

# Estudio de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca del río de la Flecha, Departamento Sarmiento, San Juan

*Gerardo Salvioi<sup>1</sup>, Silvia Merida<sup>1</sup> y Dante Salvioi<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Instituto Nacional del Agua. Centro Regional de Aguas Subterráneas (INA-CRAS)  
Avenida Ignacio de La Roza 125 (Este) - Piso 3 - (C.P. 5400). San Juan, Argentina

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan  
Avenida Libertador Gral. San Martín 1109 (Oeste). San Juan, Argentina.

Mail de contacto: ghsalvioi@hotmail.com

## RESUMEN

Los objetivos del estudio realizado fueron conocer las características hidrológicas e hidrogeológicas de la cuenca del río de la Flecha y proponer obras para el aprovechamiento del agua subterránea y de los derrames superficiales permanentes y subálveos y obras para la defensa de las márgenes de aguas abajo. La metodología consistió en la aplicación de métodos estadísticos e hidrológicos tendientes a la determinación de las lluvias máximas probables y sus consecuentes crecidas, la realización de reconocimientos en campaña, el análisis de los derrames permanentes superficiales y subálveos y la ejecución de diversos estudios relacionados con la hidrogeología de la cuenca. La información obtenida, ha permitido mejorar el conocimiento de la hidrología e hidrogeología de la cuenca del río de La Flecha, programar próximos estudios de detalle e informar los aspectos relacionados con obras que podrían diseñarse para el aprovechamiento de sus recursos hídricos y defensa contra crecidas.

Palabras claves: estudio, La Flecha, obras defensas.

## ABSTRACT

The objectives of the study were to determine the hydrological and hydrogeological characteristics of the La Flecha river basin and propose constructions for the use of groundwater and permanent surface spills and subsurface and constructions for the defense of the downstream margins.

The methodology consisted of the application of statistical methods and hydrological aimed at determining the probable maximum rainfall and resulting floods, conducting surveys in the field, the analysis of permanent spills surface and subsurface and the implementation of various studies related to the hydrogeology of the basin. The information obtained has improved the knowledge of hydrology and hydrogeology of La Flecha's basin, set future studies detailed and reporting aspects of constructions that could be designed for the use of their water resources and flood defenses.

Keywords: study, La Flecha, construction defense.

## Introducción

La cuenca del río de la Flecha, se extiende en el sector occidental del Departamento Sarmiento en la provincia de San Juan, como se aprecia en la Figura 1, drena parte de la vertiente oriental del Cordón de las Osamentas, integrante éste de la Sierra del Tontal, principalmente el sector Sur de la Pampa de Bachongo. Su cuenca hidrográfica se extiende entre las cuencas de los ríos de la Ciénaga y del Agua, situadas al norte y sur respectivamente del área en estudio. Su cauce principal aporta a través de la quebrada homónima avenidas estivales que afectan seriamente la zona suburbana de la Villa de Media Agua y las propiedades cultivadas ubicadas al oeste de la

misma. La cuenca posee una superficie de unos 272 Km<sup>2</sup>; sus tres tributarios principales son los ríos de las Barrancas, Bachongo y el arroyo de la Ciénaga, de éstos el primero y el tercero poseen caudales permanentes que al ingresar al cauce principal se infiltran en los sedimentos permeables de éste. Cabe aclarar, que en la cuenca no existen obras hidráulicas de ningún tipo, ni perforaciones, ni obras de defensa.

La zona posee un clima continental semiárido y mesotermal, con vegetación de monte, cultivos limitados a la disponibilidad de agua para riego y escurrimientos estivales eventuales de tipo aluvional. Las principales características climáticas son la elevada radiación solar, escasa nubosidad, gran transparencia atmosférica e importante amplitud

térmica diurna-nocturna; parámetros asociados a un régimen pluviométrico con dos estaciones, húmeda y seca, muy definidas. La precipitación media en la cuenca ronda los 300 mm (82% en el semestre estival).

La cuenca posee un inexplorado reservorio de agua subterránea, ésta se encuentra contenida en los sedimentos cuaternarios de la

Pampa de Bachongo. La recarga de la misma proviene de las lluvias que precipitan en la vertiente este del cordón serrano de Paramillos del Tontal, generando escurrimientos superficiales permanentes de escasa cuantía y crecidas de magnitudes importantes.

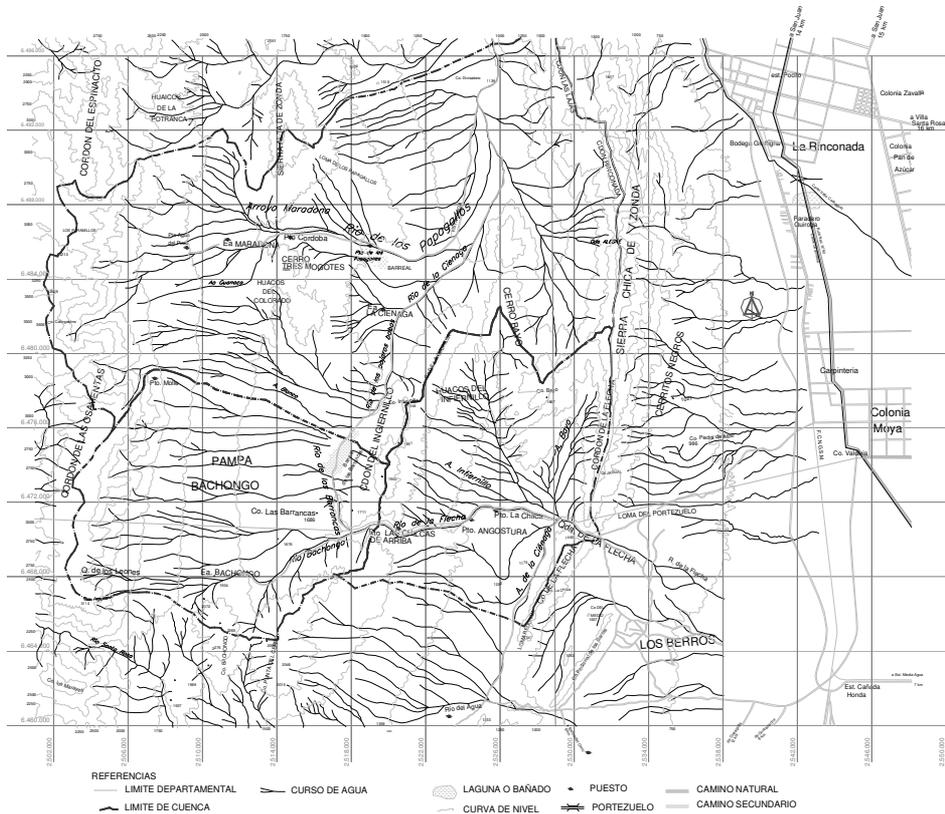


Figura 1. Zona de estudio, límites de la cuenca y ubicación de estaciones pluviométricas

### Objetivos

El presente tuvo como objetivos: a) conocer las posibilidades de explotar el agua subterránea contenida en el sector sur de la Pampa de Bachongo; b) calcular, al menos aproximadamente, los escurrimientos subálveo y de crecidas a través de la Quebrada de la Flecha.

### Geomorfología y geología de la cuenca.

En el área de estudio se reconocen los siguientes elementos principales constitutivos

del paisaje: montañas, lomadas y valles. Las primeras son cordones alargados en dirección norte-sur que bordean las depresiones; el más importante es el Cordón de las Osamentas, cuyas cumbres delimitan por el oeste a la cuenca en estudiada, en el mismo predominan las sedimentitas devónicas, consistentes en grauvacas de color verde oscuro y areniscas grises con intercalaciones de lutitas; también pertenecen al Devónico el Cordón del Infiernillo y el cerro Barrancas y los cerros Hediondo, Punta del Cerro (divisoria sur). Los otros afloramientos serranos de importancia son

### Geomorfología

las calizas y dolomías de la Formación San Juan (Ordovícico) que constituyen la divisoria oriental de la cuenca; si bien las rocas de la Formación San Juan son compactas, presentan dos sistemas de diaclasas, uno paralelo al plano de estratificación y otro perpendicular al mismo.

Las lomadas son elevaciones de bajas alturas existentes en los sectores medios de la cuenca, en general están conformadas por sedimentitas carbónicas y pérmicas. Los valles son las depresiones intermontanas rellenas por sedimentos cuaternarios principalmente de origen fluvial, aportados por los numerosos arroyos y torrentes que descienden de las serranías vecinas. La más importante es la Pampa de Bachongo. Las formaciones geológicas mapeadas en la cuenca poseen distintos comportamientos, sea como acuíferos o como basamento hidrogeológico de éstos.

### Geología de superficie

La cuenca hídrica del río de la Flecha se desarrolla prácticamente en la provincia geológica de Precordillera Oriental, definida ésta por su particular tectónica, caracterizada por fallas inversas de alto ángulo en la vertiente occidental de los cordones montañosos, con planos de fallas inclinados hacia el Este. Su composición litológica involucra a sedimentitas marinas del Paleozoico Inferior a medio (Ordovícico-Devónico) y continentales del Paleozoico Superior (Carbonífero-Pérmico) hasta el Neógeno (Terciario superior a Cuaternario) (CRAS, 1975).

Las rocas del Paleozoico Inferior son mayormente las que componen los cordones montañosos; las mismas son sedimentitas marinas principalmente del Ordovícico, son calizas y dolomías bien estratificadas en estratos de espesores muy variables, por lo general gruesos con presencia de pedernal. (CRAS, 1975). Las rocas de edad devónica afloran casi en la totalidad de la divisoria Oeste de la cuenca (Cordón de las Osamentas); son un complejo sedimentario marino denominado formación Punta Negra, conjunto de areniscas con intercalaciones lutíticas y arcilíticas.

El Paleozoico Superior está presente en el área de las lomadas que se desarrollan en las zonas deprimidas (CRAS, 1975). Su litología es variable, conglomerados medianos, areniscas finas a gruesas, lutitas y arcilitas, limonitas carbonosas hasta areniscas arcósicas pérmicas; en general son sedimentitas continentales recubiertas en gran parte por terrenos terciarios y cuaternarios. En el área del cerro de La Chilca se reconoció una pequeña manifestación ígnea

que intruye a las calizas ordovícicas y corona a las sedimentitas del Carbonífero y del Pérmico.

Los terrenos de edad terciaria se dividen en dos grandes grupos: a) uno inferior compuesto por areniscas gruesas a finas, limonitas y arcilitas, presentes en las lomadas que se disponen con rumbo Norte-Sur, con afectaciones tectónicas que se manifiestan en pliegues anticlinales y sinclinales, con fallas y fracturas asociadas al callamiento mayor de los cordones montañosos principales. Por encima de esta secuencia de elementos medios a finos, se dispone una secuencia asignable al Terciario Superior; son conglomerados de matriz arenosa y localmente cementados por carbonato de calcio, la composición litológica de los clastos redondeados a sub-redondeados indica que provienen de rocas de cordillera y precordillera.

Los sedimentos cuaternarios comprenden una amplia gama de rocas de diferentes litologías y granulometrías. No están consolidados y poseen permeabilidad primaria y buena porosidad; el tamaño del grano varía desde limos y arcillas hasta bloques, poseen matices pardos blanquecinos hasta grises oscuros, afloran en relación de discordancia sobre todo tipo de terrenos subyacentes y en las áreas deprimidas se comportan como rocas de tránsito y acumulo de agua subterránea.

### Hidrometeorología

#### Materiales y métodos

El análisis de imágenes satelitales, Google Earth y cartas topográficas, ha permitido determinar las principales características de las cuencas del río de La Flecha y de sus dos afluentes más importantes, datos que se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características de las cuencas

Cuenca	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Longitud cauce principal (Km)	Desnivel máximo (m)
Río de la Flecha	272,0	32,25	2.050
Río de las Barrancas	85,4	17,28	1.450
Río Bachongo	171,0	17,77	1.250

Se conocen además otras características de las cuencas relacionadas con el drenaje de las mismas: perímetro, ancho medio, longitud axial,

Factor de forma, índice de Gravelius, pendiente media y factor de drenaje. La estación meteorológica más próxima al área en estudio, es la ubicada en la Escuela de Agricultura de la Villa de Media Agua, cabecera del departamento Sarmiento. Sus datos, permitieron inferir las principales características hidrometeorológicas de la zona.

Mediante el análisis de los registros climáticos y el cálculo de distintos índices de aridez, se concluye que el clima de la región es semiárido a árido, con grandes amplitudes térmicas diurnas-nocturnas y anuales (verano-invierno), elevadas heliofanía e insolación, importante transparencia atmosférica, escasa humedad y reducida nubosidad.

Según la clasificación de Köppen el clima imperante en la zona, es del tipo (B W K w a), con una precipitación media anual inferior al límite de sequía, características climáticas de desierto, temperatura media anual inferior a 18 °C pero superior a 18 °C en el mes más caluroso, el período más seco es en invierno y la temperatura media del mes más caluroso es superior a 22 °C. Desde el punto de vista bioclimático, la zona tiene un clima Tropical Árido, con inviernos fríos.

La distribución a lo largo del año de las precipitaciones medias mensuales registradas en las diferentes estaciones pluviométricas, indican un régimen pluviométrico continental, con lluvias estivales (el 82% de la media anual) y con una baja frecuencia media anual de días con precipitaciones. Las precipitaciones medias anuales registradas en diversas estaciones de la zona son: "Puesto Córdoba" (1978/93, 250 mm), "La Ciénaga" (1976/87, 184 mm), "Puesto Molle" (1974/89, 206 mm) y "Ea. Bachongo" (1974/94; 307 mm).

Sobre la base de los datos de las estaciones instaladas por el Centro Regional de Aguas Subterráneas se ha calculado con aceptable aproximación que la precipitación media anual ronda los 250 mm; fluctuando entre valores máximo y mínimo de unos 500 mm y 170 mm respectivamente; lo que evidencia una gran irregularidad anual de las lluvias, característica particular de los climas desérticos.

Con los registros disponibles se han trazado las isoyetas medias anuales de la comarca; éstas señalan que las precipitaciones en la cuenca, varían entre unos 200 mm en el este de la misma (vertiente de las sierras que delimitan por el este a la cuenca) y unos 400 mm en el sector oeste (faldeo oriental del Cordón de las Osamentas), con una media ponderada de 250 mm. La frecuencia anual media de días con

lluvias es superior a 40, elevada respecto a los valores predominantes en San Juan:

En el sector oeste de la cuenca, durante la estación invernal ocurren frecuentemente precipitaciones níveas; la nieve se acumula sobre el suelo durante algunos días, luego se licua y escurre lentamente para infiltrarse en los terrenos permeables pedemontanos de la Pampa de Bachongo.

A falta de registros pluviográficos, las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que se emplearon para la determinación de los caudales máximos de crecidas, fueron confeccionadas sobre la base de: a) el análisis mediante métodos estadísticos de las lluvias diarias máximas anuales observadas en las estaciones pluviométricas, para luego calcular mediante expresiones semiempíricas las intensidades de las lluvias de diseño de duraciones inferiores a 24 horas; b) la aplicación de otras metodologías de cálculo como son los propuestos por el Ing. Federico Rühle (D.N.V., 1966), por el Centro Regional Andino (CRA, 1997 y 2008) y el de los Coeficientes Medios.

Sistematizada la información disponible de las cuatro estaciones con registros de lluvias diarias máximas anuales, mediante los métodos probabilístico de Gumbel y Lognormal se han determinado las precipitaciones máximas probables (PMP) correspondientes a distintos períodos de retorno. Valores que permitieron calcular luego, los caudales máximos probables por los métodos hidrológicos basados en las intensidades de las lluvias máximas, en general del tipo de hidrograma triangular.

Sobre la base de lo explicitado y de las metodologías antes señaladas, se determinaron primero los parámetros característicos de las series estadísticas de lluvias diarios máximas anuales de las estaciones "Ea. Bachongo", "Ea. La Ciénaga", "Puesto Molle" y "Puesto Córdoba". Con los mismos y mediante la expresión de Gumbel, se calcularon las precipitaciones diarias máximas probables (PMP diarias) para diferentes períodos de retorno. Además se ha tenido en cuenta la sugerencia de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, N° 168, 1994), en relación a incrementar en un 13% los valores calculados sobre la base de lluvias diarias máximas, a fin de obtener las lluvias en 24 horas.

Como se anticipara, las curvas IDF o las relaciones analíticas entre las intensidades, duraciones y frecuencias, a fin de definir las lluvias de diseño, se han obtenido mediante la aplicación de un método semiempírico (en el caso la fórmula de Grunsky). También se ha tenido en cuenta las curvas IDF del Centro

Regional Andino (CRA) del Instituto Nacional del Agua y otros dos métodos aplicables a zonas sin información o con escasez de datos.

## Resultados

Del análisis de los datos se puede expresar que las lluvias estivales, proclives a generar eventos lluvia-escorrentía, son del tipo orográfico-convectivas, caracterizándose por presentar cortas duraciones (de algunos minutos hasta tres a cinco horas), elevadas intensidades y en general áreas de cobertura reducidas a moderadas. Las precipitaciones diarias máximas probables para recurrencias de 25, 50, 100 y 200 años fueron calculadas mediante los métodos de Gumbel y Lognormal, obteniéndose para 25 años valores de similares órdenes de magnitudes que las lluvias máximas registradas en los pluviómetros de las estaciones consideradas.

Al comparar las intensidades obtenidas por Gumbel-Grunsky con las calculadas por otros cuatro métodos, se observó que: a) para lluvias de reducidas duraciones (inferiores a 2 horas), los valores calculados por el primero son inferiores a los determinados por otras metodologías; b) para lluvias de duraciones superiores a 200 minutos se invierte la relación y los valores determinados por Gumbel-Grunsky son superiores a los otros. Finalmente se consideró conveniente adoptar para los cálculos los promedios aritméticos de los valores obtenidos por los cinco métodos aplicados.

## Hidrogeología

La principal limitación que tiene el estudio de las aguas subterráneas en la zona, es el extremadamente escaso número de pozos existentes. Por lo que no se dispone de datos precisos de las características de los acuíferos en extensos sectores de la zona estudiada.

Las aguas subterráneas existentes en la cuenca, de calidad apropiada para consumo humano, riego y ganadería, se hallan contenidas en los sedimentos cuaternarios y en todos los casos pertenecen a un único nivel acuífero. Se han reconocido dos reservorios de agua subterránea: la Pampa de Bachongo y el asociado al cauce del río inmediatamente aguas arriba de la quebrada de La Flecha. El primero por su extensión, considerables espesores e importante volumen de sedimentos saturados es por lejos el de mayor relevancia. El segundo, de amplia longitud en sentido Oeste-Este (unos 14 Km), de limitado ancho Norte-Sur (entre 0,5 y 1 Km) y de muy reducidos espesores saturados, esto último debido a los diversos afloramientos

de rocas precuaternarias, se asemeja a un subálveo. En el resto de la cuenca, no se presentan desarrollos aluviales suficientes que puedan considerarse como acuíferos, ya que los espesores de los sedimentos se hallan restringidos a los cauces de los emisarios secundarios, resultando muy escasos.

En síntesis, en la Pampa de Bachongo existe un reservorio hídrico constituido por un único acuífero hidrológicamente libre. Éste posee importantes espesores de materiales detríticos no consolidados, gruesos, de buenas porosidades. De los registros de sondeos eléctricos verticales prospectados en el sector Norte de la Pampa, se infiere que en ésta se produjo el depósito de una serie de conos aluviales asentados sobre una antigua superficie de erosión con inclinación hacia el Este; sin duda que la Pampa ofrece buenas perspectivas en el sentido de comportarse como una depresión de acumulación de aguas subterráneas, de calidad química buena y en cantidades suficientes que justifiquen su explotación para el riego y otros usos.

El subálveo del cauce principal se comporta como un reservorio donde el hallazgo de agua subterránea depende de la configuración geológica. En resumen, en el mismo las aguas circulan con dirección predominante Oeste-Este y dentro de los límites rigurosos que impone el basamento.

La recarga a la cuenca subterránea de la Pampa de Bachongo, proviene de las precipitaciones que ocurren en la vertiente oriental del Cordón de las Osamentas. Parte de las alturas de agua precipitadas, alimenta los numerosos cursos intermitentes que descienden desde el faldeo serrano, luego las aguas se infiltran en los terrenos pedemontanos de elevadas capacidades de infiltración, para finalmente circular subterráneamente por los materiales sueltos en dirección hacia el sureste.

Es probable que parte de las aguas que precipitan en los cordones serranos, se filtren en las diaclasas, grietas y fisuras que le otorgan a las rocas permeabilidades secundarias. En la propia superficie de la Pampa, parte de las lluvias se insumen en los tenues suelos esqueléticos y contribuyen al sostén de la muy escasa cobertura vegetal.

En el sector Norte de la Pampa, en terrenos de la estancia La Ciénaga, se han perforado tres pozos de profundidades comprendidas entre 20 m y 30 m, con niveles estáticos del orden de -1,50 m a -2,50 m. Las profundidades de exploración de estos pozos han atravesado sólo sedimentos cuaternarios, estimándose que las rocas precuaternarias se encontrarían a más

de 100 m de profundidad. Como el terreno en el lugar posee una considerable pendiente, las entubaciones de las perforaciones y los conductos de conducción del agua, se han diseñado de forma que los pozos vierten por gravedad caudales de unos de 30 a 40 m<sup>3</sup>/hora.

## **Derrame subálveo por la Quebrada de la Flecha**

### **Materiales y Métodos**

El derrame subálveo a través de la Quebrada de la Flecha fue calculado con aceptable aproximación, mediante la aplicación de Ley de Darcy. Esta permite calcular el caudal que circula subterráneamente a través de los sedimentos cuaternarios saturados del subálveo, sobre la base de los datos hidrológicos que caracterizan la zona saturada de la misma.

$$Q = K * A * i$$

Donde:  $Q$  es el caudal que circula por el subálveo en m<sup>3</sup>/seg;  $K$  es la permeabilidad en m/día;  $A$  es la sección saturada en m<sup>2</sup>;  $i$  es el gradiente hidráulico.

Si bien la información hidrogeológica disponible del subsuelo es escasa, la misma permite determinar aproximadamente el caudal de agua que circularía por los sedimentos sueltos no consolidados, en aquellas oportunidades en las que se conoce las profundidades a las cuales se encuentra el nivel estático en la sección.

La información de mayor relevancia en relación a los espesores de los sedimentos cuaternarios, es la obtenida por el pozo denominado VT-15. Éste fue perforado por el Plan Agua Subterránea (antecesor del CRAS) a mediados de 1967, precisamente con el objetivo de explorar el subálveo en el lugar. El mismo alcanzó una profundidad total de exploración de 30,95 m, prácticamente los primeros 25 m el pozo atravesó sedimentos sueltos constituidos principalmente por bloques, gravas, gravillas y arenas. La perforación se entubó en su tramo final con caño filtro de Ø 6 pulgadas entre 25,6 m y 28,6 m. Los análisis físico-químicos realizados a las muestras de agua obtenidas, dieron por resultado una conductividad eléctrica media de 1.330 micromho/cm, un residuo de evaporación 992 mg./litro y un contenido de Boro de 0,70 mg./litro.

A la finalización de las diversas actividades ejecutadas en el pozo VT-15, se dejó una cañería de 2 pulgadas de diámetro hasta la profundidad de 24,7 m, a fin de poder efectuar un monitoreo de los niveles piezométricos. El

CRAS realizó mediciones anuales entre 1967 y 2010, los niveles estáticos medio, máximo y mínimo registrados fueron de -20,27 m, -22,80 m y 18,01 m respectivamente

En el sitio en donde se encuentra ubicado el pozo, el ancho del cauce entre las márgenes de roca caliza es de aproximadamente 38,7 m.

Para la aplicación de la expresión de Darcy, fue oportuno considerar que el gradiente hidráulico del escurrimiento subálveo es ligeramente superior a la pendiente superficial del cauce, o sea aproximadamente un 4 %.

En cuanto a la permeabilidad media de los terrenos, se adoptó para los mismos un valor estimado sobre la base de los materiales atravesados por la perforación (granulometría gruesa con predominio de bloques, gravas y arenas, con muy escasos materiales finos), el resultado de un ensayo de bombeo efectuado en un pozo ubicado a la salida de la quebrada e investigaciones geofísicas e hidrogeológicas efectuadas en esta última. En síntesis se infiere para los sedimentos saturados de la quebrada una permeabilidad media de alrededor de 300 m/día.

### **Resultados obtenidos**

La información disponible indica que, la sección del subálveo en el lugar donde se ubica el pozo posee aproximadamente las siguientes dimensiones: un ancho en superficie de 38,7 m; un espesor medio del relleno sedimentario suelto no consolidado en el talweg de unos 25 m; un ancho en el techo de las calizas estimado en unos 22 m. Luego la superficie de la sección de sedimentos es del orden de unos 760 m<sup>2</sup>.

Considerando las situaciones hidrológicas extremas, que se habrían presentado en el período 1967-2010, de acuerdo a los niveles estáticos observados en el pozo (mínima profundidad 18,01 m en 09/2007) y máxima profundidad (-22,8 m en 03/1976), se obtienen secciones saturadas media, máxima y mínima de 110 m<sup>2</sup>, 168 m<sup>2</sup> y 51 m<sup>2</sup> respectivamente.

Luego mediante la expresión de Darcy, se calcula que los derrames subálveos a través de la quebrada, tendrían magnitudes media, máxima y mínima anuales del orden de 0,48 Hm<sup>3</sup>/año, 0,74 Hm<sup>3</sup>/año y 0,22 Hm<sup>3</sup>/año respectivamente. Los valores precedentes son sólo orientativos, ya que los cálculos se han realizado sobre la base de hipótesis que obligadamente debieron asumirse por la reducida información hidrogeológica existente.

### **Conclusiones: Propuesta de obras**

Por sus características hidrogeológicas, la cuenca del río de la Flecha posee recursos

hídricos superficiales y subterráneos permanentes, técnica y económicamente aprovechables. Además, es un área que aporta periódicas crecidas de considerables magnitudes, las que provocan serios perjuicios a las zonas que se extienden aguas abajo de la quebrada al oriente del cordón serrano homónimo, llegando las mismas hasta afectar sectores cultivados y densamente urbanizados.

Sobre la base de los estudios realizados e información obtenida, se considera oportuno y conveniente proponer distintos tipos de obras, para lo cual se ha tenido en cuenta las características y la permanencia o eventualidad de los derrames hídricos y, además, que las obras deben ser diseñadas y luego construidas según criterios técnicos y realidad económica, por lo que el proyectista debe realizar su labor de forma que se contemplen racionalmente ambas pautas. De las obras en cuestión, sólo se efectúa una breve descripción esquemática.

### **Explotación del agua subterránea**

Por sus condiciones hidrogeológicas, es factible la explotación del acuífero de Pampa de Bachongo, las aguas de éste son químicamente aptas para el riego de diferentes tipos de cultivos y otros usos. Además la zona posee características climáticas y ecológicas semejantes a la Pampa del Acequión, que se extiende al Sur de la cuenca del río de La flecha, en esta última se han radicado en los últimos diez años importantes emprendimientos agrícolas, principalmente de viñedos y nogales.

Como la Pampa de Bachongo es propiedad de privados, el gobierno provincial sólo puede promover la radicación en la misma de emprendimientos agropecuarios.

### **Aprovechamiento de los derrames superficiales permanentes**

El único cauce de la cuenca que posee caudales permanentes de magnitudes económicamente aprovechables es el río de las Barrancas, el colector principal (río de la Flecha) sólo aporta crecientes eventuales consecuencia de episodios lluvia-escorrentía. Debido a ello, los derrames superficiales de base deben ser captados antes de la confluencia de los ríos de las Barrancas y Bachongo. Para la captación de los derrames estacionarios, cuya magnitud media anual se calcula en unos 2 Hm<sup>3</sup>/año, se propone un sencillo azud de derivación con toma parrilla, esquemáticamente compuesto de: a) muro de hormigón armado transversal al cauce, con vertedero en su coronamiento, de forma de generar un salto; b) parrilla o reja ubicada en el sector medio del coronamiento del

muro; c) canaleta de evacuación de caudales con pendiente de fondo hacia una de las márgenes; d) desripador-desarenador con compuerta para la limpieza del mismo y canal de restitución al cauce de las aguas de los lavados; e) cámara de carga provista de compuerta de guardia, en la cual tendrá origen el acueducto; f) conducción enterrada con origen en la obra de cabecera y final en la zona a servir, provisto de cámaras de inspección y limpieza, apto para conducir hasta unos 200 litros/seg.

### **Obra de aprovechamiento de los derrames subálveos**

Por la Quebrada de la Flecha circulan derrames permanentes a través del subálveo, conformado por terrenos cuaternarios no consolidados, suprayacentes a las rocas calizas, en principio consideradas base hidrogeológica; en resumen existe un escurrimiento subálveo cuya magnitud media anual se ha calculado en unos 0,84 Hm<sup>3</sup>/año.

Este derrame subterráneo podría ser captado mediante una galería o captación subálvea a emplazar en plena quebrada, esquemáticamente integrada por: un muro de hormigón ciclópeo fundado en el techo de las rocas calizas, de al menos unos cinco metros de altura, con eje principal transversal al cauce; un filtro ranura continua de 16 pulgadas de diámetro e importante abertura (a definir mediante ensayos granulométricos) con eje paralelo al del muro; una cámara de carga e inspección en la salida de los filtros y origen del acueducto; una conducción apta para conducir un caudal de unos 100 litros/seg. Esta obra es extremadamente poco factible de construir, debido a que las profundidades de excavación tanto en el sitio de emplazamiento de la captación (de hasta unos 25 m) y en gran parte del acueducto, demandaría complejas técnicas constructivas y consecuentemente un costo elevadísimo; en síntesis es una obra de muy difícil justificación técnica y económica, teniendo en cuenta el pequeño derrame medio anual posible de aprovechar (unos 0,48 Hm<sup>3</sup>/año).

Como los derrames subálveos que escurren por la quebrada proceden principalmente de los caudales permanentes del río de las Barrancas, debe elegirse entre esta obra (captación subálvea) o la antes descrita (azud de derivación de derrames superficiales de base). A criterio de los autores y en comparación a la construcción de una captación subálvea en la quebrada, resulta más económica y menos problemática técnicamente la construcción de

un azud de derivación de los caudales permanentes del río de las Barrancas.

### **Dique de retención de crecidas**

Las avenidas ocasionadas por los eventos lluvia-escorrentía se caracterizan por poseer elevados caudales máximos y reducidos tiempos base de los hidrogramas, resultando súbitas y torrenciales, con importantes caudales sólidos en suspensión y por arrastre de fondo. Debido a estas particularidades hidrológicas se desprecia totalmente la posibilidad de aprovechar los derrames de las avenidas.

Las presas de retención de crecidas tienen por objeto detener los caudales de las avenidas, almacenarlos transitoriamente y luego erogarlos de forma que los caudales que circulan hacia aguas abajo, sean inferiores a los caudales máximos que admite el cauce sin que se afecte a las márgenes. La mayor o menor eficiencia de estos diques, depende de las magnitudes de las crecidas, de la capacidad de almacenamiento del embalse y de la importancia y cantidad de tributarios que aportan al emisario principal entre el dique y el área defendida. Los mismos son obras estáticas que protegen lo existente pero que no producen directos beneficios económicos y, además, son de funcionamiento breve o efímero: Por todo ello son de difícil justificación económica; siendo importante que la presa sea de reducido volumen y el área del vaso de gran amplitud y bajo valor monetario.

En este tipo de obras, desde el punto de vista técnico-económico prevalecen diversas condiciones: a) proximidad a la zona a salvaguardar para obtener una protección efectiva; b) que la capacidad del embalse sea tal que reduzca el caudal máximo de ingreso en por lo menos un tercio de su valor; c) necesidad de efectuar estudios geotécnicos similares a los que se ejecutan para el proyecto de presa de embalse; d) el sitio de emplazamiento, en lo posible, debe ser una garganta estrecha, constituida en su fondo y laderas por rocas de buenas características geotécnicas, que defina hacia aguas arriba un embalse de gran volumen para una reducida altura del dique.

Los efectos hidráulicos que los diques de retención producen en los cauces se sintetizan en: retardar las ondas de crecida, aumentar la capacidad reguladora y disminuir los caudales máximos hacia aguas abajo de los mismos.

De acuerdo a la clase de los dispositivos a través de los cuales se liberan los caudales del reservorio o embalse transitorio, se distinguen dos tipos de diques de retención: los embalses con orificio de salida regulado y los embalses de salida libre. Este último tipo es el que se

recomienda para el caso del río de la Flecha, ello sobre la base que la principal ventaja de este tipo de obras es que operan sin ninguna intervención humana, lo cual las hace muy apropiadas para su operación en zonas montañosas de difícil acceso, o bien en aquellos sitios donde por razones económicas no se desee establecer guardia permanente.

Uno de los inconvenientes de toda presa, es que en su embalse se depositan los materiales sólidos transportados por las avenidas, debido a la súbita reducción de las velocidades con que se trasladan las crecidas. Como se anticipara, una de las características más relevantes de las crecientes del río de la Flecha, son los elevados gastos sólidos acarreados en suspensión y por arrastre de fondo. En los embalses de reducidas y medianas dimensiones, los materiales pétreos suelen sedimentar en cercanías de las presas, por lo que frecuentemente se introducen y depositan en los orificios de salida. Siendo ésta en algunos casos la causa de la destrucción de los diques, con efectos catastróficos hacia aguas abajo.

### **Bibliografía**

- Centro Regional Andino, 1997 y 2008 - "Tormenta de Proyecto en Base a Mediciones en el Pedemonte del Gran Mendoza", Curvas IDF para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, Instituto Nacional del Agua.
- Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS), 2013. Información hidrológica, meteorológica e hidrogeológica de archivos.
- Centro Regional de Aguas Subterráneas, 1975 "Investigación del agua subterránea área Pedernal – Bachongo – Acequión, Dpto. Sarmiento, San Juan. CRAS P-075 y P-188.
- Departamento de Hidráulica de la Provincia de San Juan, 2007 y 2012. Información pluviométrica obtenida de archivos.
- Rühle, Federico, 1966 - "Determinación del Derrame Máximo Superficial de las Cuencas Imbríferas", Dirección Nacional de Vialidad, Publicado en el N° 987 de la revista "La Ingeniería", Centro Argentino de Ingenieros.
- Salvioli, Gerardo, Mérida Silvia y Salvioli, Dante, 2013 - "Hidrología de la cuenca del río de la Flecha. Propuesta de obras de aprovechamiento de los caudales superficiales y subálveos y obras de defensa contra crecidas". Cátedra "Estudios Hidrológicos", Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan.