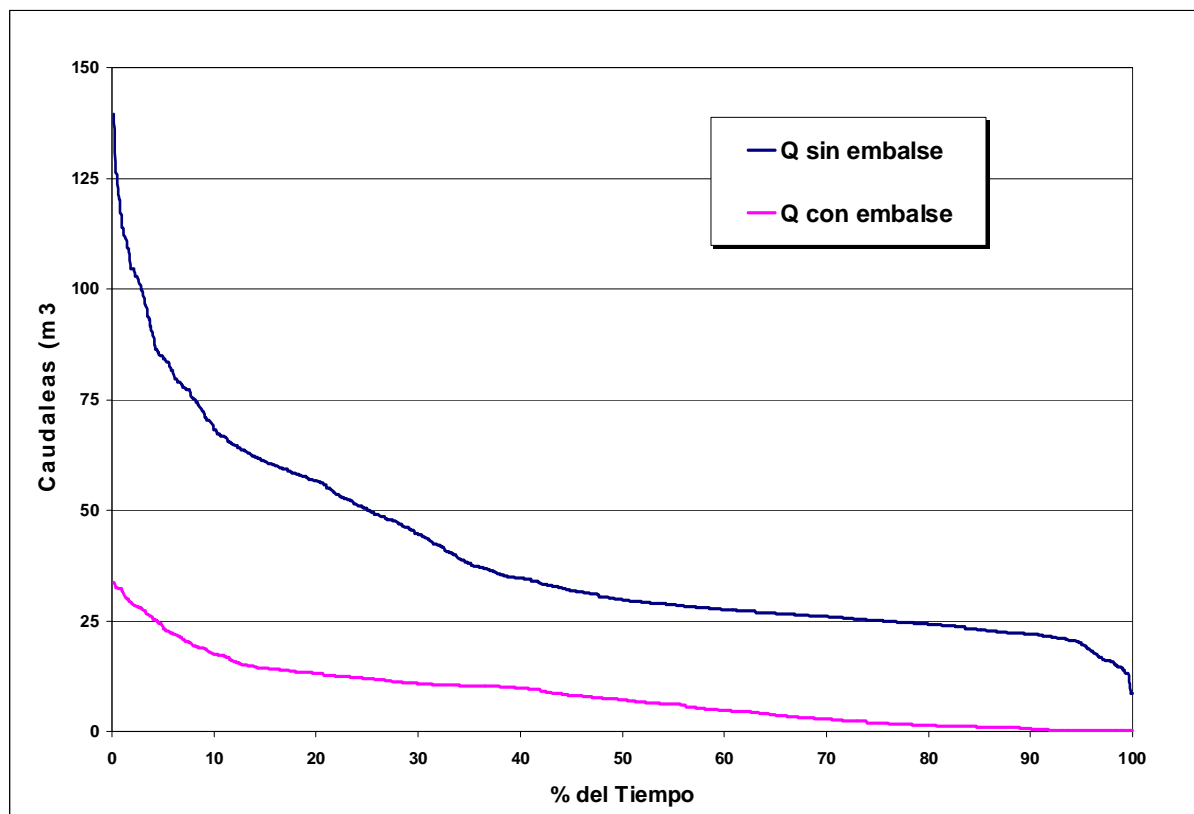


Figura 13.8: Curva de permanencia con datos diarios simulados de la estaciones Anguero Ugalde.

### 13.3. El análisis de escenarios

Las proyecciones de tendencias en el análisis de los procesos de toma de decisión suelen ser sencillas en el corto plazo, pero su confiabilidad se reduce notablemente a medida que se expanden los horizontes temporales a meses, años, décadas o generaciones. Los modelos, como se ha visto al principio de este capítulo, tienen la ventaja de brindar aproximaciones sistemáticas y consistentes a la comprensión de los procesos complejos como la simulación de situaciones en la cuenca del río Atuel. Pero los modelos matemáticos tienen importantes limitaciones en su capacidad de predicción para representar sistemas socio-económicos y ambientales complejos. Los modelos pueden analizar sólo aquellos elementos o relaciones que son bien comprendidos y también cuantificables en base a la resolución de ecuaciones con información disponible, pero los aspectos sociales o económicos son notoriamente inciertos y poco comprendidos (Gallopín et al. 1997).

El análisis de escenarios, de manera complementaria a los modelos, ofrece una vía para considerar futuros de largo plazo a la luz de las incertidumbres que rodean a los procesos de toma de decisiones. Los escenarios no son ni proyecciones, ni pronósticos, ni predicciones, sino imaginarios acerca del futuro con una trama lógica y un imaginario que gobierna la manera en que se despliegan los eventos (Schwartz, 1991; Cole, 1981; Miles, 1981). Los escenarios también ayudan a clarificar las visiones y valores, ponen a prueba los límites del pensamiento convencional y favorecen la discusión. La construcción de escenarios también puede proveer un marco de referencia común para permitir el mapeo e identificación de las preocupaciones críticas y alternativas entre grupos de interés, así como un foro para discusiones y debate.

Dado que los escenarios inevitablemente incorporan la visión de quien los define, ya sea explícita o implícitamente, nunca son totalmente neutros. Los buenos escenarios se inspiran en el conocimiento científico –para la comprensión de patrones históricos, las condiciones actuales, los procesos físicos y sociales- y en la imaginación –para concebir, articular, y evaluar un rango de futuros socio-ecológicos. El balance entre conocimiento e imaginación puede variar de acuerdo al propósito de los escenarios y las perspectivas de sus constructores (Gallopín et al. 1997).

### *Aspectos metodológicos*

Un aspecto importante de la metodología de escenarios es que además de tomar en cuenta los resultados del análisis de los datos disponibles y de las simulaciones aportadas por los modelos matemáticos, los escenarios también pueden incorporar en su construcción elementos críticos que no se pueden cuantificar tales como las influencias culturales, comportamiento humano, respuestas institucionales a los cambios o desde una perspectiva práctica, debido a las limitaciones de las series de datos o validez de las teorías. Por ello en el presente estudio destinado a la evaluación del caudal fluvioecológico se ha decidido emplear una variante del método denominado “Respuesta aguas debajo de una transformación impuesta de caudales” (Downstream response to imposed flow transformation-DRIFT) (UICN, 2001) que se basa en la definición de escenarios a proveer a los tomadores de decisión basados en la definición de diversas opciones de regímenes de caudales en función de un objetivo explícito.

El desarrollo de escenarios generalmente comienza con la caracterización de la situación actual, lo cual fue desarrollado en las Partes A y B del presente documento a fin de contar con una línea de base frente a los elementos críticos a proponer. Un paso importante es la definición de las dimensiones críticas para describir los escenarios sobre la base de criterios de relevancia; entendiendo a los mismos como descriptores de los atributos más importantes de las imágenes del futuro. En el presente estudio se han seleccionado como descriptores los:

- aspectos geológicos
- aspectos hidrológicos
- aspectos florísticos
- aspectos faunísticos, y
- aspectos sociales.

Otro elemento importante está representado por las fuerzas impulsoras principales que representan los factores, tendencias, o procesos clave que influyen la situación como son en el presente caso las situaciones de excesos hídricos (inundaciones y sequías) o aquellas relacionadas con la calidad del recurso (Calidad de las aguas superficiales y subterráneas). En todos los casos inclusive hay escenarios que llegan a ser complementarios.

Los ejercicios de elaboración de escenarios confrontan una cantidad infinita de potenciales futuros con la necesidad de presentar un número reducido de los más contrastantes entre ellos, para que sean utilizables para la discusión y la toma de decisiones. En el presente caso se han seleccionado cuatro escenarios que se describen a continuación.

#### **13.4. Definición de escenarios alternativos**

La metodología de escenarios ha sido aplicada a la gestión de los recursos hídricos en diversas oportunidades y escalas. Un ejemplo reciente corresponde a la elaboración de la Visión Mundial del Agua (Gallopín y Rijsberman 2000) o los escenarios del Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2004). A escala regional (América del Sur) y nacional (Argentina) existen ejemplos de la aplicación de esta metodología para la gestión del agua (Gaviño Novillo, 2000; Calcagno, Gaviño Novillo, Mendiburo, 2000). Estas menciones se concentran en los ejercicios de tipo integrado o intersectorial (y particularmente aquellos que incluyen variables ambientales), y por lo tanto no se mencionan los varios modelos y escenarios sectoriales (principalmente económicos) que también han sido producidos.

Las constantes de tiempo de los procesos ecológicos son significativamente mayores en general que la de los procesos sociales y económicos. Mientras el horizonte de tiempo utilizado para evaluar los resultados de las inversiones comúnmente no excede los 5 o 10 años, los procesos de regeneración de un bosque pueden abarcar 100 años o más. Es por ello que se considera que los horizontes temporales adecuados para analizar escenarios de sostenibilidad ambiental deben incluir unos 15-30 años, más que 10 o 15. Este es el horizonte aproximado utilizado en el presente análisis.

El estado del ambiente y su evolución en los bañados del Atuel depende, por una parte, de la propia dinámica del sistema natural en de la cuenca, y por otra, de las influencias que recibe directamente atribuibles a las actividades humanas así como también en aquellas originadas en cambios ambientales externos. Es por ello que no sería particularmente útil describir escenarios puramente ambientales desconectados de los aspectos sociales en que se integran. Asimismo, las prioridades de gestión relacionadas con la sostenibilidad ambiental del área dependerá también de la situación política, económica y social de las áreas involucradas.

Por ello se han definido cuatro escenarios alternativos en función de la evolución de las “fuerzas impulsoras” y sus descriptores en el horizonte de tiempo considerado. Los cuatro escenarios representan alternativas de futuro para la zona de los bañados que consideran situaciones posibles de ocurrir a partir de la situación actual en un plazo de 15 a 30 años. Por supuesto que existen otros escenarios posibles e infinitas combinaciones y variantes intermedias, pero los presentados aquí fueron seleccionados con el objetivo que ilustren alternativas cualitativamente diferentes.

Cada escenario describe una situación con relación al régimen hídrico del río Atuel en la zona de los bañados como consecuencia de diversas opciones de gestión en la cuenca. La situación en cada uno de ellos no es representativa únicamente de lo que sucede en la Provincia de la Pampa, pues también describe la situación vigente en la Provincia de Mendoza, en particular al Sudeste de la localidad de Carmensa. Estos cuatro escenarios son:

**Escenario 1: Seguir como hasta ahora (Business as usual):** este escenario representa la consolidación de la situación actual, la que ha sido ampliamente descripta a lo largo de los capítulos 3 a 12 de este informe. Esencialmente corresponde a lo que se denomina la situación al tiempo cero  $t_0$ .

**Escenario 2: Esguerrimiento encauzado:** este escenario se corresponde con una situación de mínima que permite restablecer las condiciones ecológicas del sistema ambiental fluvial manteniendo esencialmente la continuidad del esguerrimiento a lo largo del año hidrológico con determinadas condiciones de calidad del agua. Algunos aspectos ambientales críticos identificados en este estudio se describen en la Fig. 13.9.

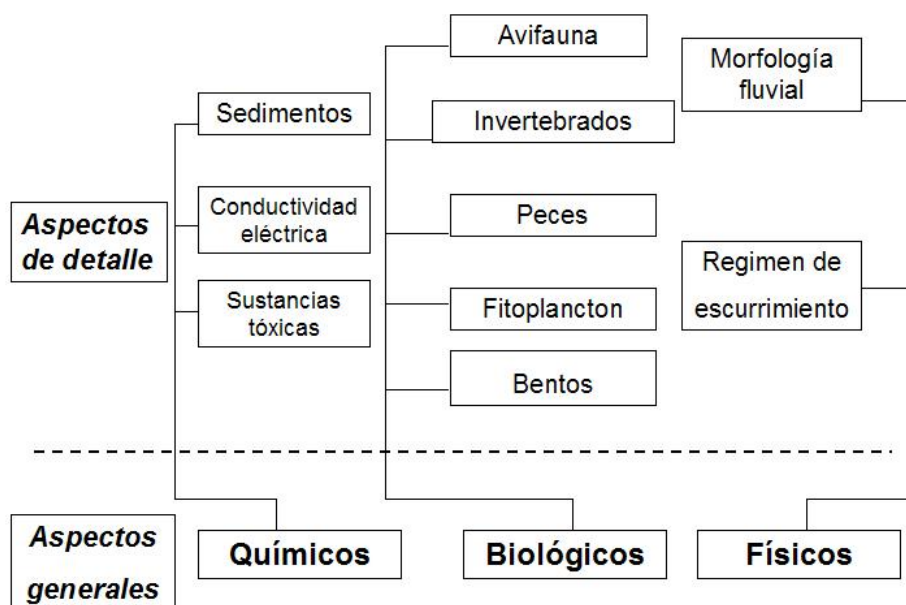


Figura 13.9: Variables asociadas a los aspectos ambientales críticos en los Bañados del río Atuel

**Escenario 3: Restablecimiento ampliado:** este escenario corresponde a una situación que permite restablecer de manera ampliada las condiciones ecológicas del sistema ambiental fluvial en los bañados a lo largo de todo el año hidrológico. Se basa en las pautas establecidas por la normativa Suiza para el establecimiento de caudales ecológicos. Esta norma define que dicho caudal debe corresponder al valor que circula como mínimo durante 347 días al año ( $Q_{347}$ ) con relación a la situación de no intervención. Esto representa aproximadamente una duración de los caudales naturales correspondientes al 95% del tiempo.

**Escenario 4: Inundaciones:** este escenario es en realidad es una derivación de cualquiera de los otros tres escenarios posibles como consecuencia de inundaciones resultantes de la ocurrencia de eventos extremos naturales en la cuenca, o por contingencias debidas a colapsos en la infraestructura hídrica.

## **CAPÍTULO 14: Caracterización de los escenarios y determinación del caudal fluvioecológico**

*Equipo de Trabajo*

## 14. Caracterización de los escenarios y determinación del caudal fluvioecológico

### 14.1. Caracterización sectorial de los escenarios para el área de los Bañados del Atuel

Los escenarios han sido representados cualitativamente en el capítulo anterior como una sucesión incremental de oferta hídrica para la zona de los Bañados del río Atuel cuya respuesta se estima a largo plazo en horizontes temporales de 15 a 30 años. Cada escenario se corresponde, por tanto, con diversos umbrales de restablecimiento del sistema ecológico fluvial en el curso inferior del río Atuel.

Siguiendo la metodología descrita en el capítulo anterior, cada escenario es caracterizado por los diversos descriptores y las respectivas fuerzas dinamizadoras elegidas en el presente estudio. Cabe destacar que los descriptores económicos “ex-profeso” no han sido analizados. A su vez, se han agregado transectas del área de estudio (Ver Figura 14.1), a fin de ayudar al lector a construir su propia visión de los diversos escenarios para el área de los Bañados.

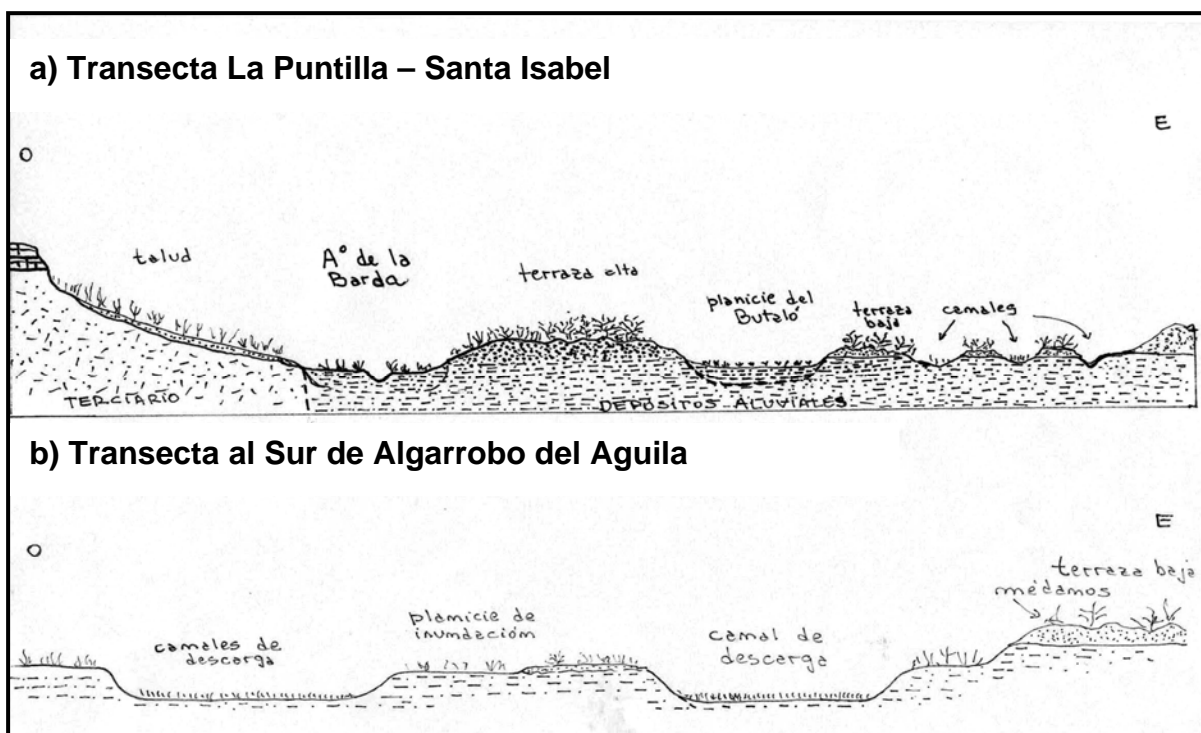


Fig. 14.1: Transectas características en la zona de los bañados del río Atuel  
(Fuente: Dr. Marcelo Zárate, inédito)

### 14.2. Escenario 1: Seguir como hasta ahora (BAU-Business as usual)

Aspectos geológicos: En el paisaje se activa en forma parcial y discontinua la red de drenaje del arroyo de la Barda; las geformas involucradas están generadas por escurrimiento superficial y son erosivas (cauces, canales de descarga, bañados que corresponden a áreas de cauces poco profundos y de mayor anchura), así como por escurrimiento superficial y deflación (lagunas). Actualmente, los canales de descarga, los cauces, bañados y las lagunas están sometidos a un comportamiento hídrico muy variable con condiciones de corta duración durante el año. Las lagunas (ejemplo Hucal) están sometidas a fuertes oscilaciones que incluyen desecamiento completo, condiciones en las cuales, actúa la deflación.

Aspectos hidrológicos: Corresponde a la situación actual lo que implica un escurrimiento intermitente predominantemente encauzado por el arroyo de la Barda y con un rango de caudales entre 0 y 34,3 m<sup>3</sup>/s en J. Ugalde. Este último valor es el medio máximo de la serie 1980/96 sin contar los años 1983 y

1984. Este valor es del orden de los caudales que podrían encauzarse por el arroyo de la Barda en aquellos sectores en que su sección transversal se asemeja a la de la Figura 14.1.

Aspectos florísticos: En las áreas potenciales de bañados o humedales desecadas y salinizadas se da la predominancia de pastizales halófilos de *Distichlis spicata* en las áreas más bajas y matorrales halófilos de *Atriplex lampa* y *Cyclolepis genistoides* en las áreas más altas correspondientes a las planicies de inundación del sistema disminuido. La vegetación propia de bañados (totorales y juncales) se ve empobrecida y degradada en los períodos con ausencia de agua. Los pulsos de inundación irregulares mejoran la situación, pero solo en forma temporaria. La permanencia en el tiempo de la falta de agua en los cauces devendría en una pérdida de biodiversidad florística por:

- Aumento en la proporción de especies halófilas en desmedro de las que no lo son.
- Aumento de la superficie ocupada por *Tamarix gallica*, una especie adventicia con características de invasora que genera matorrales y bosques muy densos y monoespecíficos.
- Presencia de áreas con vegetación degradada, y suelo desnudo expuesto a la erosión eólica.

Aspectos faunísticos: La activación parcial y discontinua de la red de drenaje, bañados y lagunas impone fuertes limitaciones para el desarrollo de las comunidades animales asociadas al agua. Algunos componentes de la comunidad pueden usufructuar de recursos alimenticios generados, en particular en las lagunas que tienden a permanecer más estables en el tiempo. La posibilidad de reproducción de muchas especies de vertebrados, exceptuando a los anfibios, está reducida. La mayoría de las especies de peces, aves y mamíferos presentes dependen de la dispersión desde otras áreas. Existen comunidades de aves en otras regiones que pueden proveer las especies necesarias para estas restituciones periódicas. También hay aportes de algunas especies de peces –carpas (*Ciprinus carpio*) especie exótica y que logra desarrollar poblaciones importantes en las lagunas del área- y otras de presencia más ocasional como el pejerrey (*Odontesthes* spp.), trucha criolla (*Percichthys* spp) entre otras.

Las fluctuaciones impiden el desarrollo de la vegetación necesaria para que muchas especies de aves acuáticas puedan reproducirse, por lo que el valor de redundancia de esta comunidad para otros sistemas de humedales es limitado o inexistente y no es de utilidad para restablecer otras comunidades en caso de impactos en éstas. La densidad de individuos de las especies presentes es mucho menor que en sitios más estables y de mayor superficie de humedales. Debido a los desecamientos periódicos, el valor de los humedales como sitios de descanso y recuperación de las especies migratorias es limitado. La organización de actividades de turismo ecológico u observación de aves o caza deportiva no es practicable debido a la imprevisibilidad del sistema. Las poblaciones de peces, en particular las de carpas, pueden alcanzar densidades y tamaños individuales importantes en las lagunas que podrían dar lugar a un aprovechamiento comercial limitado, realizando la extracción total de los peces antes que la desecación provoque la mortandad espontánea. La escasa superficie de las lagunas y humedales, cuando están presentes hacen a las diversas comunidades muy susceptibles a impactos humanos –caza ilegal, ahuyentamiento, contaminación-, aún cuando éstos sean de escasa intensidad.

Aspectos sociales: De mantenerse la actual situación permanecerá la percepción de incertidumbre y enajenación del recurso hídrico en los actores sociales referentes y población en general del área y por tanto el cuadro de situación maximiza los efectos negativos de las sueltas y los cortes del río. En el ámbito urbano se percibe que el crecimiento de la demanda de agua que acompañe al comportamiento demográfico presionará sobre la oferta limitada que brinda el acueducto que actualmente provee de agua potable a las localidades de la zona. En este sentido se deben prever nuevas alternativas para su abastecimiento y su regulación que eviten su escasez o carencia. Asimismo, las localidades se verán afectadas por los episodios coyunturales que los escurrimientos generan en un sistema oprimido en el que el recurso natural antropizado compartido presenta un manejo unilateral, inconsulto y degradante de la cuenca aguas abajo. En el ámbito rural se manifiesta una afectación heterogénea sobre la población residente en función de la localización de sus viviendas y explotaciones, visualizándose – de no instrumentarse medidas- la consolidación de un escenario que se ve agravado por las carencias de recursos, infraestructura, sistemas comunicacionales y de respuesta a las contingencias, como a sus consecuencias sociales y económicas.

### 14.3. Escenario 2: Ecurrimiento encauzado (EEE)

Aspectos geológicos: En el paisaje se activaría totalmente y en forma continua la red de drenaje del arroyo de la Barda. Se esperaría que el conjunto de las geoformas que integran el sistema de escurrimiento superficial sea funcional en condiciones normales. Los cuerpos lagunares, así como las áreas de bañados como las que se ubican en el tramo situado entre Algarrobo del Aguila y el Sur de la Puntilla serían permanentes e incrementarían su profundidad relativa. La reactivación incluiría a los canales de descarga y los cauces.

Aspectos hidrológicos: Este escenario representaría un escurrimiento continuo predominantemente canalizado por el arroyo de la Barda, con un modulo anual de 9,5 m<sup>3</sup>/s en J. Ugalde. Esta condición aspiraría a contar a lo largo del año con los caudales medios mensuales que surgen de la Figura 14.2, lo que implica sostener un rango de entre 4,7 (noviembre) y 17,7 m<sup>3</sup>/s (julio).

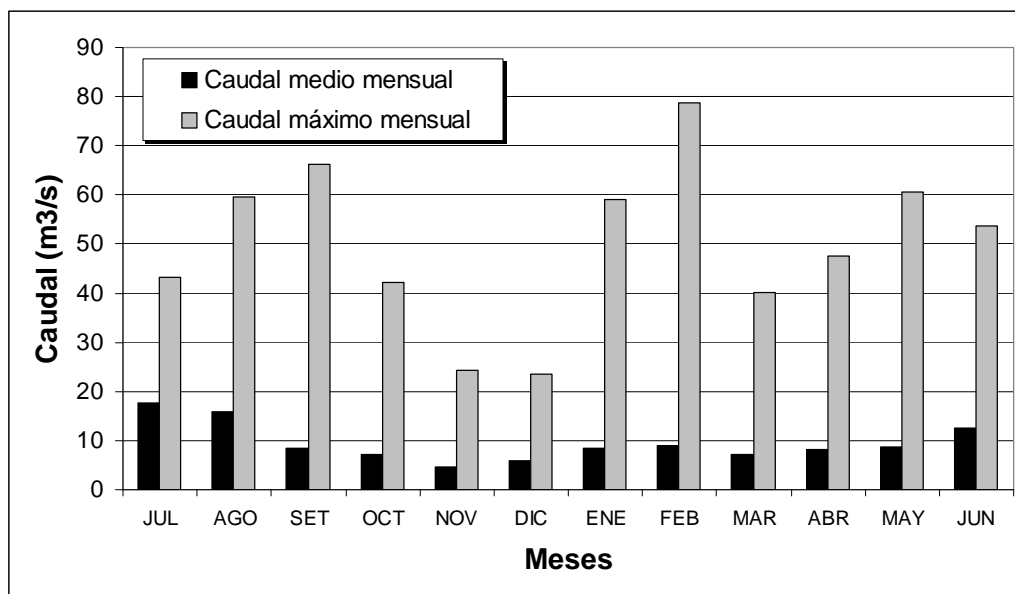


Figura 14.2: Caudales mensuales medios y máximos de la estación Jacinto Ugalde, durante el período 1980 a 1996.

Este escenario requiere una regulación que asegure la menor variabilidad posible y determine caudales diarios mínimos superiores a 3 m<sup>3</sup>/s y máximos de hasta 34 m<sup>3</sup>/s. Además, cualitativamente debe prever que la limpieza de los canales de riego no afecte seriamente la calidad media del agua, que quedaría definida por un residuo seco de entre 1000 y 2500 mg/l en J. Ugalde.

Debe enfatizarse que se trata de un escenario sostenible en tanto se logre una gestión concertada de la cuenca, de característica dinámica, ya que estará sujeta a un permanente ajuste y cooperación. Esos ajustes deberán basarse en la función respuesta integral del sistema a la nueva condición de escurrimiento continuo. La misma deberá estar ajustada en base a un programa de monitoreo conjunto en tiempo real, que considere las necesidades productivas en la cuenca media y las necesidades ecológicas de la zona de los Bañados.

Aspectos florísticos: En las áreas de humedales activas la disminución en el contenido de sales en los suelos permitirá un aumento de la vegetación propia de estas áreas. Presencia de comunidades de *Typha dominguensis* y *Schoenoplectus americanus* (totoraes-juncas), con el consiguiente desarrollo de vegetación riparia. También tendrá lugar el desarrollo de comunidades de *Cortaderia selloana* en orillas de los cauces. La presencia permanente de un caudal permitiría el llenado de lagunas y bajos con probable desarrollo de especies propias (*Potamogeton sp.*, *Ruppia sp.*, *Wolffia*) en áreas de aguas someras y orillas. La disminución de la salinidad provocaría una disminución en el área de ocupación de especies halófilas, aunque sin riesgo para éstas en función de que los ambientes salinos permanecerán en áreas marginales a los bañados.



Aspectos faunísticos: La activación permanente del escurrimiento encauzado y el aporte a bañados y lagunas en sectores del sistema, permitiría una mejor respuesta tanto funcional como numérica de las especies de las comunidades animales. El desarrollo de vegetación acuática, en particular juncales y totorales, brindará un componente estructural de importancia para que muchas especies residentes puedan desarrollar actividades reproductivas y completar su ciclo vital en el sitio. La presencia de cuerpos de agua con niveles más bajos de salinidad permitirá una mayor diversidad en las comunidades de invertebrados animales, así como de peces y anfibios. Asimismo, las mayores superficies de humedales permitirán alcanzar mayores densidades de las especies. La presencia de agua en canales y cauces y el desarrollo de la vegetación riparia permitirá la presencia de comunidades animales asociadas o que requieren ambientes lóticos. Es factible la aparición de una población permanente de coipos o nutrias.

La comunidad de aves acuáticas tendrá valor de redundancia para otras comunidades y potencial para suplirlas de especies en caso necesario. Las especies migratorias contarán con áreas previsibles para el descanso o restablecimiento. La estabilidad del sistema y su mayor cobertura permitirá e la planificación de actividades de protección y explotación. Se establecen áreas intangibles y se abren áreas a la explotación sustentable. Esta puede ser tanto consuntiva –caza, pesca deportiva o comercial- como no consuntiva o parcialmente consuntiva –turismo ecológico, observación, actividades acuáticas-, aunque no todas ellas pueden implementarse sin entrar en conflicto entre sí. Se establecen sistemas de control para evitar impactos excesivos o ilegales en las comunidades animales tanto en las áreas de explotación como en las de protección. Existe una cierta capacidad de absorción de los impactos provocados por factores aleatorios naturales –por ej. sequías- o determinísticos –por ej. contaminación- que permite el restablecimiento, finalizado el disturbio, sin dependencia de comunidades extraregionales. El comportamiento, respuestas y efectos de las especies exóticas al sistema, tanto vegetales como animales, es monitoreado estrechamente.

Aspectos sociales: Este escenario presenta una realidad ambiental en la que el río se constituye en un recurso hídrico susceptible de aprovechamiento -productivo, recreativo, turístico, entre otros- exigiendo una gestión integrada y un manejo cooperativo. Se eliminan las consecuencias negativas de la interrupción del suministro del agua, y de mediar obras de encauzamiento y regulación de los caudales, se evitarán desastres y minimizarán los efectos negativos que presentan las sueltas y crecidas del escenario anterior.

Los grados de conflictividad y movilización social dependerán de los grados de participación de la población y los actores clave que se alcance en el proceso de toma de decisiones y en la planificación, desarrollo y diseño de las intervenciones consecuentes; tales como la ordenación territorial, el desarrollo de los sistemas de comunicación, infraestructura hídrica, vial y de servicios; y el diseño de planes de contingencia.

Cabe destacar que si bien la proyección de este escenario exige la movilización de recursos que superan la capacidad actual de las organizaciones gubernamentales, no gubernamentales y de la población de la zona de estudio; sus beneficios también superarán la realidad local, proyectándose en la dimensión regional.

#### **14.4. Escenario 3: Restablecimiento ampliado (ERA)**

Aspectos geológicos: En el paisaje se activaría en forma total y permanente el sistema de drenaje en su conjunto, tanto el arroyo de la Barda como en el arroyo Butaló y el brazo oriental del Atuel. Todas las geoformas con evidencias de escurrimiento en el pasado reciente (paleocanales) serían funcionales; las planicies de inundación de los tres cursos estarían sometidas con más frecuencia a eventos de inundación. Este escenario respondería a la descripción histórica de los bañados con amplias extensiones cubiertas por agua; en la actualidad la inmensa mayoría de los canales de descarga no son funcionales, están cubiertos por vegetación y hasta depósitos eólicos.

Aspectos hidrológicos: Según este escenario se restablecería la actividad hídrica permanente en toda la red de drenaje de la cuenca inferior, adoptando como caudal fluvioecológico correspondiente al caudal medio que circula a lo largo de 347 días al año (Q347). Esto significa regular el sistema a un módulo anual variable entre 15 y 19 m<sup>3</sup>/s en J. Ugalde, correspondiente a la frecuencia del 95% en la curva de

permanencia de La Angostura (Figuras 14.3 y 14.4). Esto implica sostener un rango de caudales medios mensuales de entre 10 y 30 m<sup>3</sup>/s.

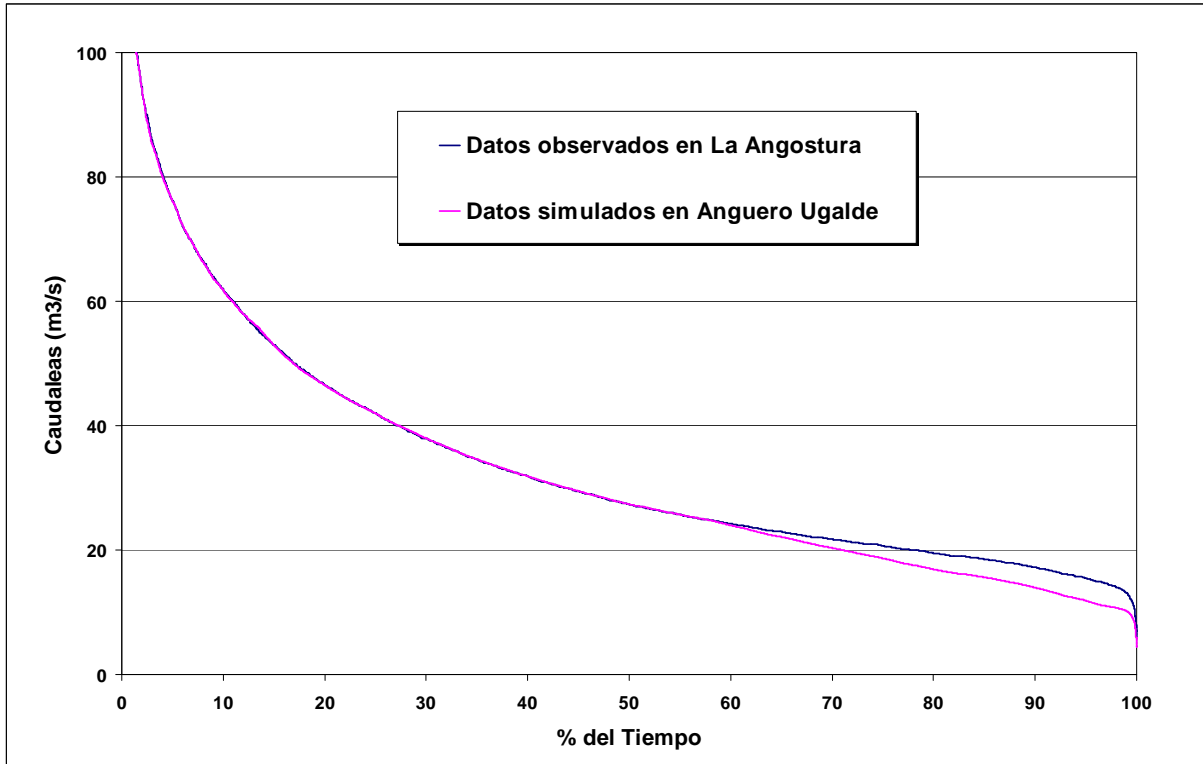


Figura 14.3 : Curva de permanencia de las estaciones La Angostura y Jacinto Ugalde Serie 1931 a 2004.

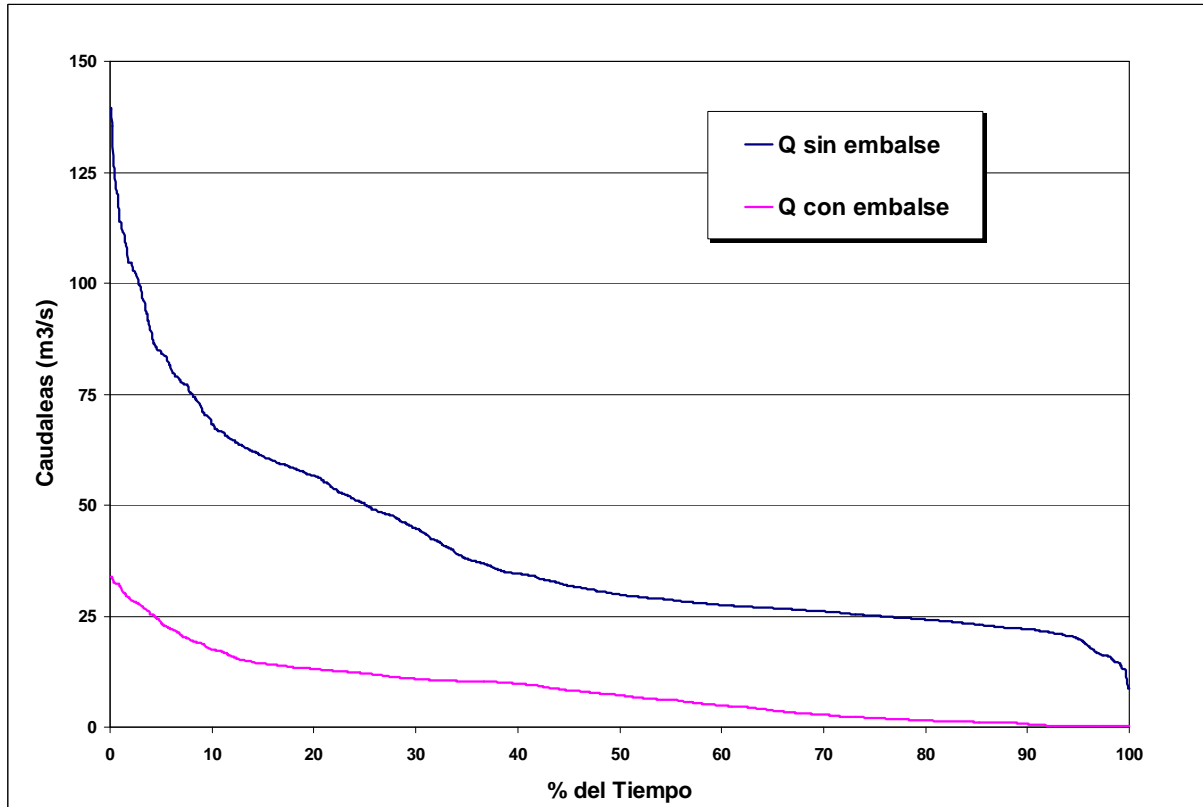


Figura 14.4: Curva de permanencia con datos diarios simulados de la estaciones Anguero Ugalde.

**Aspectos florísticos:** Desde el punto de vista de la flora y la vegetación se trataría de una ampliación del escenario anterior, con aumento de las áreas con vegetación riparia. En casos puntuales de caudales elevados, se podrían ver afectadas áreas hoy cubiertas con arbustales.

**Aspectos faunísticos:** El restablecimiento ampliado produce respuestas cuantitativas de las especies presentes más que incrementos en la riqueza de la comunidad animal. Es el más similar al escenario promedio previo a las modificaciones desarrolladas en la cuenca superior del río que se puede obtener. Las áreas protegidas son amplias y se incluyen zonas de amortiguamiento. Se implementan una variedad de sistemas de explotación de los recursos relacionados con los humedales en las áreas de uso sustentable. La capacidad de absorción de impactos y restitución posterior sin subsidios extraregionales es buena. Los sistemas de control son ajustados a la superficie del área y a la variedad de actividades implementadas. Se establece un grupo a cargo del manejo de los recursos faunísticos del área. Se monitorean estrechamente componentes novedosos del sistema, como las especies exóticas. El compromiso con la conservación del ambiente por parte de los estados provinciales responsables del restablecimiento es reconocido nacional e internacionalmente.

**Aspectos sociales:** Constituye un escenario crítico, de alta complejidad, con riesgo e incertidumbre que genera severos impactos especialmente en zonas ribereñas, zona de los bañados en sus planicies de inundación, mesetas y terrazas bajas e intermedias. La afectación social, sanitaria y económica se presume crítica en las áreas urbanas y en la población rural, inclusive si se contara con obras de regulación, encauzamiento, infraestructura (puentes) y de previsión de contingencias establecidos en el escenario 2.

#### 14.5 Escenario 4: Inundación

**Aspectos geológicos:** En un episodio de inundación extremo dentro de la variabilidad del sistema fluvial, que podría corresponder al concepto de la inundación máxima en un periodo de recurrencia de 100 años, además de la red de drenaje (cauces, canales de descarga, bañados, lagunas), se reactivarían las planicies de inundación de los arroyos de la Barda, Butaló y eventualmente del brazo oriental del Atuel dependiendo de las modificaciones en el drenaje introducidas en territorio de Mendoza (Ver figura 14.1).

**Aspectos hidrológicos:** Desde este punto de vista no es un escenario distinto en sentido estricto, sino una condición crítica que puede aparecer en cualquiera de los escenarios anteriores, cuando factores hidroclimáticos o antrópicos imposibiliten sostener la regulación requerida en cada caso. Representa una situación hídrica extrema con eventos de desborde aun en los tramos de sección transversal como la representada en la figura 14.5, que se daría cuando el sistema tenga un comportamiento similar al registrado durante los años 1983 y 1984. Esto implica la ocurrencia, en J. Ugalde, de caudales medios anuales de entre 30 y 40 m<sup>3</sup>/s y frecuentemente máximos diarios superiores a 60 m<sup>3</sup>/s. Para este escenario eventual debería preverse un sistema de alerta y los correspondientes planes de contingencia.

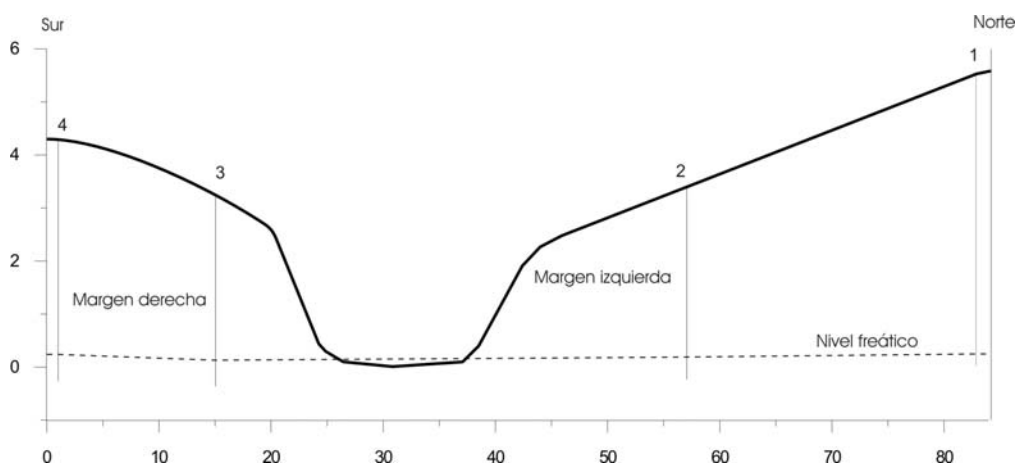


Figura 14.5: Transecta de control piezométrico en la línea de La Puntilla

**Aspectos florísticos:** Este estado de inundación es una situación posible en cualquiera de los escenarios anteriores ante eventos climáticos. Desde el punto de vista de flora y vegetación se podría pensar en un desplazamiento de las comunidades propias de bañados hacia áreas hoy marginales, en tanto el área de bañados propiamente dicha se encontraría bajo las aguas.

**Aspectos faunísticos:** Corresponde a una situación crítica para cualquiera de los escenarios anteriores. En ese caso, se deben establecer las posibilidades –y cómo evitar su ocurrencia- que los humedales entren en contacto con áreas contaminantes –como por ej. de explotación petrolera (la exploración del área ya está programada)-, u otras que puedan afectar a la totalidad del sistema.

**Aspectos sociales:** No corresponde a una alternativa capaz de ser gerenciada por presentar un cuadro crítico de catástrofe ambiental de la zona, afectando a la totalidad de la población, la infraestructura habitacional y productiva. Únicamente se considera valiosa su evaluación a fin de para prever episodios coyunturales en los que la capacidad de regulación de esta cuenca de régimen antropizado se vea superada por causas extraordinarias, debiéndose instrumentar las medidas de mitigación frente a contingencias extremas.

#### 14.6 Síntesis de escenarios y efectos ambientales

Como síntesis de la caracterización de los escenarios, se repasan algunos descriptores críticos, se hace una identificación de los impactos ambientales (positivos y negativos) y de los actores institucionales necesarios de involucrar en su implementación.

Tabla 14.1: Síntesis de escenarios

<p><b>Escenario 1:</b></p>	<p>Q: mínimo (0 m<sup>3</sup>/seg.) a máximo (34,3 m<sup>3</sup>/seg.) e intermitente. Gran variabilidad en: a) los recursos hídricos superficiales y subterráneos; b) interrelación de (a) c) en la flora y vegetación, y d) fauna.</p> <p><i>Impactos ambientales:</i> Afectación socio-económica y ambiental, desertización, acumulaciones eólicas en los cauces o eventuales desbordes localizados.</p> <p>Se pueden presentar distintas situaciones, especialmente de agravamiento debido a las condiciones hidrometeorológicas variables, dando lugar a distinto grado de semidesertización.</p> <p><i>Actores Institucionales:</i> P.E.I.; C.I.A.I.; Secretaría Recursos Hídricos, Municipalidades</p>
<p><b>Escenario 2:</b></p>	<p>Q: mínimo (4,7m<sup>3</sup>/seg.) a máximo (17,7 m<sup>3</sup>/seg.), continuo (módulo 9,5 m<sup>3</sup>/seg.). Esguerrimiento encausado u ocupando parcialmente márgenes o sectores proximales de planicies de inundación.</p> <p><i>Impactos ambientales:</i> Necesidad de un mantenimiento del recurso hídrico superficial mayor, variable, interconexión con el recursos hídrico subterráneo, disminución de las oscilaciones en la composición y calidad del agua. Posibilidad de enlagnamientos y desarrollo de humedales en sectores más deprimidos. Afectación a habitantes del área de los humedales.</p> <p><i>Requerimientos:</i> Posible necesidad de ordenamiento del esguerrimiento compatibilizando los aspectos ecológicos con los socioeconómicos (población, producción ganadera, circulación) y definición de eventuales “áreas” o sitios de “descarga” del sistema del humedal.</p> <p><i>Actores Institucionales:</i> P.E.I., C.I.A.I.(Funcionamiento activo, acuerdos de parte; cuerpos técnicos permanentes de control, operación y manejo); Secretaría Recursos Hídricos, Municipalidades, organizaciones locales.</p>

<b>Escenario 3:</b>	<p>Q medio anual: 15 a 19 m<sup>3</sup>/seg. (Q 347), Q medios mensuales de 10 a 30 m<sup>3</sup>/seg., contínuo tanto encausado, en todos los cursos y paleocanales antiguamente activos como en las planicies aluviales que estarían sometidas con más frecuencia y amplitud a eventos de inundación.</p> <p><i>Impactos ambientales:</i> Anegamiento y desarrollo significativo de los humedales; recomposición de situaciones más frecuentes históricamente en cuanto a desarrollo florístico y faunístico natural.</p> <p>Serías limitaciones y restricciones a los pobladores y actividades humanas y productivas actuales (ganadería extensiva). Afectación a áreas periurbanas.</p> <p><i>Requerimientos:</i> Ordenamiento territorial; determinación del régimen de propiedad, tenencia y uso de las tierras afectadas; circulación. Obras de canalización y derivación (regulación) a cuencas o cursos receptores. Compatibilización con el uso humano. Planes de contingencia. Sistema de alerta. Legislación específica.</p> <p><i>Actores Institucionales:</i> C.I.A.I.(Funcionamiento activo, acuerdos de parte; cuerpos técnicos permanentes de control, operación y manejo); Secretaría de Recursos Hídricos, Subsecretaría de Ecología, Organismos de Planeamiento, Organizaciones rurales y urbanas locales.</p>
<b>Escenario 4:</b>	<p>Q con máximos diarios mayores a 34 m<sup>3</sup>/seg., descontrolados, sin posibilidad de regulación; máxima inundación de planicies y activación de todos los cursos; situación hídrica extrema.</p> <p><i>Impactos ambientales:</i> Máximo desarrollo de los humedales y condiciones bióticas asimilables a situaciones pristinas. Afectación grave a la población, la infraestructura de comunicaciones, las actividades socio-económicas y la salud humana</p> <p><i>Requerimientos:</i> Declaración de uso ambiental exclusivo o prioritario sobre las actividades productivas y ocupación humana. Declaración de uso público de la tierra; expropiaciones.</p>

Tabla 14.2: principales relaciones escurrimiento-población y economía

Descriptor		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
ESCURRIMIENTO	Encauzado intermitente	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>
	Encauzado permanente				
	Encauzado y extendido				
	Máximos absolutos				
POBLACION Y ECONOMIA		Dependencia parcial según situación del río, condicionado por factores climáticos	Favorecida por presencia del río, menor condicionamiento o por factores climáticos	Afectadas en su asentamiento y movilización, incidencia negativa en la sociedad y dinámica económica	Inocupable o muy condicionada

### 14.7. Matriz final de caudales fluvioecológicos según escenarios

De acuerdo a la metodología del estudio descrita en el Capítulo 2, una vez concluida la caracterización de los diversos escenarios, se procedió a desarrollar taller de discusión entre los miembros del equipo de trabajo a fin de establecer los valores característicos del caudal fluvioecológico para cada escenario en base a cada uno de los descriptores (geológicos, hidrológicos, florísticos, faunísticos y sociales) y sus consecuencias en el área de los bañados. En la Tabla 14.3 se hace una síntesis de los valores del caudal fluvioecológico.

Tabla 14.3: Valores característicos del caudal fluvioecológico para cada escenario.  
Valores expresados en m<sup>3</sup>/seg.

	Escenarios			
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Caudal medio	9,5	9,5	15,5 <sup>1</sup> 19,0 <sup>2</sup>	-
Rango medio de caudales	-	4,7 – 17,7	-	-
Caudales extremos	0 - 34	3 - 34	11 – 34	> 34
Conductividad eléctrica (microsiemens)	-	< 2500	< 2500	-

<sup>1</sup>: Serie de caudales 1931 – 2004

<sup>2</sup>: Serie de caudales 1985 – 2004

