

EL MANEJO INDÍGENA DEL AGUA EN SAN JUAN (ARGENTINA): DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CANALES DE ZONDA

INDIGENOUS MANAGEMENT OF WATER IN SAN JUAN
PROVINCE (ARGENTINA): DESIGN AND OPERATION OF ZONDA
CHANNELS SYSTEM

OSCAR DAMIANI¹ Y ALEJANDRO GARCÍA²

¹ INA-CRAS / FCEFYN- UNSJ

² CONICET (FCEFYN-UNSJ) – UNCuyo

titodamiani1200@yahoo.com.ar - alegarcia@unsj.edu.ar

RESUMEN

Algunos siglos antes de la conquista española existían varios sistemas de riego de gran extensión y complejidad en el territorio sanjuanino. Uno de ellos se ubicaba en el Valle de Zonda. Su estudio muestra la existencia de un canal principal de aproximadamente 10 km de extensión y de una extensa red de riego que habría permitido el cultivo de gran parte de la sección occidental del valle. En el presente artículo se describen los resultados del relevamiento del sistema y se analizan aspectos vinculados con sus características constructivas, caudal y funcionamiento.

SUMMARY

Some centuries before the Spanish conquest there were several large, complex irrigation systems in San Juan. One of them was located in the Valle de Zonda. Its study shows the existence of a main channel approximately 10 km long and an extensive irrigation network that would have allowed the cultivation of much of the western section of the valley. In this article we describe the results of the survey of the system, and present information related to its flow, operation, and constructive characteristics.

Palabras clave: Riego prehispanico, Arqueología, Zonda, San Juan

Key words: Prehispanic irrigation, Archaeology, Zonda, San Juan

INTRODUCCIÓN

La historia del manejo del agua en la región andina tiene raíces muy profundas y muestra una diversidad de alternativas vinculadas con el riego y el consumo humano directo (Farrington, 1980; Netherly, 1984; Moore, 1988; Kolata, 1991; Erickson, 1992; Billman, 2002; Quesada, 2006). Las primeras estructuras para el aprovisionamiento regulado del agua en la provincia de San Juan datarían de más de 2.000 años (Gambier, 1977, 1988; García, 2010). A través del tiempo el conocimiento y las obras indígenas vinculadas con el aprovechamiento del agua se hicieron más complejos, hasta los momentos previos a la conquista española cuando se observa la construcción de extensos sistemas de canalización y riego que podían extenderse a más de 20 km (Damiani, 2002).

En San Juan existen numerosos restos de estos sistemas de riego, como los de ambas márgenes del Río Blanco (Damiani, 2002), los de los valles de Calingasta y Zonda (Gambier *et al.*, 1986, 1992) y los de la localidad de Tocota. No obstante, hasta el momento sólo los del Río Blanco han sido estudiados. A fin de contribuir con el desarrollo de información sobre el manejo prehispánico del agua se

presenta aquí una aproximación al sistema de canales del Valle de Zonda, dirigida a mostrar su diseño general y características constructivas y a establecer los principios de su funcionamiento.

MATERIAL Y MÉTODO

ÁREA DE ESTUDIO

El área se localiza en el Valle de Zonda, entre los 31° 30' 58" - 31° 34' 43" S y 68° 45' 12" - 68° 47' 03" O. Las estructuras indígenas analizadas se extienden a lo largo de la ladera oriental de la Sierra Alta de Zonda o Sierras Azules, que forman parte del sistema precordillerano. El sustrato geológico y los aspectos geomorfológicos tuvieron una profunda incidencia en el diseño de las estructuras de riego, ya que en parte condicionaron el tipo específico de obra (sobre todo en relación al Canal Matriz), lo que contribuyó a acrecentar la complejidad del sistema. El canal principal en su sector septentrional, en la ladera del Cerro Blanco, corre sobre rocas andesíticas subvolcánicas; en otros sectores lo hace sobre sedimentitas devónicas y sobre abanicos y conos aluviales del sector oriental de las sierras. Los canales menores (de orden secundario o terciario) se despliegan a través de depósitos cuaternarios.

TOMA DE DATOS

Para reconstruir el diseño general del sistema se realizó el relevamiento a campo del sector septentrional de las Sierras Azules. Los segmentos de canales identificados fueron registrados, fotografiados, mapeados y geo-posicionados mediante GPS. Además se tomaron todas las medidas necesarias para la determinación de caudales. Con el objeto de obtener mayores precisiones se realizó una segunda recorrida en la que las evidencias del sistema y otros restos asociados fueron marcados directamente sobre imágenes de alta resolución obtenidas de Google Earth. Toda la información fue volcada a la base de imágenes del citado programa.

Para el cálculo de los volúmenes de agua transportados por el Canal Matriz se utilizó la fórmula de Chézy-Manning (Trueba Coronel, 1974). Para ello se midieron directamente sobre las evidencias arqueológicas el ancho de la base del canal, pendiente del lecho, inclinación de los taludes internos, inclinación de los taludes externos y longitudes de éstos; la altura teórica que alcanzaba el agua se estimó en base a las dimensiones anteriores. Estos datos permiten a su vez conocer la velocidad teórica del fluido, que se multiplica

por el coeficiente de Manning en un área dada para determinar el caudal teórico transportado (Damiani, 2002).

La determinación de la pendiente de la base del canal resultó compleja por estar afectada por derrumbes, dislocaciones locales o aluvionamiento. Para conocer las pendientes reales del lecho del canal y realizar el correspondiente ajuste de los cálculos posteriormente se ejecutaron trabajos de limpieza y cortes transversales a la sección para observar las estructuras sedimentarias que se forman a regímenes específicos a una velocidad dada (Damiani, 2002).

RESULTADOS

Las evidencias arqueológicas vinculadas con el sistema de riego en estudio son diversas. Se ha identificado un conjunto de componentes del sistema: un Canal Matriz, una serie de regueras o acequias de riego, y obras destinadas a la captación y manejo ordenado del agua (tomos, aquietadores, desarenadores, posibles depósitos, etc.). Asociados espacialmente se hallaron en numerosos sectores artefactos líticos, cerámicos y en menor medida óseos. Asimismo, se localizaron dos áreas con sendos conjuntos de representaciones rupestres (García, 2010; García & López, 2010).

EL CANAL MATRIZ

El Canal Matriz constituye la estructura mejor conservada del sistema. En un principio se extendía desde el Río San Juan hasta unos relictos sedimentarios cuaternarios localizados al sur del cementerio de Zonda, en la actualidad no quedan restos del tramo inicial debido a la erosión de la llanura de inundación del río y a la actividad antrópica en la margen derecha. Parte del Canal Matriz puede observarse en las inmediaciones del Cerro Blanco. A partir de allí se han registrado numerosos tramos que recorren la ladera oriental de las Sierras Azules a lo largo de aproximadamente 8,5 km en línea recta; sin embargo, debido a la necesidad de seguir la topografía del terreno, la longitud real del Canal debió estar cercana a los 10 km, ya que el mismo presenta un diseño sinuoso para optimizar el funcionamiento y evitar o disminuir los eventos erosivos.

La cota de origen, tomada en el río, es de 840 m y la cota final de 800 m, con una pendiente general del 0,6%. Los valores de las cotas son relativos (registrados con GPS) pero indican la tendencia general del terreno. Estos valores indican que el diseño del canal matriz y el manejo del agua de-

bían ser cuidadosos por tratarse de canales erosionables (Céspedes, 1941).

El comienzo del Canal Matriz coincide con el del sistema, en una toma que captaba las aguas del río San Juan en algún punto ubicado dentro o en las adyacencias del actual área de acampe del Cerro Blanco (Figura 1).

El desnivel entre el origen y la terminación indica un movimiento del agua en toda su extensión del tipo crítico a sub-crítico, a velocidades que no ponían en peligro la estabilidad de la obra. Sin embargo, en algunos sectores el agua debía circular a régimen súper-crítico, a fin de superar dificultades relacionadas con la topografía y la composición granulométrica del terreno (Damiani, 2002). Una forma eficaz para manejar las velocidades de flujo era el cambio de forma del conducto, que se manifiesta en las diferentes secciones transversales del Canal Matriz. Estos cambios ocurrían en ciertos sitios que se denominan puntos críticos de obra (áreas de pendientes transversales muy variables, cambios litológicos del terreno, etc.), en donde el fluido debía llegar con una velocidad y altura acotada para no producir situaciones que comprometieran la estabilidad del sistema (desbordes).

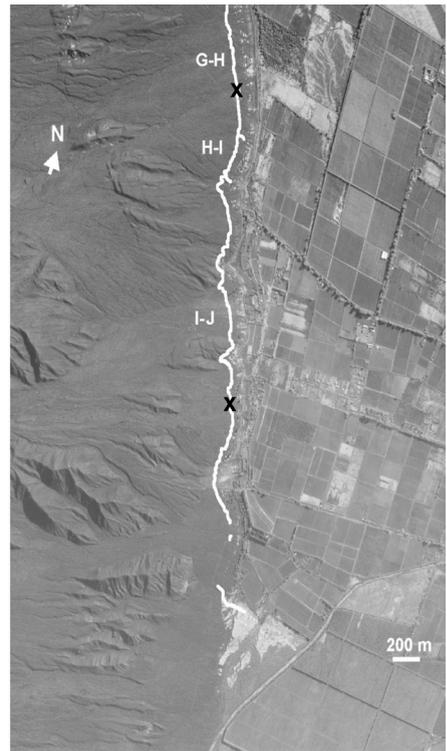
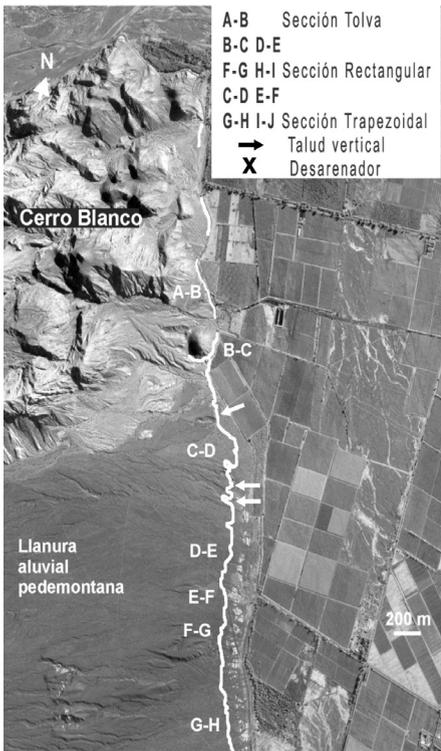


Figura 1. Diseño general del Canal Matriz.
 Figure 1. General design of the Matrix Channel

Además de tener en cuenta su geometría (forma de la sección transversal), los canales de distinto orden que componen este sistema de riego se clasifican según estén excavados directamente sobre el terreno natural o ubicados sobre un terraplén construido especialmente. Los terraplenes son estructuras artificiales ejecutadas generalmente con arenas, limos y arcillas compactadas. Su función es múltiple, ya que permiten la ejecución de canales en zona de

topografía quebrada, logran mantener una cota uniforme para poder variar la pendiente del lecho del canal según las necesidades y las tierras seleccionadas para cultivo y corrigen la pendiente transversal de los terrenos.

El canal corre por la vertiente oriental del cordón montañoso, por lo que en general la margen derecha del canal está constituida por el terreno natural con ciertos retoques realizados para mejorar su funcionamiento; por su parte,

la margen izquierda es la que presenta la mayor dificultad en cuanto a construcción, ya que las pendientes de los taludes varían de 27 a 32 grados, en tanto la pendiente del canal en general no supera el 1%.

A fin de sistematizar y simplificar su descripción, el Canal Matriz fue segmentado en base a los cambios de secciones transversales que presenta. Estos cambios están dados directamente por el tipo de terreno que interesa o por la característica de éste (Figura 1). Como resultado, se observan tres tipos de secciones: en tolva, rectangular y trapezoidal.

TRAMO DE SECCIÓN EN TOLVA

El primer tramo del Canal Matriz, en el sector proximal del sistema, ha sido denominado A-B, y presenta una serie de puntos discontinuos en sección tolva o parabólica tendida (Figura 2). La extensión desde el sitio donde pudo haber estado la toma de agua del río hasta el cambio de sección siguiente es de aproximadamente 2.230 m en línea recta.

El tipo de sección en tolva era mayormente utilizado por los indígenas en terrenos compuestos principalmente por limos, arenas y arcillas, que a veces estaban asociados a roca consolidada, por lo cual se construían sobre talud artificial o se los excavaba direc-



Figura 2. Tramo con sección en tolva
Figure 2. Section with hopper-shaped profile

tamente sobre el terreno. Por lo general, para el Valle de Iglesia estos canales estaban impermeabilizados artificialmente, técnica que aún no se ha podido identificar en la zona de Zonda.

TRAMOS DE SECCIÓN RECTANGULAR

Los segmentos B-C, D-E, F-G y H-I, con longitudes respectivas de 330 m, 240 m, 49 m y 84 m, corresponden a los tramos con sección transversal rectangular (Figura 3). Esta sección en particular era utilizada para solucionar problemas de infiltración en terrenos permeables de arenas y gravas gruesas, aplicando el denominado “método de embolada”. Este método permite hacer pasar en un área definida el mayor volumen a la menor altura de pelo de agua; dado que en este caso la infiltración mayor se produce en la base del canal y no en sus laterales, este tipo de sección representa el paso



Figura 3. Canal de sección rectangular atarquinado (en este caso, de construcción mixta)

Figure 3. Rectangle-shaped section channel, filled with sediments (in this case, mixed construction)

de grandes caudales (calculado en $1 \text{ m}^3/\text{s}$) en el menor tiempo posible. En este tipo de funcionamiento no interesa tanto la rugosidad de las paredes (coeficiente de Chézy-Manning) ya que se trabaja con pendientes superiores a la general del canal. Para nuestro caso el coeficiente es de 0,70 y las pendientes son superiores a los 4 grados, con f mayor a 1, es decir al régimen supercrítico.

TRAMOS DE SECCIÓN TRAPEZOIDAL

La sección trapezoidal es la más extensa de todo el Canal Matriz, y corresponde a los segmentos C-D, E-F, G-H e I-J, que presentan extensiones de 1170 m, 421 m, 1110 m, 2950 m respectivamente. Esta sección está construida en terraplenes artificiales, en dos modalidades: en uno de los casos se trata

de un retoque del terreno natural y en el otro de taludes artificiales horizontales (cuando es construido sobre limos, arenas y arcillas con un ángulo de talud superior a 30 grados) o verticales (cuando dicho talud es elaborado en rocas) (Figuras 4 y 5). La traza de estos canales por lo general acompaña la topografía natural del terreno, por lo que las pendientes del lecho tienden a ser constantes; para el caso investigado se sitúan en el orden de los 3 grados. Esto está indicando que los constructores manejaban el fluido a un régimen crítico, para lo cual intercalaban desarenadores o estanques para almacenar agua a lo largo de los tramos con esta sección.

Las dimensiones del canal permitían el flujo de caudales del orden de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ o levemente mayores. Las dimensiones de este tipo de sección son más o menos



Figura 4: Canal sección trapezoidal atarquinado

Figure 4: Trapezoidal section channel, filled with sediments



Figura 5: Vista general del canal matriz hacia el norte, en las cercanías del cementerio de Zonda

Figure 5: Sight of matrix channel (towards north), near Zonda Cemetery

estándar en toda la traza del canal, con una base mayor de 2,80 m, base menor de 2 m, altura teórica de pelo de agua (h) de 0,80 m y talud interior de 30 grados.

ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS ESPECIALES

Se denomina así a algunas estructuras con funciones específicas construidas en el Canal Matriz. El aquietador, cuenco amortiguador o desarenador, tenía la función de aquietar el agua para permitir la decantación del material en suspensión y, consecuentemente, un mejor funcionamiento y mantenimiento del sistema (Figura 6).

La forma geométrica era variable, entre rectangular y tendencia a la circular con radios mayores a los cuatro metros. En casos especiales, desde estas obras se separaban las regueras de menor jerarquía. Una de estas estructuras se encontraba generalmente en las cercanías de la toma principal. Lamentablemente, las alteraciones naturales y antrópicas ocurridas a lo largo del sector proximal del Canal Matriz destruyeron tanto la toma de agua que debía ubicarse sobre la margen derecha del Río San Juan como cualquier evidencia de la presencia de este tipo de aquietadores. Finalmente, también se ha identificado un tramo de un camino de mantenimiento aledaño a uno de los sectores del Canal Matriz que presenta talud vertical amurado.



Figura 6: Desarenador en la parte media del Canal Matriz

Figure 6: Desanding structure in the middle sector of Matrix Channel

RED DE RIEGO

Con este término se designa al conjunto de canales menores o de tercer orden (Damiani, 2002), cuya función principal es la de abastecer las áreas de cultivos. Por lo general derivan de un canal de segundo orden que a su vez deriva del matriz. En el área de estudio el ancho de los canales se mantiene bastante constante, variando entre 0,6 a 0,3 m, con un pelo de agua máximo de 0,20 m. Son de caudales bajos, entre 3 a 10 l/s o menores y de baja velocidad (Figura 7). Estas regueras se derivan del borde izquierdo del Canal Matriz y presentan baja pendiente de lecho, lo cual permite que el fluido se mueva a moderada velocidad y sin producir erosión en los propios canales o en los terrenos cultivados. Todos estos canales presentan un diseño común de



Figura 7: Reguera de sección tolva elaborada en sedimentos finos

Figure 7: Irrigation ditch with hopper-shaped section, constructed with fine sediments

sección transversal en tolva, cuya forma tiende a la de una parábola o una figura trapezoidal muy poco profunda.

Todas estas regueras están sobre texturas finas (limos arenosos y arcillas), directamente excavadas en el terreno o elaboradas en pedestal con alturas promedio de 15 cm. Tanto la base como los taludes internos evidencian tratamiento de alisado de las paredes lo cual implica que se buscaba un movimiento más o menos homogéneo del fluido. El coeficiente de fricción o de Manning se acotaba en un rango de 0,40 a 0,50 que representa un punto equilibrado y que en función de las pendientes otorgaba un movimiento del fluido entre crítico y subcrítico, lo cual implica que si bien el canal no tenía tendencia a erosionarse podían producirse eventos de atarquinamiento en algunos sectores en que presentaba curvas.

La red de riego está distribuida en forma paralela al Canal Matriz, separada por una distancia que varía entre 10 y 100 m (Figura 8). La diferencia de altitud entre el canal principal y la red es variable dependiendo de la topografía. La máxima diferencia es de 19 m de altura en cercanías del cementerio de Zonda, estando en todo el sistema en un promedio de 9 m.

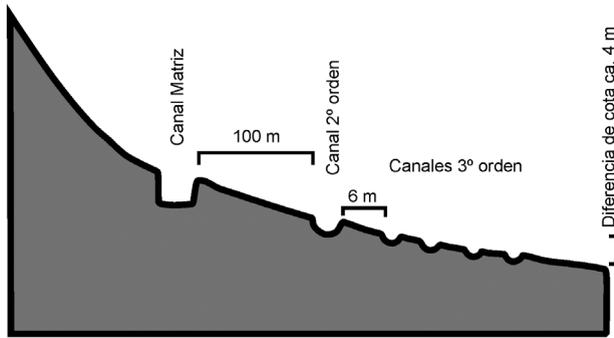


Figura 8: Corte transversal de la distribución del sistema
 Figure 8: Cross-section of the irrigation system

El registro arqueológico de estas hijuelas está aceptablemente conservado y se manifiesta en una serie de canales menores paralelos dispuestos a diferentes altitudes separados entre sí por una distancia horizontal de hasta 6 m. Estas acequias se disponen en grupos de 2 a 4 canales en donde el que se encuentra a mayor cota está en el límite entre los de segundo a tercer orden, con una diferencia de cota entre el superior e inferior no superior a los 4 metros.

La distribución en planta se asimila a la denominada cola de caballo (Damiani, 2002) (Figura 9), diseño observado previamente en los sistemas de riego del valle de Iglesia.

La longitud total relevada de canales de tercer orden es de 22 km, pero se estima que esta red

fue mucho mayor, aunque las evidencias han sido borradas por los cultivos actuales.

La red de riego era alimentada por canales de segundo orden que provenían del Canal Matriz. Lo notable es que estos canales unían

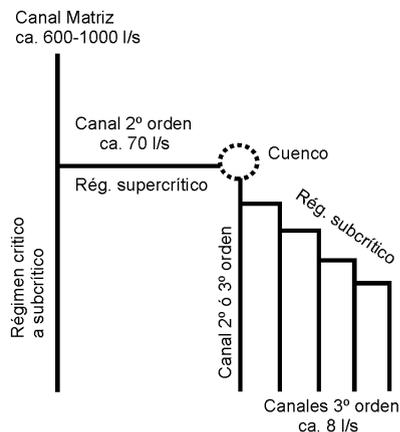


Figura 9: Esquema de la distribución y caudal de los componentes del sistema de canales de Zonda
 Figure 9: Diagram of the distribution and flow of the system components

ambos componentes (Canal Matriz y red de riego) en forma perpendicular, con pendientes comprendidas entre 7 y el 15%, sin corrección de las mismas. Existen dos sectores con registros arqueológicos que muestran esta disposición. Estos canales alimentadores no tenían un tratamiento especial y estaban simplemente excavados en el terreno con sección tendiente a un rectángulo. El terreno por lo general es de gravas medianas con matriz arenosa lo cual implica un coeficiente de fricción elevado (0,7), a lo que deben sumarse las pérdidas por infiltración. En principio parecería un escenario desfavorable que contrasta con la ingeniería del sistema de riego, pero un análisis detallado indica que no era necesaria una inversión de obra más cuidadosa. Los diseñadores utilizaron la menor distancia para unir el canal matriz con la red, empleando la pendiente para trasvasar el agua de un sitio a otro haciendo pasar la mayor cantidad de agua en el menor tiempo posible con una altura mínima (carga hidráulica), minimizando la infiltración. Este manejo del recurso, denominado informalmente “método de la embolada”, ya ha sido descrito para el valle de Iglesia por Damiani (2002).

CAUDALES PROBABLES Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

-y la expresión de la fórmula de Chézy-Manning utilizada en el presente trabajo. Esta fórmula expresa que $Q = 1/n \cdot r^{2/3} \cdot s^{1/2} \cdot A$, donde el primer término es la expresión de la velocidad en función de la pendiente, y muestra el resultado de un caudal instantáneo para el escenario seleccionado; $1/n$ es la relación inversa del coeficiente de rugosidad o de Manning (n), que indica cuán rugosas o lisas son las paredes y lecho del canal y qué dificultad puede producir al movimiento del agua; r es el radio hidráulico de la sección o área considerada y es la relación existente del área de la sección y el perímetro mojado, que a su vez es la suma de los taludes internos del canal (los laterales) más la base del canal. Hay que tener en cuenta en la valoración de este perímetro la altura máxima teórica del pelo de agua para medir la longitud mojada de los laterales. Es por eso que es condición que la zona a medir sea lo más recta posible y lo más regular con respecto a la pendiente.

Para el caso en estudio y en lo concerniente al canal principal o matriz se ejecutaron múltiples

aplicaciones de esta ecuación en los tramos en que el canal arqueológico presentaba las mejores condiciones de conservación. Se seleccionaron además tres geometrías diferentes, en distintos tramos del canal matriz, para verificar la posible existencia de diferencias notables en el caudal más probable que podían transportar. En el mapeo general del sistema la red específica de riego (de tercer orden) presentaba, en base a los testimonios arqueológicos, una marcada regularidad constructiva en toda su extensión.

Como ejemplo de cálculo se presenta lo efectuado en el tramo Q1. El Canal Matriz en este punto presenta una sección casi trape-

zoidal cuyos parámetros físicos son los siguientes: base del canal = 2,20 m, ancho superior del canal 3,20 m, pendiente medida $s = 1,1$; altura (h) del pelo de agua mensurada en función de $s = 0,60$ m; radio hidráulico calculado en 2,469 m en función del área $A = 1,62$ m² (calculada en base a la superficie del trapecio) y coeficiente (n) = 0,7. El caudal teórico sería: $Q = 1/0,70 \cdot (2.469)^{2/3} \cdot (1:1)^{1/2} \cdot 1,62 = 0,71$ m³/s. Cabe acotar que éste es un valor de mínima, promedio de ese tramo y otros adyacentes; además, al calcular el área como un trapecio regular queda sin mensurar un sector comprendido entre el lado teórico del lateral del canal y el real, disminuyendo el

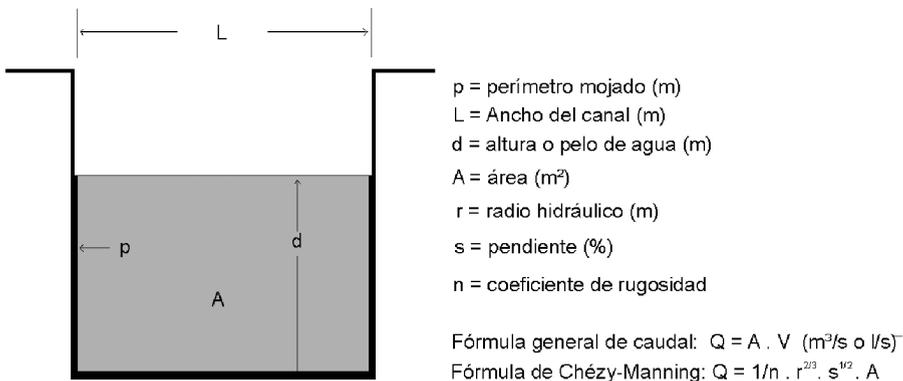


Figura 10: Parámetros hidráulicos a medir para cálculo de caudales y fórmula Chézy-Manning
 Figure 10: Hydraulic parameters measured to calculate flow, and Chézy-Manning formula

valor del área y en consecuencia el del caudal, por lo que éste estaría cerca de los 0,8 m³/s.

De esta misma forma se calcularon los valores de los tramos Q2 y Q3. Q2 tiene un perfil transversal tendiente a un rectángulo, en donde la base del canal es de 1,40 m, (s) 1,3 y (n) 0,60; básicamente es muy similar a la situación de Q1, con un caudal de 0,651 m³/s. Para el caso del Q3, la sección del canal es de tipo tolva con valores muy similares al sitio Q2, y un caudal esperado de 0,572 m³/s.

Tomando en cuenta la red de riego, la forma de distribución de la oferta hídrica del canal matriz y los testimonios arqueológicos de estas regueras menores, se estima que el número de núcleos de riego estaría en el orden de 9. En la Figura 9 se esquematiza el posible modelo de funcionamiento del sistema. En este modelo la dificultad mayor es la de mensurar los caudales que transportaba el canal de segundo orden que conectaba el canal matriz con las regueras. Debido a su forma constructiva este tipo de canal era muy vulnerable a los procesos erosivos y sedimentarios de la zona, además que no tenía un tratamiento cuidadoso y estaba construido en el sentido de la máxima pendiente.

En los escasos relictos registrados no se presentan las condiciones para la obtención de parámetros físicos de su geometría. Por otra parte, si bien se conservan algunas compuertas sobre el Canal Matriz en los puntos donde se originaban los canales de segundo orden, la localización de los mismos en cercanías de perturbaciones hidráulicas y cambios de pendientes, en el orden del metro en el sentido longitudinal, no crea condiciones favorables para realizar mediciones válidas de caudal. Se estima que indica que podían erogar un caudal de agua comprendido entre los 40 y 70 l/s.

Otra forma aproximada de conocer los valores de caudal es por diferencia entre los caudales del Canal Matriz y de los grupos de regueras en cada núcleo (mediante la fórmula de Chézy-Manning); para ello, promediando los caudales de todas las regueras medidas se obtiene un valor medio de 8,9 l/s por reguera, que multiplicado por el promedio de regueras mapeadas por núcleo (4 regueras) da un valor de 35,6 l/s por núcleo. Este valor es cercano al estimado y se considera aceptable, ya que es aproximadamente el 50% del valor máximo propuesto para las compuertas de 70 l/s.

CONCLUSIONES

En términos generales, el sistema hídrico analizado es comparable con los sistemas identificados en el Valle de Iglesia (Damiani, 2002), aunque de menor extensión, y refleja un conocimiento preciso del manejo del agua a nivel regional durante los tiempos prehispánicos tardíos, con un paralelismo extraordinario con los sistemas constructivos actuales.

Del análisis de los caudales medidos en diferentes puntos del sistema (Q1, Q2 y Q3) surge que a pesar de las variaciones de la geometría del canal y de las variaciones mínimas en los valores de (n) y (s), en la práctica los caudales son muy similares. Esto permite concluir que los constructores lo diseñaron para que mantuviera siempre un caudal constante, mediante el desarrollo de un canal de caudal único. Para la elaboración de este tipo de sistema se requiere una fuente de agua que supere las necesidades de riego y con oferta permanente para alimentar el sistema. Sin embargo, la disponibilidad de agua constante no implica necesariamente la construcción de un canal de caudal único, como se observó en el Valle de Iglesia, donde el sistema se manejaba con un caudal variable que comenza-

ba con 1 a 2,5 m³/s y terminaba con 0,05 m³/s (Damiani, 2002). En el caso de Zonda, la homogeneidad de la red de riego hace presumir que el Canal Matriz abastecía satisfactoriamente el sistema e incluso sobraba agua utilizable, la cual probablemente era vertida a un curso natural que atravesaba el valle de sur a norte.

En cuanto a la extensión del sistema, obtenido el gasto de un núcleo de riego y dado el valor posible de 9 núcleos de riego, el caudal en conjunto sería de 0,320 m³/s, valor ubicado por debajo del caudal mínimo del Canal Matriz (Q3), lo que indicaría que la red de riego en los tiempos prehispánicos era más extensa que la que se conserva en la actualidad, y probablemente ocupaba espacios actualmente modificados por el uso agrícola moderno.

En relación a la tecnología utilizada para la construcción del Canal Matriz (similar a la de los sistemas del Valle de Iglesia), cabe señalar la gran perdurabilidad del mismo, directamente vinculada con las técnicas constructivas empleadas, con su localización y diseño. Los sectores en los que no quedan vestigios del mismo coinciden en gran medida con la presencia de potentes conos aluviales, donde resulta casi

imposible la preservación de estas estructuras sin un constante mantenimiento. Es necesario recordar que nuestras observaciones se realizaron sobre el escenario actual, esto es, sobre las evidencias de superficie correspondientes a los últimos momentos de funcionamiento del sistema, lo que implica la posibilidad de detectar evidencias de usos previos de los mismos tramos, posibles modificaciones a los mismos y hasta restos de sistemas anteriores o simultáneos de menor visibilidad arqueológica.

Finalmente, es importante destacar que la gran extensión y complejidad del sistema implica la existencia de un diseño global previo, la participación de especialistas en su concepción y en el control de su ejecución y la presencia de necesidades u objetivos acordes a la magnitud de la obra, aspectos que serán evaluados próximamente a partir de los resultados de futuras excavaciones en sitios del área.

AGRADECIMIENTOS

A Silvia Manzini de Adárvez (Museo Enzo Valentín Manzini, Zonda), Ana Eguaburo, Anabel Rodríguez, Nadia Rodríguez, Pablo Maza, Diego Heredia, Rubén Giaconi y Carlota López por la

colaboración en la logística y desarrollo de los trabajos de campo.

Los trabajos arqueológicos en el Valle de Zonda han sido financiados por CONICET (PIP 2008 N° 1870), CICIPCA-UNSJ y SECTYP-UNCuyo.

BIBLIOGRAFÍA

- BILLMAN, B., 2002. Irrigation and the Origins of the Southern Moche State on the North Coast of Peru. *Latin American Antiquity* 13 (4): 371-400.
- CÉSPEDES, G., 1941. *Manual de Hidráulica*. Palumbo. Buenos Aires.
- DAMIANI, O., 2002. Sistemas de riego prehispánico en el Valle de Iglesia, San Juan, Argentina. *Multequina* 11: 1-38.
- ERICKSON, C., 1992. Prehistoric Landscape Management in the Andean Highlands: Raised Field Agriculture and its Environmental Impact. *Population and Environment. A journal of interdisciplinary studies* 13 (4): 285-300.
- FARRINGTON, I., 1980. The Archaeology of Irrigation Canals, with Special Reference to Peru. *World Archaeology* 11(3): 287-305.
- GAMBIER, M., 1977. *La Cultura de Ansilta*. San Juan, IIAM, Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes, UNSJ. San Juan.
- GAMBIER, M., 1988. *La Fase Cultural Punta del Barro*. San Juan, IIAM, Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes, UNSJ. San Juan.
- GARCÍA, A., 2010. *Arqueología Prehistórica de San Juan. La conquista indígena de los dominios del cóndor y el guanaco*. EFU. San Juan.

- GARCÍA, A. & C. LÓPEZ, 2010. *Las manifestaciones de arte rupestre del Cerro Blanco*. Manuscrito.
- GARCÍA, A., C. LÓPEZ, O. DAMIANI, A. EGUABURO, N. RODRIGUEZ, N. FERNÁNDEZ, P. MAZA & A. RODRIGUEZ, 2008. *Relevamiento arqueológico en el Valle de Zonda*. Trabajo presentado a las IV Jornadas de Investigación y Creación de la Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes (UNSJ). San Juan.
- KOLATA, A., 1991. The Technology and Organization of Agricultural Production in the Tiwanaku State. *Latin American Antiquity* 2(2): 99-125.
- MOORE, J., 1988. Prehistoric Raised Field Agriculture in the Casma Valley, Peru. *Journal of Field Archaeology* 15 (3): 265-276.
- NETHERLY, P., 1984. The management of late andean irrigation systems on the north coast of Peru. *American Antiquity* 29 (2): 227-254.
- QUESADA, M., 2006. El diseño de las redes de riego y las escalas sociales de la producción agrícola en el 1^{er} milenio DC (Tebenquiche Chico, Puna de Atacama). *Estudios Atacameños* 31: 31-46.
- TRUEBA CORONEL, S., 1974. *Hidráulica*. Editorial Continental. México.

Recibido: 6/2011
 Aceptado: 9/2011