

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO DEL ARROYO ACHIRAS-DEL GATO (CÓRDOBA, ARGENTINA) CON UNA NUEVA APLICACIÓN INFORMÁTICA

MÓNICA BLARASIN¹, RAMIRO ALGOZINO¹, NAHUEL ALINCASTRO¹, JESICA GIULIANO ALBO²,
SUSANA DEGIOVANNI¹, ADRIANA CABRERA¹

¹Dpto. de Geología. FCEFQyN. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto. Córdoba mblarasin@exa.unrc.edu.ar, algozino@gmail.com, nalincaastro@hotmail.com, sdegiovanni@exa.unrc.edu.ar, acabrera@exa.unrc.edu.ar

²Conicet. Argentina. jgiuliano@exa.unrc.edu.ar

Recibido: febrero 2011

Recibido en forma final revisado: octubre 2012

RESUMEN

El arroyo Achiras-del Gato (Córdoba, Argentina) desarrolla su cuenca en la sierra y llanura pampeanas. El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar el funcionamiento hidrológico del arroyo y el rol del agua subterránea y de una presa, construida en el año 2007 en cuenca alta, mostrando el uso de una aplicación informática (*Arken 1.0*) desarrollada para el tratamiento de datos. La misma permitió tratar en forma notoriamente rápida los datos de un limnógrafo (serie de niveles de agua 2002-2009) obteniéndose limnigramas e hidrogramas anuales y multianuales y curvas caudal-duración (Qd). En el hidrograma general se destaca la presencia de caudal base aportado por el acuífero libre y la influencia ejercida por la presa. Así, el hidrograma se presenta como una serie inhomogénea, pasando de un rango de caudales pre-presa alto a uno post-presa más bajo, debido al control de crecientes y la regularización el caudal (por aporte gradual desde la presa). Las variaciones observadas en Q_{95} , Q_{50} y en la relación Q_{25}/Q_{75} , comparando la curva caudal-duración pre y post-presa, se atribuyen también al aumento de los caudales mínimos asociados con la liberación más uniforme de escurrimiento superficial por la presa, que se suman en forma casi permanente al aportado por el acuífero, dado que el uso actual del suelo no indica incremento en la infiltración y, consecuentemente, del aporte freático en los últimos años.

Palabras clave: Hidrometría, Caudal base, Acuífero, Presa, Aplicación informática.

ANALYSIS OF HYDROLOGICAL BEHAVIOUR OF ACHIRAS-DEL GATO STREAM (CÓRDOBA, ARGENTINA) BY MEANS OF NEW SOFTWARE

ABSTRACT

The Achiras-Del Gato stream basin (Córdoba-Argentina) is developed in the Pampean mountains and plain. The objective of this work is to assess the behavior of the hydrological system, especially the groundwater role and a dam function, showing the use of specific software (*Arken v.1.0*) developed for data treatment. The dam was built in 2007 in the upper basin. Field information and data from a water level gauger (series 2002-2009) were evaluated using *Arken 1.0*, which improved notably data treatment. Discharge graphs, limnigrams and permanence curves (Qd) were analyzed for different periods, which made possible to characterize the hydrological behavior. It is important to highlight the presence of base flow (Qb) in the stream provided by the groundwater from unconfined aquifer and the influence of the dam in the general level hydrograph. This graph represents now an inhomogeneous series, ranging from a pre-dam high flows period to a post-dam low flows stage, due to the dam effects (lamination of high flows and increasing of low flows by gradual contribution from the dam). Comparing the pre and post-dam Qd curves, the changes observed in Q_{95} , Q_{50} and the relationship Q_{25}/Q_{75} were attributed to increased low flows associated with more uniform release of surface runoff by the dam in addition to the baseflow supplied permanently from the aquifer, since the current land uses does not indicate an increase in infiltration processes and in groundwater contribution in the last years.

Key words: Hydrometry, Base flow, Aquifer, Dam, Software.

INTRODUCCIÓN, UBICACIÓN DEL ÁREA Y OBJETIVOS

La cuenca del arroyo Achiras-del Gato se ubica en el Departamento Río Cuarto, al Sudoeste de la Provincia de Córdoba, Argentina. Drena un área de aproximadamente 750 km² y recorre más de 130 km desde sus nacientes, en el extremo meridional de las Sierras de Comechingones (Sierras Pampeanas), hasta los Bañados del Tigre Muerto (Figura 1). El agua superficial es utilizada con fines recreativos y actividad ganadera, mientras que la subterránea se usa para consumo humano y agropecuario. La cuenca presenta problemáticas ambientales vinculadas con procesos hidrológicos, muchas de los cuales se potenciaron a partir de prácticas de manejo poco adecuadas. Por ejemplo, son comunes los procesos de erosión hídrica de suelos, en los últimos años incrementados por el monocultivo de soja, y severos procesos de erosión fluvial (Figura 2). Las características hidrológicas y morfodinámicas del arroyo Achiras-del Gato, ligadas a la dinámica del acuífero libre, ponen en riesgo y ya han afectado a distintos obras viales y territorios con potencialidades agrícola-ganaderas, lo que ha motivado la realización de obras hidráulicas de distinta magnitud, desde presas hasta estructuras de protección en sitios sujetos a erosión. Esto refleja la complejidad del problema y nuevamente evidencia la necesidad de contar con estudios sobre la dinámica del agua, no sólo para la gestión y toma de decisiones de potenciales emprendimientos (agrícola-ganadero, riego, turístico, entre otros), sino también para monitorear las variaciones que traen aparejadas la implementación de obras y los cambios en el uso del suelo. En noviembre de 2007 se puso en funcionamiento una presa en la cuenca alta en zona serrana (Figura 3) con fines de abastecimiento de agua y control de crecientes, por lo que se considera necesario verificar si ha cambiado el comportamiento hidrológico del arroyo aguas abajo de la obra y sus consecuencias en la dinámica del paisaje. En este marco, el objetivo del presente trabajo consiste en evaluar el funcionamiento hidrológico del arroyo y específicamente el rol del agua subterránea y de la presa, mostrando una nueva aplicación informática desarrollada para el tratamiento de datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre la base de la información geológica-geomorfológica, hidroclimática e hidrológica de la cuenca (Degiovanni, 2005), se siguen efectuando relevamientos y cálculos, según técnicas convencionales, para monitorear el funcionamiento hidrológico. Se cuenta con una estación de aforos en el sector medio (estación Ruta 8), con sección fija de hormigón, en la que se ha instalado un limnógrafo

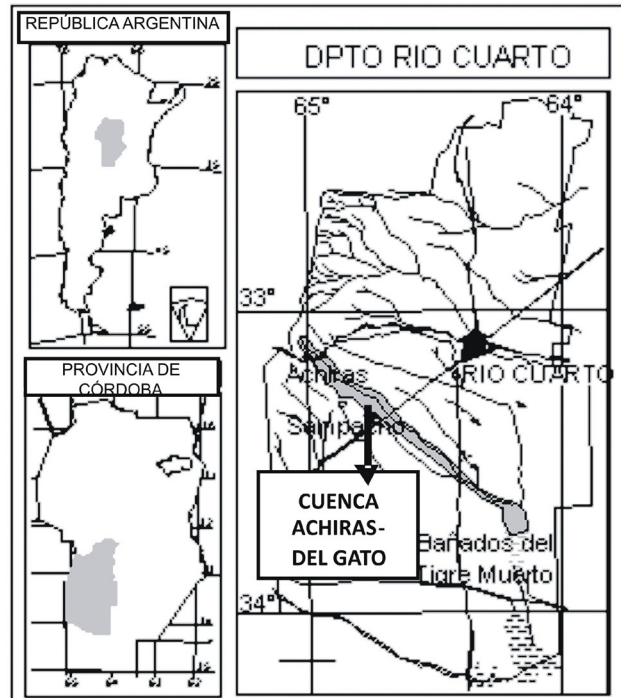


Figura 1. Mapa de ubicación



Figura 2. Procesos de erosión fluvial típicos en el arroyo del Gato

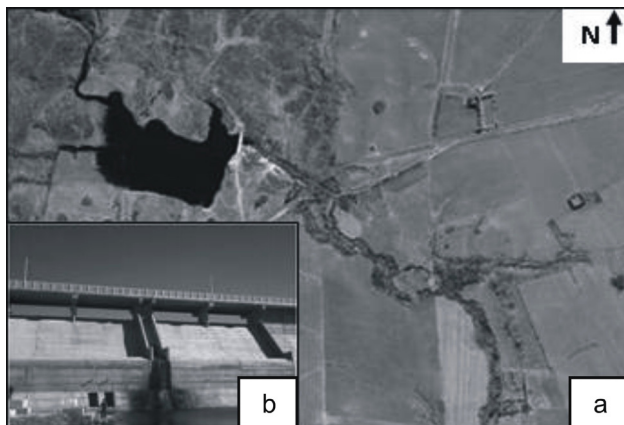


Figura 3. a. Vista en planta del embalse de la presa Achiras. b. Vista de la presa

que opera desde fines de 2001 mediante un transductor de presión y almacena datos en un registrador digital, con intervalos de medición ajustables (15 min-4,0 hs). Los aforos (mensuales) se realizan mediante molinete hidrométrico y se calculan caudales con el método de la sección media. La información de campo y la procedente del limnógrafo (serie de niveles de agua 2002-2009) fue tratada con la aplicación informática *Arken 1.0* (Algozino & Alincastro, 2010) desarrollada específicamente con el objeto de generar la correspondiente serie de caudales a partir de la curva h-Q y elaborar limnigramas, hidrogramas y curvas caudal-duración (Q-d) para distintos pasos de tiempo. Se compararon y analizaron curvas, en especial las Q-d promedio, pre y post-obra hidráulica. Algunas consideraciones específicas en relación con la aplicación informática *Arken 1.0* se realizan en apartados posteriores.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y CONTEXTO GEOLÓGICO

El clima es del tipo mesotermal subhúmedo, con un régimen de precipitaciones de 852 mm en cuenca media (Serie Ea. Las Rosas, 1943-2009), de las cuales el 76 % se concentra en primavera-verano (septiembre-marzo), observándose la alternancia de ciclos húmedos y secos a lo largo de los años. Según los balances hídricos realizados (Degiovanni *et al.* 2005; Cabrera *et al.* 2007), los ciclos húmedos se caracterizan por la presencia de importantes excesos hídricos, siendo notorios los registrados en cuenca alta y media en la década del '70, que generaron severos procesos de erosión fluvial (Degiovanni *et al.* 2005). El aumento en excesos hídricos generó además, en toda la región, ascensos graduales del nivel freático (Blarasin *et al.* 2003; Blarasin & Cabrera, 2005). De pluviogramas

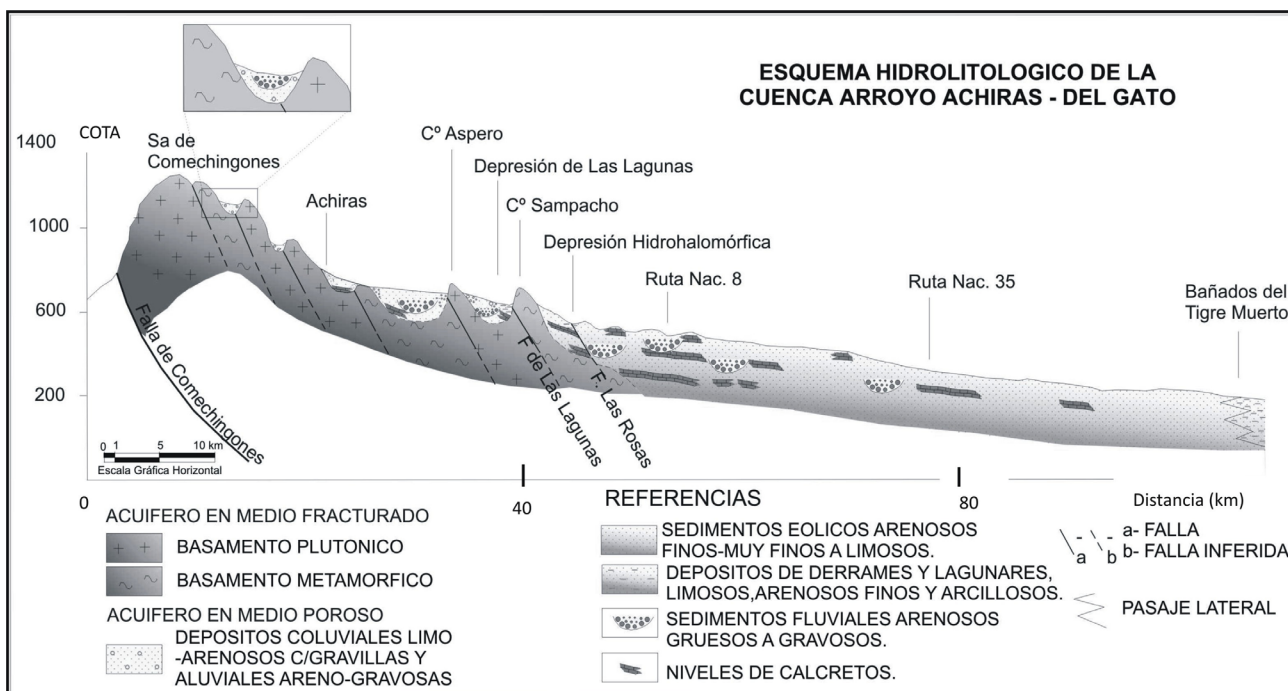


Figura 4. Hidrolitología en la cuenca del arroyo Achiras-del Gato. (Fuente: Degiovanni *et al.* 2005)

obtenidos en estaciones automáticas ubicadas en la cuenca se determinaron valores de intensidad de lluvia moderados (44-60 mm/h) respecto a otros de la región más altos (300 mm/h). Son comunes en la cuenca intensidades de 10-20 mm/h y duraciones de tormentas de 2-3 días para lluvias de 40-80 mm (Degiovanni *et al.* 2005).

La cuenca del arroyo Achiras-del Gato comprende los ambientes geológicos de Sierras Pampeanas, en su sector superior, y de Llanura Pampeana, en sus tramos medio e inferior (Figura 4), por lo que exhibe una tectónica de bloques, asociados con estructuras de rumbo N-S, NW-SE y NE-SW, cuya conformación actual se relaciona a la

orogenia ándica. Desde el punto de vista estratigráfico, los afloramientos comprenden rocas de basamento ígneo-metamórfico, del Precámbrico superior-Paleozoico inferior a medio, en cuenca alta y algunos sectores periserranos (C° Áspero, C° Sampacho) y secuencias fluvio-eólicas cuaternarias (Pleistoceno medio-actualidad), en cuenca media, baja y valles intermontanos. Geomorfológicamente, el sector serrano exhibe relieves denudativos, mientras que el área extraserrana varía desde una planicie fluvio-eólica fuertemente ondulada y estructuralmente dislocada, a una llanura eólica de muy bajo relieve, hacia el Sudeste (Figura 5). En el sistema fluvial, en vías de ajuste, dominan los procesos erosivos (vertical-lateral-retrocedente) en cuenca

media y media-baja. El marcado proceso de profundización responde a diferentes causas que operan en escalas espaciales y temporales diferentes. En cuenca media y asociado con el bloque elevado de la Falla de Las Lagunas (Figura 6) se registra un proceso de incisión vinculado con la actividad neotectónica de esta estructura (Sagripani, 2006). A nivel de cuenca y relacionado fundamentalmente con ciclos húmedos de la última centuria (Degiovanni, 2005)

se registran diferentes pulsos de erosión retrocedente de los que aún se preservan varias cabeceras (“knickpoints”), como puede observarse en los quiebres de pendiente del perfil longitudinal del arroyo en la Figura 6. No menos importantes son las causas antrópicas, especialmente la canalización de los Bañados del Tigre Muerto (nivel de base local) en la década del '50 y los trasvases de arroyos vecinos a esta cuenca.

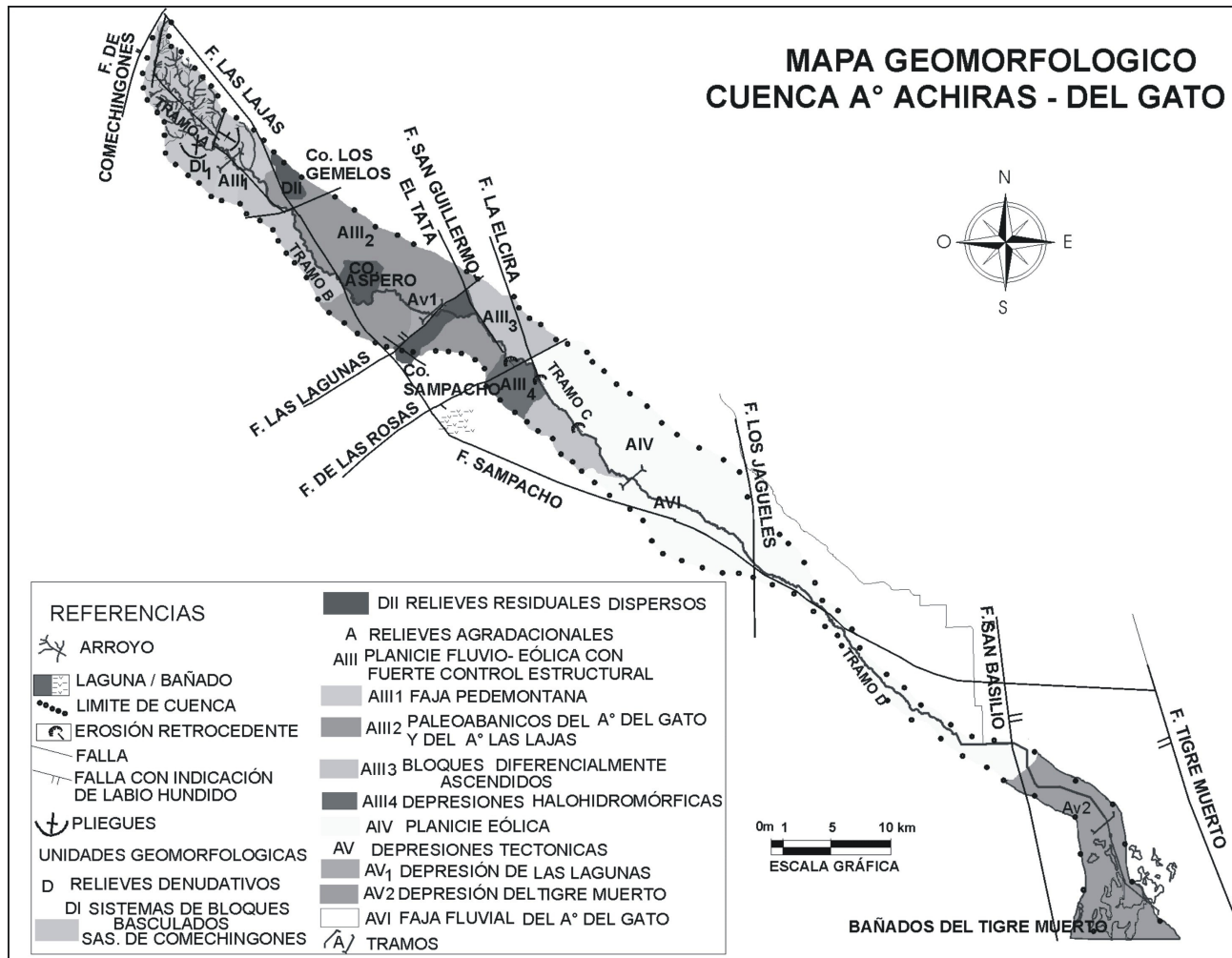


Figura 5. Geomorfología de la cuenca del arroyo Achiras-del Gato. (Fuente: Degiovanni et al. 2005)

HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

El acuífero freático está constituido por dos ambientes hidrolitológicos principales (Figura 4): *acuífero en medio fracturado*, conformado por rocas del basamento ígneo-metamórfico, que componen el sector serrano y afloramientos rocosos dispersos y el *acuífero en medio poroso* en el ambiente extraserrano (y en menor medida en los valles intermontanos), constituido por secuencias de sedimentos cuaternarios. En el área extraserrana se observan dos subambientes hidrolitológicos: en el representativo de la *planicie fluvio-eólica*, domina un acuífero heterogéneo

donde se distinguen: a) materiales de baja y media permeabilidad ($K= 1-5$ m/d), arenosos finos-muy finos con niveles de calcretos, con rendimientos regulares a buenos y b) materiales acuíferos de alta permeabilidad ($K= 10$ m/d), arenosos medios-gruesos a gravosos, con rendimientos muy buenos, localizados en paleocauces. El que caracteriza a la *planicie eólica*, en general es un acuífero de baja permeabilidad ($K= 1$ m/d), relativamente homogéneo, con rendimientos pobres, conformado por sedimentos arenosos muy finos-limosos, con niveles cementados (Cabrera & Blarasin, 1999; Blarasin & Cabrera, 2005). El acuífero freático sedimentario presenta espesor variable, de pocos

metros cuando el basamento rocoso se encuentra a poca profundidad, especialmente en el pedemonte, y de hasta aproximadamente 60-80 m en la cuenca baja (Figura 4).

El análisis del *mapa de equipotenciales* del acuífero en ambiente sedimentario (Figura 7) permite aseverar que la zona neta de recarga regional es el área serrana-periserrana, mientras que en el resto de la cuenca el acuífero se recarga por infiltración de agua de lluvia. La dirección general de circulación del agua subterránea es NO-SE, la morfología de la capa freática es suavemente ondulada a típicamente planar

en la planicie eólica, con gradientes hidráulicos del orden de 1,2 a 0,35 % y velocidades de circulación variables entre 1,30 a 0,04 m/d. Si bien la relación de efluencia-influencia es variable a lo largo de la cuenca, el acuífero es influente con respecto al arroyo en gran parte de su recorrido, sobre todo en cuenca media-baja, fundamentalmente debido a la profundización del cauce en las últimas décadas (hasta 20 m), que ha provocado el aporte permanente subterráneo. Por el contrario, en inmediaciones del Cerro Áspero, estación de aforo Vado El Tala (Figura 8), el arroyo se infiltra en un pequeño tramo, aportando al acuífero.

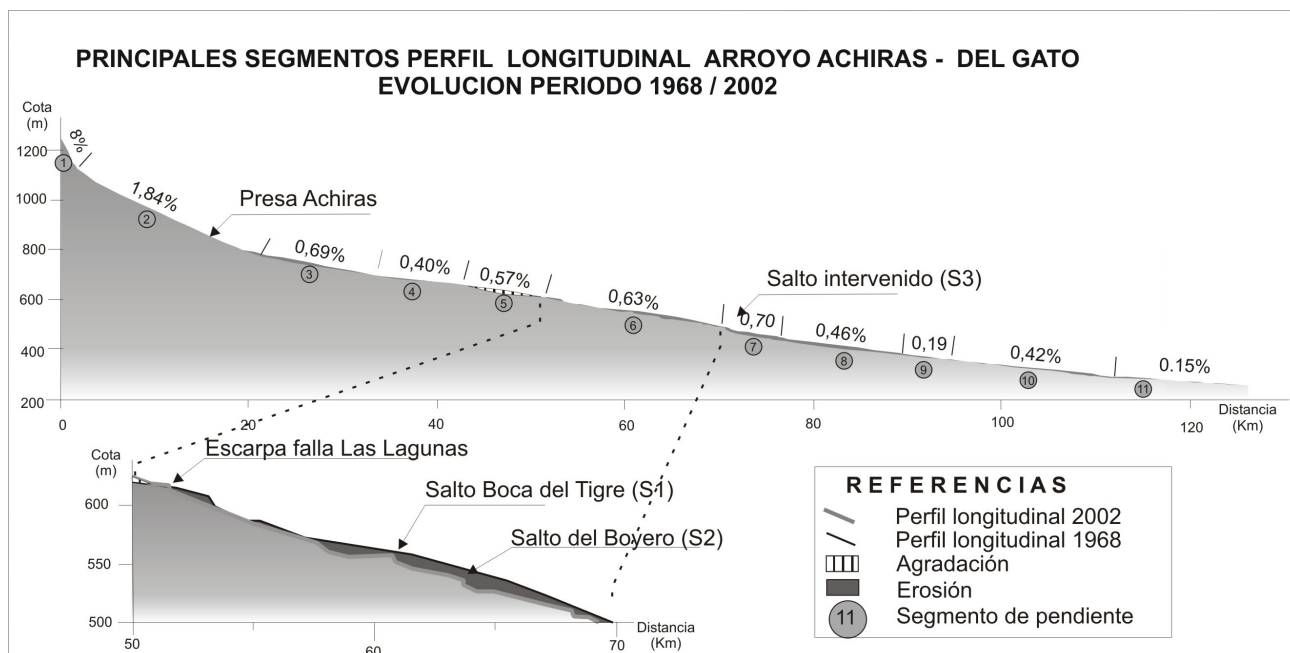


Figura 6. Perfil longitudinal del arroyo, pendientes en diferentes tramos e indicación de sitios con erosión (Degiovanni, 2005)

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

El arroyo Achiras-del Gato, posee un régimen hidrológico de tipo torrencial, vinculado con las características geológicas y al régimen de precipitaciones. En el mapa de *escurrimientos superficiales* (Figura 8) se observa que el sector serrano representa aproximadamente el 10% de la superficie drenada, posee red de drenaje angular-subdendrítica y alta densidad de drenaje (Degiovanni, 2005). En el resto de la cuenca, durante las tormentas, el colector principal recibe importantes volúmenes de agua y sedimentos provenientes de las subcuencas que drenan la planicie fluvio-eólica y eólica con alta presión de uso agrícola. Sólo se distinguen escurrimientos efímeros asociados con bajos topográficos y, frecuentemente, a la red de caminos secundarios, algunos de los cuales presentan severos procesos de erosión hídrica. En función de aspectos

geomorfológicos e hidrológicos pueden identificarse dos subsistemas diferentes: el *arroyo Achiras* que desarrolla su cuenca alta en el área serrana, recorre la zona pedemontana y descarga en la depresión de las Lagunas (zona Laguna Chañarito, Figura 8) y el *arroyo del Gato*, que se extiende desde este ambiente hasta los Bañados del Tigre Muerto drenando la planicie fluvio-eólica y eólica. Ambos sistemas están conectados aproximadamente desde 1920-1930, por desborde de la laguna Chachahué (actual Chañarito) en una tormenta donde se registraron 300 mm en 6 horas (Degiovanni *et al.* 2005) y posterior erosión retrocedente desde la antigua cañada del Gato. Hasta la ejecución de la presa, y aunque geomorfológicamente los sistemas del Arroyo Achiras y del Gato están integrados desde tiempos históricos, desde el punto de vista hidrológico superficial sólo se conectaban en épocas de crecidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

APLICACIÓN INFORMÁTICA, ASPECTOS HIDROMÉTRICOS E INFLUENCIA DE LA PRESA

En hidrología es de gran utilidad contar con aplicaciones informáticas que permitan el tratamiento rápido de datos y la generación de gráficos que faciliten las interpretaciones. Una de las más utilizadas, que tiene como antecedente los programas para datos hidrológicos Hydrom y Pluviom (Jacon & Raous, 1994), es Hydraccess (IRD-HYBAM, 2000), disponible en forma gratuita. Se trata de un software completo, homogéneo y amigable al usuario que permite importar y guardar datos hidrológicos en una base de datos en formato Microsoft Access 2000 y realizar procesamientos básicos. Crea archivos Excel permitiendo obtener tablas de datos y gráficos. Los datos pueden visualizarse al intervalo de

tiempo que convenga a la variabilidad disponible y permite manejar: series cronológicas (cotas, caudales, calidad de agua, lluvias), aforos (caudal vs cota), MES (materia en suspensión) de una sección, Q sólido vs Q líquido, historial de las estaciones y cotas de los ceros de las escalas. Los procesamientos básicos que realiza son: funciones gráficas simples, calibraciones cotas –caudales, cálculo automático de caudales líquidos y sólidos, agregación de datos con diferentes intervalos de tiempo y producción de tablas de anuario. Analiza además intensidades de tormenta, realiza estudios de frecuencia de valores anuales, índices pluviométricos y lluvia promedio con método de Thiessen. En el presente caso el tratamiento de datos procedentes de aforos y del limnógrafo fue realizado mediante la aplicación informática Arken v1.0 (Algozino & Alincastro, 2010) desarrollada en el lenguaje de programación Python 2.6. Se trata de una aplicación con bondades similares



Figura 7. Mapa equipotencial del acuífero freático o libre. Cuenca de arroyo Achiras-del Gato (

Fuente: Degiovanni et al. 2005)

a las mencionadas, pero más sencilla, que almacena dicha información en una base de datos MySQL para su posterior acceso y tratamiento. Permite la generación de hidrogramas, y limnigramas, aunque, en forma específica a diferencia de otras, admite la elaboración de curvas caudal-duración. Todas se consiguen de manera muy ágil y dinámica y para diferentes pasos de tiempo. Además, dadas las facilidades que presta un sistema con base de datos, se permite que la información esté centralizada, evitando así que exista duplicidad de la información y, además, permite que varias personas puedan acceder a los datos al mismo tiempo, incluso desde distintas ubicaciones (acceso LAN/WAN). Arken v1.0 forma parte del sistema de información

hidrológica perteneciente al área de Geohidrología de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina (Figura 9). La información almacenada en el servidor de base de datos MySQL (con los datos de los limnigramas, además de otra información hidrológica) puede ser adquirida de modo remoto a través de Internet.

En el caso específico de la cuenca estudiada la serie completa de caudales fue lograda a partir de la curva de gastos (Figura 10) o curva nivel-caudal (h-Q), resultando el hidrograma (Figura 11) graficado con la aplicación Arken v1.0. En la Figura 12 se presenta la variación temporal de caudales para el año 2002-2003 en estación de aforo Ruta 8.

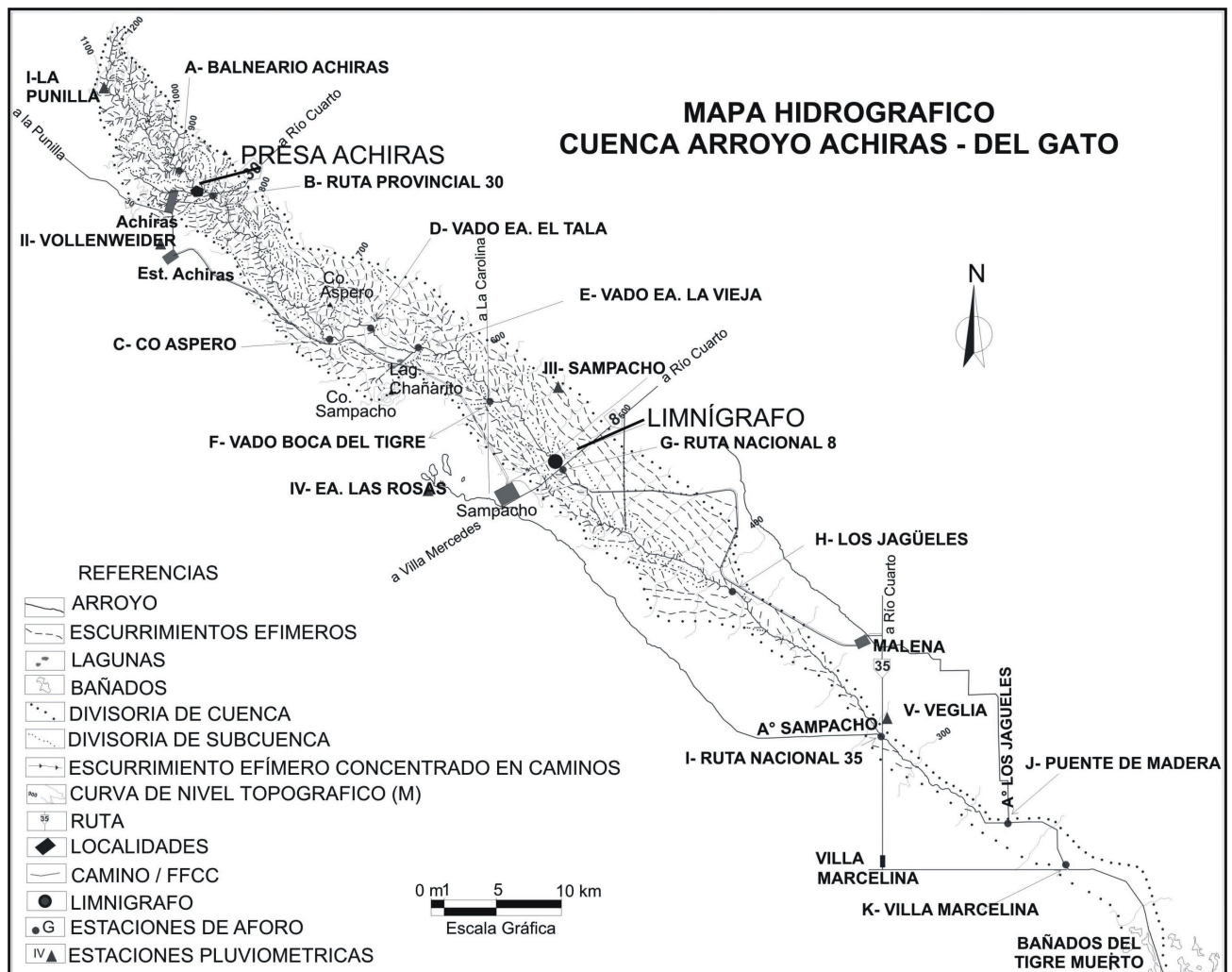


Figura 8. Mapa hidrográfico: subcuencas, estaciones de aforo, pluviométricas y limnigrafo
(Fuente: Degiovanni et al. 2005)

El hidrograma es un claro reflejo de la distribución de los promedios mensuales de lluvias, con picos notorios en diciembre y enero. En general, la evolución de caudales de esta estación de aforo muestra que se trata de un curso de régimen *permanente*, pudiendo identificarse siempre el caudal base que sostiene al arroyo en época de estiaje.

En la Figura 12 se observa la salida gráfica de Arken v1.0 para un hidrograma correspondiente a una importante tormenta en 2002, en el que se observa claramente el caudal de base aportado por el acuífero libre. Éste y otros hidrogramas de tormenta obtenidos permiten caracterizar un comportamiento de tipo torrencial en la cuenca con

tiempos al pico muy cortos (1-3 días) y tiempos de base (correspondiente al escurrimiento directo) de 10-20 días, respondiendo al clásico comportamiento de cuencas elongadas con cierta capacidad de almacenamiento. La curva de agotamiento o de recesión del flujo base tiene duración variable, pero en general toma varios días (Figura 13), en ocasiones más de 1 mes. Según Degiovanni *et al.* (2005) la mayoría de los hidrogramas son multipicos, debido a la distribución temporal de las tormentas y a la forma de la cuenca.

Con el objeto de revisar la posible incidencia de la presa,

se muestra el *limnigrama de promedios diarios* de la serie completa obtenido en la estación de aforo Ruta 8 (Figura 14). Éste muestra que el nivel del arroyo presenta los valores más bajos en 2003 y 2006, típicos años secos en la región (Cabrera *et al.* 2007). Las alturas mínimas del nivel de agua en general no descienden de los 0,40 m, pero llegaron a menos de 0,2 m en 2003 y 2006, corroborando, aún en años muy secos, la permanencia del caudal base aportado por el acuífero. La cantidad y magnitud de los picos de crecida fue máxima en el año 2002. De esta curva debe destacarse que el rango entre máximos y mínimos para el período pre y post-presa es diferente, mucho menor en el 2º caso (Figura 14b), con alturas mínimas más altas

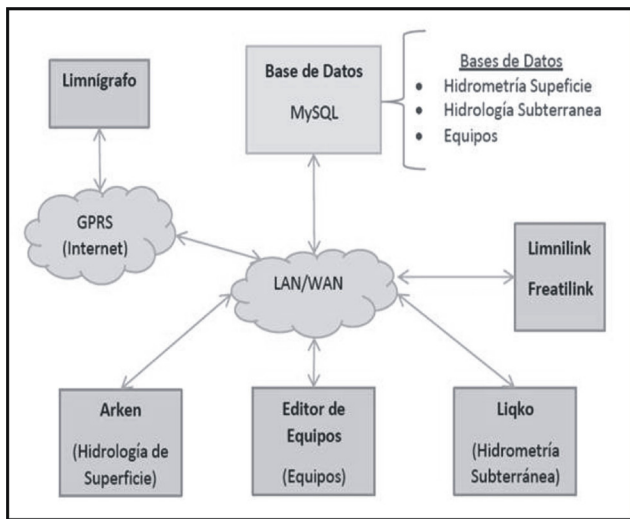


Figura 9. Esquema del sistema de información hidrológica, Dpto. Geología (UNRC)

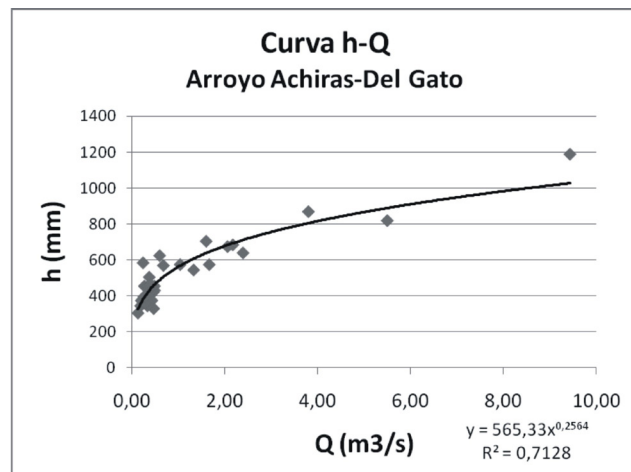


Figura 10. Curva de gastos del arroyo Achiras-del Gato en sección Ruta 8

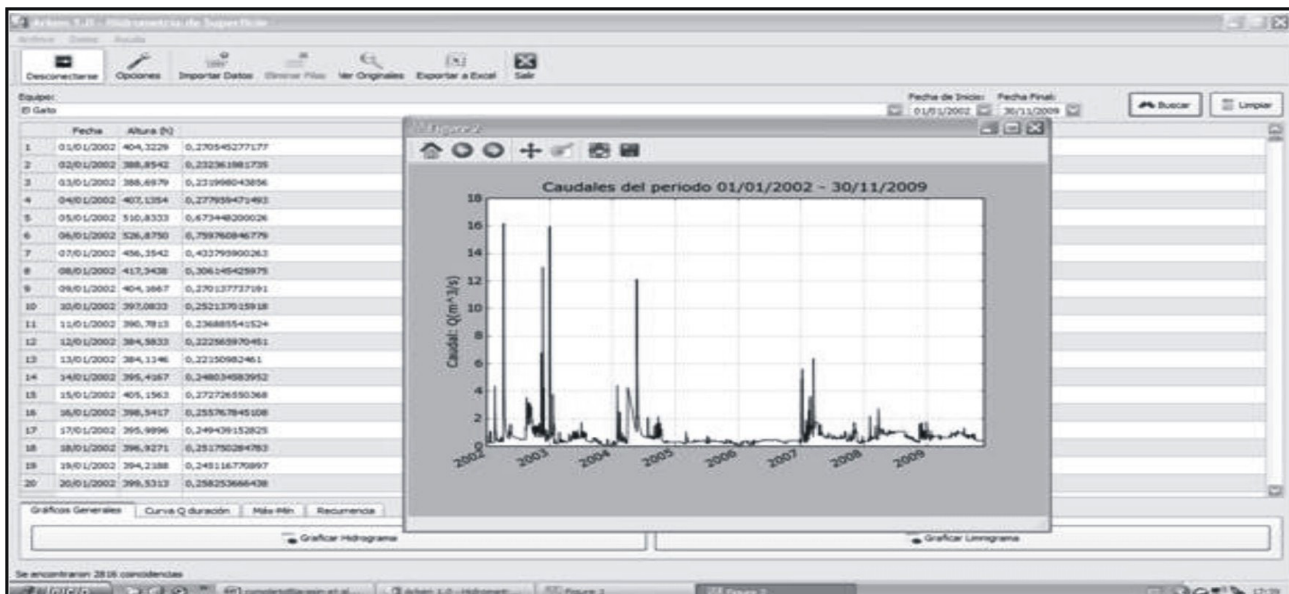


Figura 11. Ejemplo de pantalla y salida gráfica de software Arken v 1.0 para tratamiento de datos hidrológicos, cuenca del arroyo Achiras -del Gato

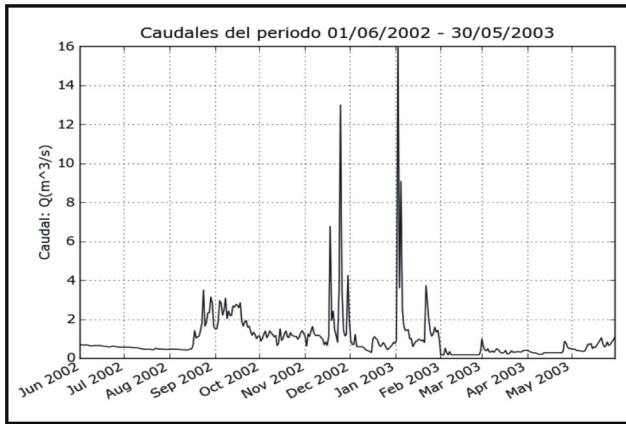


Figura 12. Hidrograma jun 02-may03

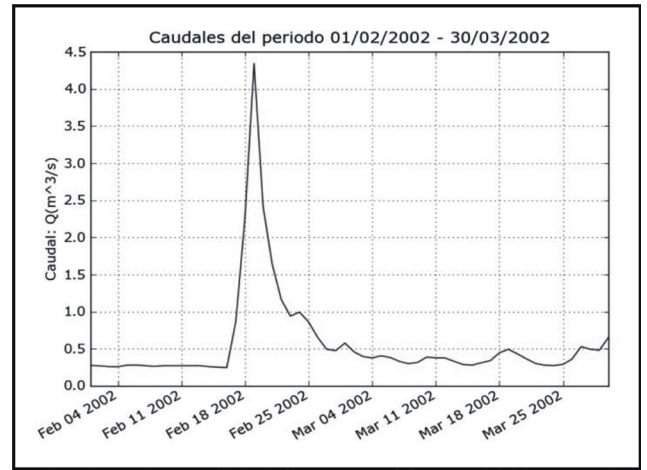


Figura 13. Hidrograma feb-mar 2002

y máximas más bajas, aspecto que se relaciona con el proceso de llegada de agua durante gran parte del año a partir de la presa y al control de las crecientes por efecto de la obra, a pesar de que ésta prácticamente no se encuentra en operación, debido a problemas económicos y falta de personal. Los niveles de agua se presentan ahora como una serie inhomogénea, pasando de un promedio $0,60 \text{ m}^3/\text{s}$ y desvío estándar de $0,96$ para el período pre-presa a un promedio de $0,72 \text{ m}^3/\text{s}$ y desvío estándar de $0,32$ para el post-presa. En Degiovanni *et al.* (2005), se indicaba que la ejecución de la presa Achiras controlaría parcialmente la amenaza de eventos catastróficos, al almacenar los caudales de crecida originados en la cuenca alta. Los datos aquí presentados corroboran este comportamiento, como lo indica la disminución del desvío estándar debido a decrecimiento del rango de caudales (Figura 14b).

CURVAS Q-D: SU IMPORTANCIA PARA ANALIZAR LA RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO

Desde diferentes perspectivas de tipo práctico (potencial hidroeléctrico de un río, diseño de sistemas de drenaje, influencia de obras hidráulicas en diversas actividades, procesos erosivos, afectación a las comunidades florísticas y faunísticas del cuerpo de agua, entre otros) una de las cuestiones más importantes en relación a la descarga de agua subterránea en ríos es definir cuál es el caudal que lo sostendrá en la estación seca (Younger, 2007; Kirk, 2006). Para determinar esto, es necesario examinar cómo el caudal de un río varía a lo largo de un ciclo completo anual, o mejor aún, multianual (Younger, 2007). El modo más fácil de realizar tal examen es preparar curvas Q-d (caudal-duración o curva de permanencia), con frecuencias acumuladas, que muestran los caudales vs. el porcentaje

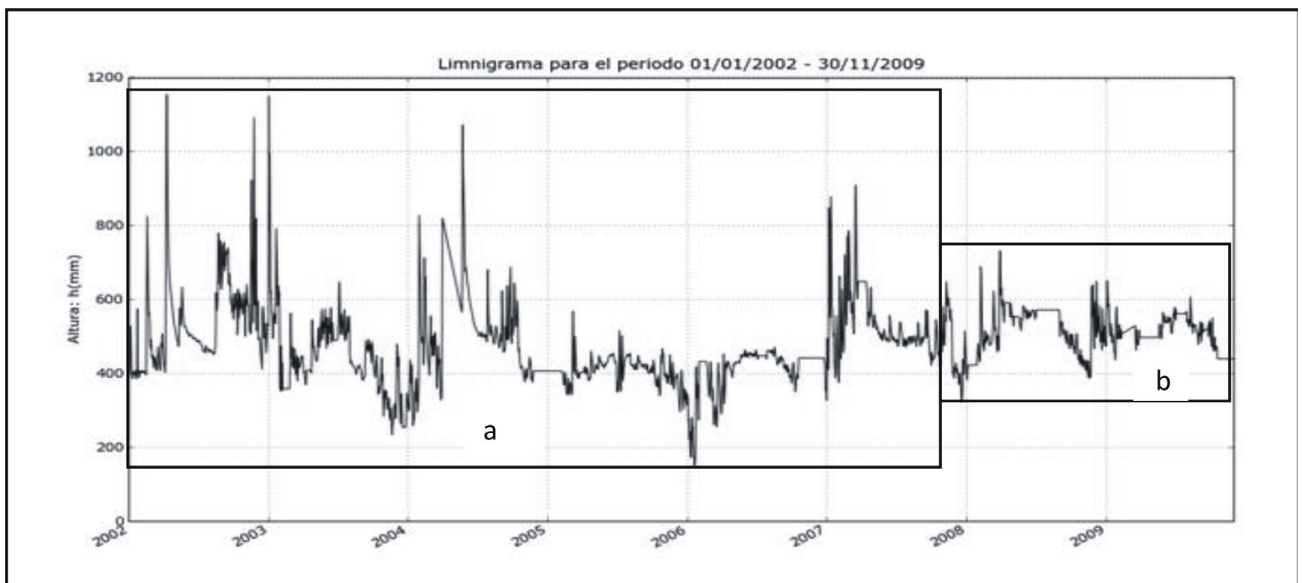


Figura 14. Limnigrama general serie 2002-2009. a: pre presa, b: post presa

de tiempo en el cual un caudal es igualado o excedido. Suele ser de utilidad analizar caudales característicos máximos ($Q_{2,7}$, igualado o excedido 10 días al año), de sequía $Q_{97,2}$ (igualado o excedido 355 días), Q_{50} , entre otros. Obviamente, para condiciones de flujo bajo, que se supone son sostenidas solamente por la descarga de agua subterránea, la punta final de la curva Q-d es la de mayor interés. El índice más común de caudal bajo es el llamado Q_{95} , es decir, igualado o excedido el 95 % del tiempo. La popularidad del Q_{95} como índice de caudal base se debe a que la mayoría de las curvas Q-d deben estar sostenidas por datos que permitan una lectura precisa del Q_{95} , mientras que percentiles más altos Q_{97} ó Q_{99} no pueden definirse tan exactamente (Younger, 2007).

Analizadas para el caso de estudio las curvas Q-d pre y post-presa se observaron los siguientes aspectos. La curva Q-d pre-presa (Figura 15) mostró Q_{95} de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ y Q_{50} de $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$. Dada la distribución temporal de lluvias, observaciones de campo e hidrogramas analizados, el Q_{50} se interpreta como representativo de caudal base máximo promedio aportado por el acuífero al arroyo en ese tramo, antes de que se construyera la obra. El valor de la relación $Q_{25}/Q_{75}=3,8$ denota la dominancia del escurrimiento superficial en ese período (Younger, 2007), especialmente la de los caudales altos en crecientes ordinarias y extraordinarias.

La curva Q-d post-presa (Figura 16) mostró $Q_{95}=0,10 \text{ m}^3/\text{s}$, Q_{50} de $0,73 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{25}/Q_{75}=1,9$. El cambio en estos tres parámetros muestra que además del aumento en el valor de la mediana (Q_{50}), aumentaron los caudales bajos (Q_{75} , Q_{95}) lo que no podría interpretarse como un aumento de infiltración en la cuenca (dado el uso actual del territorio, que fomenta el escurrimiento) y consecuentemente del caudal aportado por el acuífero, sino como un aumento de caudales bajos debido a que el agua es liberada por la obra en forma más uniforme, sumándose durante varios meses del año a la aportada por el acuífero. Se destaca que, además, al momento de terminado el presente análisis hidrológico, no se observaron rasgos de erosión inmediatamente aguas abajo de la presa y por efectos de la misma.

Las curvas Q-d anuales fueron de utilidad para evaluar la relación río-acuífero. Del análisis realizado se observa que el aporte del agua subterránea varía en relación a las precipitaciones registradas cada año ya que estas son la variable de entrada principal al sistema subterráneo. Así, en los años más secos bajan los niveles freáticos, aspecto monitoreado en la cuenca baja del arroyo y en otros sitios de la región (Cabrera *et al.* 2007; Blarasin *et al.* 2003). De este modo, el descenso del nivel freático se traduce en menor aporte al arroyo, lo que puede confirmarse en cada

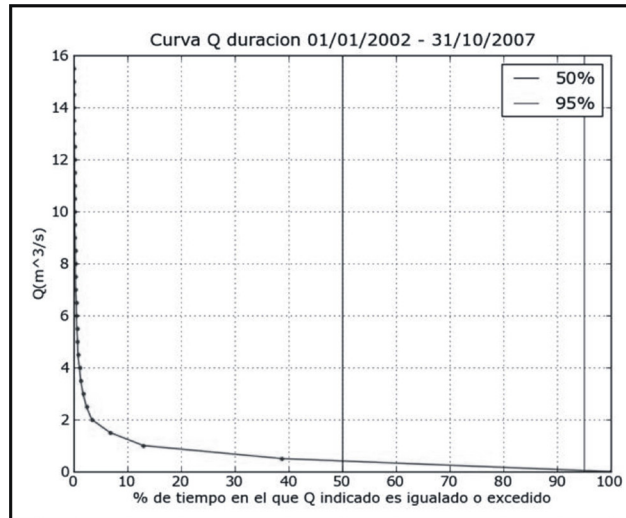


Figura 15. Curva Qd 2002-Oct 2007 (pre-presa)

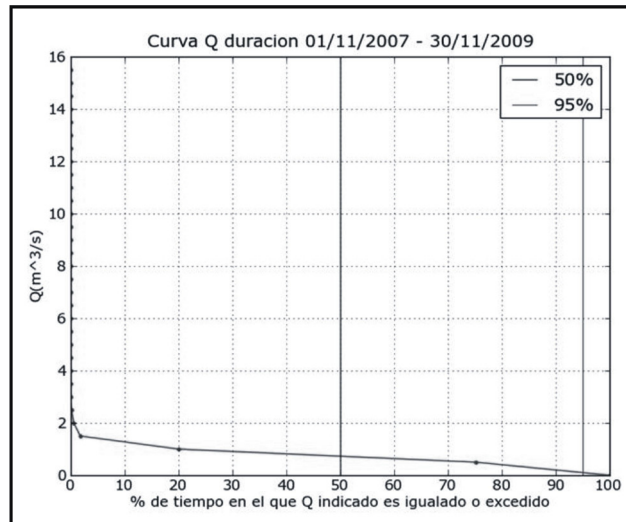


Figura 16. Curva Qd nov2007-2009 (post-presa)

curva Q-d. En la Figura 17 se observa, como ejemplo, que en el año más seco de la serie analizada (2006), el Q_{95} fue de $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$, el Q_{50} $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ y el Q_{25} $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$. Por su parte, el año más húmedo (2002) mostró valores de Q_{95} $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$, Q_{50} $0,76 \text{ m}^3/\text{s}$ y Q_{25} $1,26 \text{ m}^3/\text{s}$.

CONCLUSIONES

El uso de la aplicación *Arken v 1.0* fue ventajoso dado que permitió elaborar limnigramas e hidrogramas y curvas caudal-duración (Q-d) para diferentes pasos de tiempo. Esto resultó muy útil para analizar tormentas, semanas, meses o años de distintas características hidrológicas y evaluar el comportamiento del arroyo en forma sumamente ágil y con salidas gráficas claras. En especial, la posibilidad de realizar curvas Q-d con la aplicación y establecer el porcentaje de tiempo en el cual un caudal es igualado o excedido, es de gran utilidad para el análisis del comportamiento de un río

en casos en los que la cuenca ha cambiado por factores naturales o intervenciones humanas.

El análisis de limnigramas e hidrogramas anuales, multianuales y de tormentas de interés permitió caracterizar

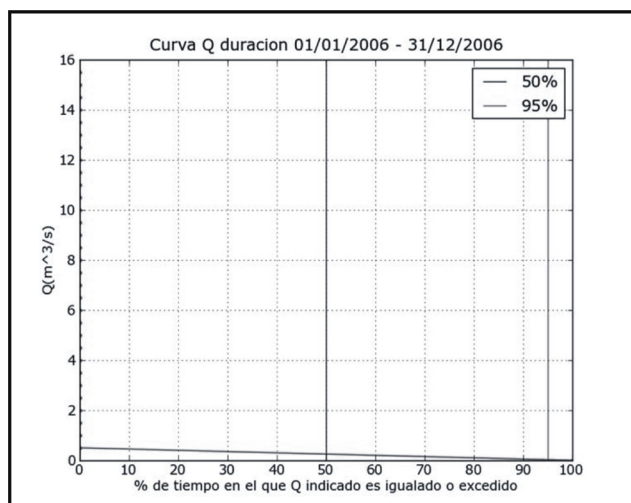


Figura 17. Curva Qd año 2006

el comportamiento hidrológico de la cuenca estudiada, destacándose el sostenimiento permanente del caudal de base aportado por el acuífero freático y la influencia de la represa en el hidrograma general. La obra ha cumplido con uno de los cometidos principales para el que fue realizada, es decir, evitar altos caudales aguas abajo de la misma, a los que se asocian importantes procesos erosivos. El hidrograma general se presenta como una serie inhomogénea, pasando de un rango de caudales pre-presas alto a uno post-presas más bajo, debido a la laminación de crecidas y al aumento de caudales bajos (por aporte gradual desde la presa). Las variaciones observadas en Q_{95} , Q_{50} y en la relación Q_{25}/Q_{75} comparando la curva caudal-duración pre y post-presas, se atribuyen al aumento de caudales bajos asociados a la liberación más uniforme de escurrimiento superficial por la presa, que se suman en forma casi permanente al aportado por el acuífero, dado que el uso actual del territorio no indica un incremento en la infiltración y consecuentemente del aporte freático en los últimos años.

AGRADECIMIENTOS

Las investigaciones fueron subsidiadas con fondos de Secyt UNRC y PID 35/08 Foncyt-Mincyt Cba. Argentina

REFERENCIAS

ALGOZINO, R. & ALINCASTRO, N. (2010). Telemetría de datos hidrológicos de aguas superficiales, desarrollo de aplicaciones para análisis de variabilidad temporal.

Práctica Profesional. UNRC.

BLARASIN, M. & CABRERA, A. (2005). Aguas subterráneas: hidrolitología, hidrodinámica e hidrogeoquímica regional En "Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba". Ed. UNRC. pag 41-52. ISBN: 950-665-350-X.

BLARASIN, M., CABRERA, A., MATTEODA, E. (2003). Groundwater geoindicators for the assessment of environmental changes, planning and policy implications, Río Cuarto City, Argentina. Journal of Environmental Hydrology. 12 pág.. Paper 16. Vol. 11. ISSN: 1058-3912.

CABRERA, A., BLARASIN, M., MATTEODA, E. (2007). Análisis hidrometeorológico e hidrodinámico del acuífero freático en ambientes morfotectónicos contrastantes. Córdoba. Arg. Pag 422-432. Actas V Cong. Arg. Hidrogeología. Comp.: Díaz *et al.* ISBN 978-987-23936-3-2.

CABRERA, A. & BLARASIN, M. (1999). Contamination by nitrates in the phreatic aquifer of an agroecosystem of the chacopampeana plain. Córdoba. Argentina. Journal of Environmental Hydrology. 10 pp. Paper 17, Vol. 7. ISSN 1058-3912.

DEGIOVANNI, S. (2005). Análisis de los problemas geoambientales vinculados a los recursos hídricos en la cuenca del arroyo Achiras-del Gato. Características climáticas, geológico-geomorfológicas y de ocupación territorial. En "Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba". Ed. UNRC-Río Cuarto. pág.181-190. ISBN: 950-665-350-X.

DEGIOVANNI, S., BLARASIN, M., CAVIGLIA, L. (2005). Análisis de la dinámica, composición química e interrelaciones entre el agua superficial y subterránea. En "Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba". Ed. UNRC pag.191-202. ISBN: 950-665-350- X.

IRD-HYBAM. (2000). HYDRACCES - Software para tratamiento de datos hidrológicos (<http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/hydraccess.htm>).

JACCON, G. & RAOUS, P. (1994). HYDROM et PLUVIOM: Deux logiciels de gestion de banques de données hydrométriques et pluviométriques. Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM. F Documentaire n° 41629-B.

KIRK, S. (2006). Interactions between groundwater-

surface water and terrestrial eco-systems Groundwater and Ecosystems, 205–216. ISBN-10 1-4020-4738-X (e-book) Baba *et al.* (eds.), Earth and Environmental Sciences - Vol. 227. Springer.

SAGRIPANTI, G. (2006). Neotectónica y Peligro sísmico de la región de Sampacho. Dpto. Río Cuarto, Prov. De Córdoba. Tesis Doctoral. UNRC. Inédito.

YOUNGER, P. (2007). Groundwater in the environment. ISBN-10: 1-4051-2143-2. Ed. Blackwell.