



SISTEMAS DE RIEGO PREHISPÁNICO EN EL VALLE DE IGLESIA, SAN JUAN, ARGENTINA

PREHISPANIC IRRIGATION SYSTEMS IN THE IGLESIA VALLEY, SAN JUAN, ARGENTINA

OSCAR A. DAMIANI

Cátedra Manejo de suelos y Recursos Hídricos U.N.S.J., F.C.E.F.y N.
Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Agua Subterránea
damiani@infovia.com.ar

RESUMEN

En el valle de Iglesia, ubicado al noroeste de la provincia de San Juan, Argentina, se identificaron dos sistemas de riego que se atribuyen a grupos de la denominada cultura Angualasto (1200-1490 dC.). Estos sistemas están asociados al río Blanco, de régimen permanente, que ocupa el sector noreste del citado valle. Al sistema de la margen izquierda se lo denomina Buena Esperanza-La Otra Banda, y al de la derecha Angualasto. Presentan la estructura básica de los canales de riego modernos, y en ellos se identifican canales matrices y regueras. Están excavados en terreno natural o construidos en terraplenes artificiales. Por lo general son canales impermeabilizados con arcilla, que en algunos casos están cocidas. Ambos sistemas tienen longitud apreciable, considerando solamente los canales matrices superan los 50 km y regaban en conjunto una superficie superior a las 3.200 hectáreas en el bajo valle del río Blanco. En la

actualidad los pobladores prácticamente no utilizan para riego el río Blanco, sino que se abastecen de manantiales y arroyos de la cordillera.

Palabras clave: Riego, prehispánico, cultura Angualasto

SUMMARY

In the Iglesia valley, northwest of San Juan, Argentina, two irrigation systems belonging to the Angualasto culture (1200-1490 AC) are identified. These systems are associated with the Blanco river and occupy the northeastern part of the valley. The system located on the left border is called Buena Esperanza-La Otra Banda, and the one on the right border is known as Angualasto. The two systems show the basic structure of modern irrigation channels, and both matrix channels and small channels for water distribution are identified. They are dug down

into the natural terrain or built on artificial embankments. In general they are impermeabilized with clay, which on occasion is baked. Both systems cover an extensive area, only the matrix channels are more than 50 km long, and irrigate a surface higher than 32,000 ha in the valley of the Blanco river. Currently, the modern inhabitants practically do not use the water of the Blanco river for irrigation, they only use the water from other Andean natural water courses.

Keywords: *Irrigation, prehispanic, Angualasto culture.*

INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas el cultivo intensivo solamente es posible en condiciones de riego artificial, donde es necesario ejecutar el transporte del agua. En el caso del valle de Iglesia se estudia la existencia de canales de riego para conducir el agua para realizar cultivos.

Un análisis exhaustivo de una red o sistema de riego en donde se ponga énfasis en la existencia de técnicas constructivas específicas, forma o geometría de canales, dimensiones, modelo de funcionamiento, etc. será de ayuda a los arqueólogos quienes con sus propias investigaciones sobre elementos culturales, patrones de asentamientos, análisis ecológicos etc. podrán especificar aspectos vinculados al modo de vida, el nivel de organización socio-político y económico de las antiguas culturas que habitaron la región andina y áreas aledañas.

El objetivo de este trabajo es dar a

conocer los resultados iniciales de la investigación referida a una forma de manejo del recurso hídrico y del suelo realizada por grupos indígenas prehispánicos que habitaron el norte del territorio de la provincia de San Juan.

La investigación se enfoca sobre los testimonios arqueológicos referidos a obras hidráulicas existentes en el área del Valle de Iglesia. Inicialmente este trabajo se insertó en el proyecto integral «Investigaciones Arqueológicas en los valles del los ríos San Juan, Jáchal y Bermejo» dirigido por el Prof. Mariano Gambier. También se contó con el apoyo del ex Centro Regional Agua Subterránea (CRAS) actual Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Agua Subterránea (INA-CRAS). Luego se integró con los trabajos de la cátedra de Manejos de Suelos y Recursos hídricos de la Licenciatura en Biología (Fac. Cs. Ex. F. y Nat., Univ. Nac. San Juan). En las diferentes etapas de ejecución de esta investigación, se identificaron “obras civiles” (canales de riego) de indudable factura indígena.

En este trabajo se analizan los conductos de riego prehispánicos que se desarrollaron en el bajo valle del río Blanco-Jáchal, desde la perspectiva teórica del Actualismo. Se investiga su localización, distribución, ocupación espacial, uso de la tierra, sistemas constructivos y operatividad hidráulica y se intenta determinar, de forma aproximada, su localización temporal.

Antecedentes

El tema de la ingeniería hidráulica indígena no cuenta en la actualidad con abundantes estudios sistemáticos, a pesar de la

existencia de excelentes trabajos sobre la construcción de obras hidráulicas como el de Ortloff (1981), lo cual plantea el desafío de desarrollar una investigación basada en testimonios arqueológicos de las antiguas culturas desaparecidas.

En nuestro país son escasos los antecedentes existentes en el tema de riego prehispánico en lo referido a la ingeniería hidráulica indígena del dominio andino, a pesar de que existen elementos arqueológicos notables que permiten suponer la existencia de tecnologías con cierto grado de sofisticación y estrategia en las actividades de riego y ocupación de los terrenos para cultivo y asentamiento de pobladores.

Desde el punto de vista arqueológico uno de los primeros antecedentes regionales procede de Debenedetti (1917), que para el área del valle del río de los Patos (Dptos. de Barreal y Calingasta) menciona la existencia de un canal indígena en el sector «Alto de Román» (nueve kilómetros al norte de Barreal) en la margen derecha del río. Para la zona de Barrealito, región regada por el arroyo Calingasta (afluente por margen izquierda del río de los Patos), este autor menciona sistemas de canales y/o acequias de factura indígena. Igualmente, en el extremo sur oriental del valle de Iglesia, desde la localidad de Tocota hasta Bella Vista, el mismo autor informa brevemente la existencia de canales en ambas márgenes del A° Tocota. En el mismo valle, en el sitio de «Los Pozos» asociado a manifestaciones de agua subterránea (manantiales) y a la superficial del arroyo Chita, cita la existencia de campos cultivados abastecidos por riego artificial, aunque no los visualizó.

Para la zona del río Blanco Debenedetti (1917) explicita: «*Sobre el camino carretero que arranca de Rodeo y va en dirección al norte, hacia las minas de Malimán y del Salado, se ven claramente a media falda y costeano los cerros pedregosos, las huellas de un gran canal indígena abandonado. Teniendo presente su extensión, de varios kilómetros, su anchura inusitada y el enorme trabajo que costó su apertura, creemos que fue utilizado para regar una gran superficie de las tierras que ocupan la banda derecha del río Jáchal*». A su vez, en la descripción del sitio ocupado por la aldea Angualasto, dice: «*El área ocupada por las ruinas es de una aridez abrumadora. Raquíuticos arbustos dispersamente y en exiguos han crecido en la comarca. Algunos troncos de algarrobos rarísimos, por cierto, cortados intencionalmente indican que en alguna época se levantaron allí árboles relativamente grandes sin llegar a constituir verdadero y poblado monte. Teniendo en cuenta las condiciones del suelo, la distribución de las viviendas y otras circunstancias locales creemos que en esta zona nunca hubo campos destinados exclusivamente a los cultivos: seguramente estuvieron en la banda opuesta del río y en la parte del valle que se extiende hacia el sur donde la firmeza del suelo y la facilidad de regar y aprovechar de modo mejor el caudal de aguas permitió a los indios de la comarca dedicarse con mayor seguridad al cuidado y desarrollo de sus sementeras*»

Otro antecedente más moderno corresponde a Gambier (1988), quien expresa «...se evidencia a simple vista por la presencia de los restos de un largo canal arqueológico que se inicia en la localidad de Malimán. Este canal es de origen

prehispánico, no lejano a los tiempos de la conquista española. En puntos más altos se conservan los restos de canales menores de distinto origen y las ruinas de campos de cultivo de épocas más antiguas...”.

El análisis de estos antecedentes facilitó la localización en el campo de algunos de estos canales, enmarcar estas obras de ingeniería en el contexto temporal de estas antiguas culturas, y conocer que el riego prehispanico estaba extendido en diferentes niveles de complejidad, tanto en el sentido espacial como temporal, en prácticamente toda la provincia.

MATERIAL Y MÉTODO

El área de estudio

El valle de Iglesia se localiza en el sector noroeste de la provincia de San Juan, a 180 km de la ciudad capital. Cuenta con localidades pobladas como las de Rodeo, Iglesia, Angualasto y Las Flores, en donde la actividad económica principal es la agrícola (Fig. 1).



Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio
Figure 1. Relative location of the study area

El clima seco y riguroso de este valle dificulta obtener cosechas previsible. Es árido-desértico, con grandes amplitudes térmicas diarias y anuales, elevada heliofanía, importante transparencia atmosférica y escasa humedad. Régimen pluviométrico netamente continental, con lluvias exclusivamente estivales en el sector del valle Rodeo-Iglesia y precipitaciones nivales invernales en la zona cordillerana; con muy baja frecuencia media de días con lluvia o nieve. Según la clasificación de Köpen es del tipo B W K, donde: B: precipitación media anual inferior al límite de sequía, W: desierto y K: temperatura media anual inferior a 18 C° (en Rodeo de 15,7C°), pero superior a 18C° en el mes más caluroso (enero 23,0C°).

Según la clasificación climática de Viers, el clima en el Valle es extremadamente seco, desértico, del tipo “sirio” pero con lluvias estivales, por lo que bien podría llamarse “subandino” o “de piedemonte andino”; con veranos cálidos e inviernos frescos, grandes amplitudes térmicas, atmósfera muy diáfana e insolación diurna considerable debido a la muy escasa nubosidad. En el sector montañoso cordillerano el clima es también árido del tipo “sirio” con precipitaciones nivales invernales asociadas al efecto “foehn”, inviernos muy fríos, enormes amplitudes térmicas y similares características en cuanto a transparencia atmosférica, insolación diurna y nubosidad a las que prevalecen en el Valle; de acuerdo con Salvioli (1997) al clima imperante en la cordillera de Iglesia se lo podría denominar “andino”.

Desde el punto de vista geomorfológico, el valle de Iglesia integra la gran

depresión regional tectónica conformada por los valles de Uspallata -Yalguaraz - Barreal-Calingasta-Iglesia. Esta gran depresión separa en forma general los cordones cordilleranos de los precordilleranos de las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza. Estos aspectos se pueden agrupar en un sentido amplio en dos macro unidades: Montañosa y Deprimida Zambrano (Damiani, 1992) (Fig 2).

La unidad montañosa está integrada por los elevados cordones de la Cordillera

Frontal (con alturas superiores a 5.000 m s.m.) y de la Precordillera Occidental. Las formas de paisaje están relacionadas a las actividades erosiva-acumulativa de la acción glaciár y periglaciár. Esto produce una gran masa de detritus que se movilizan, por efectos de la lluvia o del deshielo, hacia las zonas bajas o deprimidas por los canales formados por las quebradas de orientación nor-noroeste sur-sureste, como las de Colanguil, Conconta, Romo, Agua Negra y otras. La Precordillera occi-



Figura 2. Aspectos geomorfológicos y arqueológicos del valle inferior del río Blanco-Jachal
Figure 2. Geomorphological and archaeological aspects of the Blanco-Jachal river lower valley

dental se dispone en largos cordones subparalelos separados por estrechos valles aluvionales que conforman un paisaje de vertientes quebradas y abruptas. Las alturas mayores alcanzan a los 2.600 m s.m. y los materiales erosionados, sueltos, son transportados hacia las áreas deprimidas por las lluvias estivales (Fig. 2).

La Unidad Deprimida corresponde al amplio valle longitudinal de origen tectónico enmarcado al oeste por la Cordillera Frontal y al este por la Precordillera Occidental. Por el sur se separa del valle de Calingasta por el alto de Tocota. Este valle es de características asimétricas con la presencia de un río permanente (río Blanco-Jáchal) recostado hacia el borde oriental del valle. Las altitudes extremas que presenta esta unidad son de 2.700 m s.m. en el sur y 1.500 m s.m. en la confluencia del río Blanco con el A° Colola-Iglesia. Se pueden diferenciar tres sub-unidades geomórficas: Montañas Interiores; Lomadas y Llanuras, que conforman diferentes zonas ecológicas aprovechadas por el hombre desde los tiempos prehistóricos. Las montañas interiores son los denominados C° Negro de Iglesia y C° Negro de Colola. Las lomadas presentan un relieve de jerarquía menor que se localiza en la parte central y oriental del valle. La llanura es el gran plano inclinado que desciende desde el pie de la cordillera, y de los cordones precordilleranos, constituyendo un extenso piedemonte que fue explotado en todos sus términos por las culturas indígenas (Gambier, 2000), como zona de recolección y cacería en los niveles más elevados y como lugar de cultivo en la parte distal asociada a la planicie aluvial del río Blanco-Jáchal.

Respecto a este sistema hídrico, del cual se abastecía el sistema de riego prehispánico, podemos sintetizar que la cuenca hidrográfica del río Jáchal, referida a la estación de afloros de Las Trancas (30°13'00"S-68°52'00"W, 1.350 m s.m.), tiene una superficie de aproximadamente 24.000 km², el río tiene un caudal medio anual (período 1952/64) de 7,88 m³/s y un derrame medio de 249 hm³ al año. El río drena un área un 17 % mayor que la del Dpto. Iglesia; además de este departamento la cuenca abarca también el sector oeste de la provincia de La Rioja y una pequeña porción de la cordillera catamarqueña.

Tipología de canales prehispánicos

Entendemos por canal de riego al conducto artificial, abierto, en donde circula el agua debido exclusivamente a la acción de la fuerza de gravedad, sin ninguna presión.

En este trabajo se detectaron y mapearon un conjunto de canales de diversos tamaños, formas (geometría), usos y sistemas constructivos, que en conjunto y comparándolos con las obras actuales conforman **un sistema integral de riego**. Definirlo como un sistema físico implica que es un conjunto de artificios que, coordinados y convenientemente operados, cumplen con la mayor eficacia la función de distribuir en tiempo y forma el agua. Definir estas obras prehispánicas como **sistemas** parecería, en principio, algo aventurado o exagerado debido a la complejidad de los elementos involucrados. Hablar de sistema de riego por canales implica que cualquiera sea el diseño de obra que se adopte existen una serie de

componentes y requerimientos mínimos, a saber: 1- existencia de una toma primaria de agua que alimente al o a los canales matrices, 2- este canal o canales matrices deberán transportar el agua en el tiempo requerido y con el caudal necesario para abastecer la red de riego de acuerdo a las necesidades de los cultivos, 3- que esta red de riego distribuya el agua en forma más o menos uniforme, 4- que las pérdidas de agua por infiltración y escorrentía sean mínimas, 5- al tratarse de canales erosionables (construidos en suelo natural) las velocidades del fluido deberán ser tales que no destruyan las obras, 6- es imprescindible la existencia de caminos de servicios para el mantenimiento de las obras y 7- que las obras ocupen la menor superficie de terrenos aptos para cultivos.

Durante el desarrollo del presente trabajo, si un canal o artificio hidráulico arqueológico estaba en un grado de destrucción que no permitía interpretar su función hidráulica se trataba de localizarlo en otros sectores de la provincia de San Juan (valles de Calingasta, Jáchal y Bermejo), o en provincias vecinas (La Rioja y Catamarca), a los fines de acotar las interpretaciones y ajustarse más a las pruebas arqueológicas. Sobre la base de estas condiciones, de la clasificación moderna de canales, de lo observado, analizado, y comparado, se estructuró una tipología tentativa de canales prehispánicos que necesariamente tendrá cambios con el avance de las investigaciones. Los canales que componen el sistema de riego del valle de Iglesia fueron clasificados por su geometría (forma de la sección transversal) y por si están excavados directamente sobre el terreno natural o en un terraplén construido especialmente.

Terraplén

Estructura artificial ejecutada con materiales medianos a finos, arenas, limos y arcillas, compactados y que en algunos casos especiales presentan una estructura endurecida mediante la cocción de arcillas. Estos terraplenes tienen una geometría regularmente trapezoide y en su construcción se aprovechan también las vertientes de las lomadas que contribuyen a formar un terraplén mixto; o sea que se utilizó un método de corte y relleno (Fig. 3). Al tener en forma generalizada una misma geometría, se los puede clasificar de acuerdo a la altura que presentan con referencia al piso en donde se apoyan. Esta discriminación se basa en los promedios de medidas que se efectuaron en ambas márgenes del río Blanco-Jáchal. Es de acotar que estas medidas se mantienen para los lugares relevados de las provincias de La Rioja y Catamarca. Los terraplenes se utilizan en forma indistinta en todos los niveles de canales observados (Fig. 3), y su función es múltiple, entre ellas cabe destacar: permiten la ejecución de canales en zona de topografía quebrada, mantener una cota uniforme para poder variar la pendiente del canal según las necesidades y texturas de tierras seleccionadas para cultivo, y corregir la pendiente transversal de los terrenos. Aunque su construcción implica una inversión importante de mano de obra, este tipo de estructura hace que el resultado final sea más estable (el largo tiempo de existencia lo demuestra) y provoca un ahorro notable de tierras cultivables, ya que permite que la traza del canal se realice en terrenos no aptos para cultivos.

Tipo: matrices de primer y segundo orden		
Geometría Sección Transversal	Variaciones Combinaciones	Sistemas constructivos
Trapezoidal		Sobre terraplén artificial o mixto
Rectangular		En terreno natural, terraplén artificial o mixto
Tolva		En terreno natural o sobre terraplén artificial
Circular		Sobre terraplén artificial
Ovoidal		En terreno natural o en terraplenes mixtos
Terraplenes		
	Talud del canal	H= hasta 0,50 m pequeño
	Terraplén	H= 0,50 - 1 m mediano
	Terr. natural	H= >1m grande

Figura 3. Tipología de canales prehispánicos (canal matriz)

Figure 3. Typology of prehispanic channels (matrix channel)

Obras y canales de toma

Las obras de captación del agua superficial (ríos y arroyos) y subterránea (manantiales) atribuibles a los grupos indígenas prácticamente no han subsistido por que son muy fáciles de destruir, o por que los habitantes actuales han utilizado los mismos lugares para las tomas de agua. Básicamente existen dos tipos de toma de agua, las **tomas libres** y las **Azud**. Las tomas libres son obras de encauzamiento precario, de rocas y maderas dispuestas en forma tangencial a los arroyos o ríos que se separan sutilmente del rumbo del

cauce hasta llegar al lugar más apto topográficamente en donde se produce el cambio de dirección definitivo. Se denominan libres debido a que no se regula el caudal captado y se utiliza en ríos y arroyos de gastos medianos a elevados. El canal inmediato que continúa a partir de estas obras es solamente un encauzamiento precario mediante rocas (rodados del mismo río) sobre el suelo natural, sin tratamiento. Por lo general captan más caudal que el necesario por las pérdidas por infiltración y escurrimiento que presentan estas obras (Fig. 4).

Tipo de canal: Obras de captación y vcauales de tercer orden (hijuelas de riego)

Geometría		Sistemas constructivos
Planta	Corte	
		Toma libre o "criolla", sobre cursos hídricos de elevados caudales
		Azud de derivación transversal al cauce, de mediano a bajo caudal
Derivaciones para riego y estructuras hidráulicas de funciones específicas		
		Toma de agua, por cambio de sección del canal
		Desarenador, exclusivamente sobre terraplén artificial
		Derivador en Punta de diamante o "Y" o a 90°
		Toma de agua múltiple, en terraplén artificial

Figura 4. Tipología de canales prehispánicos (captación)

Figure 4. Typology of prehispanic channels (water catchment)











Tipo de canal: derivaciones de riego y protección		
Geometría Planta	Sistemas Corte	constructivos
		Cuenco amortiguador
		Canales de 2º y 3º orden, en terraplén artificial
		Canales de 1º, 2º y 3º orden sobre terrenos naturales con fuerte pendiente. Enrocado (rip-rap)
		Canales de 2º orden sobre terraplén artificial en arcilla cocida y base en copa
		Canales de 2º y 3º orden en terrenos estructurados con enmaderamiento.

Figura 5. Tipología de canales prehispánicos (derivaciones de riego)

Figure 5. Typology of prehispanic channels (irrigation distribution)

En la zona de trabajo no se localizó testigo arqueológico alguno sobre este tipo de obras.

No obstante, las prospecciones en las provincias vecinas permitió la observación del canal inmediato a la obra de captación en las zonas del río de Huaco, (figuras 3, 4 y 5), en La Rioja (en asociación con cerámica tipo Angualasto o Sanagasta) y en Colpes (Catamarca).

El otro tipo de captación, el denominado **Azud** (figura 4), es una obra transversal al cauce del río o arroyo, que presenta similares características constructivas a las antes descriptas. Estas obras se utilizan en

fuentes de aguas de bajo caudal o velocidad del flujo. No se localizaron testimonios arqueológicos de este tipo de obra.

Canales matrices de primer y segundo Orden - Canales de riego

Se denomina Canal Matríz a los canales principales que tienen la función hidráulica de transportar agua en el tiempo requerido y con el caudal necesario a la red de riego establecida para los cultivos. Estos canales transportan caudales importantes y por lo general finalizan en un artefacto hidráulico que sirve para disminuir la velocidad del fluido y para distribuir el agua en canales de segundo y tercer orden. Se localizan en general sobre terrenos no aptos para cultivos y a una cota lo suficientemente elevada para tener dominio sobre la red de canales menores asociada; presentan una variada geometría que está en función de las características geológicas de los terrenos involucrados, topografía de la zona y ubicación de los terrenos para cultivos seleccionados por el grupo cultural. Por este motivo un mismo sistema tiene cambios notorios de forma en su desarrollo total. Las secciones transversales más comunes mismas se observan en ambos márgenes del río Blanco-Jáchal y se indican en las figuras 3 y 4. La sección rectangular se localiza sobre terrenos de roca firme (volcánica o sedimentaria), muy compacta, en donde el canal sigue la topografía de las lomadas o las corta, con fuertes cambios de pendientes. Por lo general un talud del canal está constituido por la roca a la cual cortaron y el otro talud es un terraplén de sedimentos compactados o de bloques de rocas trabadas, asociadas a sedimentos. Una variante, de sección rectangular elongada, se verifica en los terre-

nos conglomerádicos compactos de bajadas pedemontanas, en donde estos canales se excavaron directamente sobre el terreno natural sin ningún tratamiento especial, debido a la estabilidad de los terrenos que permite la ejecución de taludes verticales. La selección de este tipo de sección transversal, presente en canales profundos, es para compensar las pérdidas de caudal por la rugosidad de los taludes e impedir que por cambio de pendiente (cambio de régimen de velocidad) o de rumbo del canal matriz, se produzca rebalse del fluido que conspira contra la estabilidad de la obra si la misma tuviera otra sección.

La forma trapezoidal ocurre sobre terrenos sedimentarios del tipo fino a mediano, en la parte distal de conos aluviales o en barreales en donde existe una componente elevada de sedimentos arenolimoso-arcillosos. Cuando se asocian a estos terrenos, los canales están excavados sobre terraplenes artificiales grandes que adecuan las pendientes naturales (tanto longitudinal como transversal) a sus intereses de transporte de agua. Cuando se asocian a terrenos similares a los descriptos, los de sección cuadrática generalmente presentan un terraplén mixto. Son canales de gran caudal, con velocidades medias, y corresponden a canales matrices de primer y segundo orden. Los canales en forma de tolva están contruidos sobre terraplén o en terreno natural fino (limo-arcilloso); por lo general son canales de segundo o tercer orden (hijuelas de riego), de baja a mediana velocidad. Cuando se verifican en terraplén (de cualquier tamaño) es para corregir pendientes naturales del terreno (mantener cota para tener dominio de riego). Los caudales a

transportar son medios y tanto los cavados en terreno natural o sobre terraplén están impermeabilizados.

Los canales de sección circular, que en cierto modo integrarían una sección especial al no ser tan comunes, pueden incluirse en una clasificación general. Desde el punto de vista constructivo es el que mayores dificultades presenta aún en la actualidad (siempre referido a los canales erosionables), pero desde su función hidráulica son los más recomendables ya que permiten transportar un caudal mayor en menor área o perímetro mojado. Construidos exclusivamente sobre terraplén artificial y asociados a terrenos medianosos son canales matrices de segundo orden, de velocidades y de caudales medios a altos. Presentan trabajos de protección en rocas y están impermeabilizados.

Los canales matrices de sección ovoidal son exclusivamente excavados en terreno natural de naturaleza impermeable, en la zona del valle del río Blanco-Jáchal están asociados a sedimentitas de edad terciaria, de litología arcillolimosa o areniscas. Se presentan unitarios o en conjunto acompañando la topografía de las lomadas que circundan o interceptan. Son canales de segundo orden de alta a media velocidad y caudal. Se utilizan para mantener cota topográfica adecuada para alimentar la red de regueras.

Canales de riego

En lo que respecta a la geometría de los canales de tercer orden (red de riego de los predios), estos mantienen iguales características de geometría y sistemas constructivos que los matrices. (Fig. 3, 4 y 5).

Las hijuelas de riego o regueras tienen sección en tolva siendo su ancho máximo de 0,60 m, con una altura del pelo de agua nunca superior a los 0,20 m. Están excavados sobre el terreno en forma directa o sobre un pequeño terraplén (altura del terraplén no mayor a los 0,30 m). En ciertos casos integra la geometría del canal un pequeño pedestal que actúa de terraplén. Son de baja velocidad y caudal (escasa pendiente) en donde el agua se mueve en forma lenta para evitar erosionar tanto el canal como a los terrenos de cultivo. Solamente en casos especiales se encuentran impermeabilizados y en consecuencia presentan mayor resistencia a la erosión, motivo por el cual se conservan y son los que han permitido confirmar su existencia. En la mayoría de los casos observados se encuentran claras evidencias de destrucción por la acción de los agentes erosivos (agua y viento). Las derivaciones de agua para canales de tercer orden están asociadas casi con exclusividad a los ramales de segundo orden, siendo excepcional la existencia de tomas que se desprenden de canales de primer orden. Estas derivaciones para riego están construidas en forma indistinta sobre terraplenes o excavadas en terreno natural, al igual que los canales que alimentan. Están impermeabilizadas y poseen una variedad notable de formas como se visualiza en las figuras 4 y 5. El caso más extraordinario, por la técnica que presenta, es la toma lateral por cambio de sección, solución utilizada en los modernos canales de riego realizados en hormigón. La función hidráulica consiste en producir una reducción del área del canal, lo cual genera lo que se denomina un resalto hidráulico, en donde la masa de agua al

encontrarse con un área menor por donde circular y para mantener constante el balance de energía, gana en altura desbordando por un lateral del canal. Para potenciar este efecto, en el fondo del canal se construye un resalto o escalón. También produce este mismo efecto la introducción de bloques de roca en el estrechamiento. Este tipo de toma era de uso común en los canales prehispánicos del valle de Iglesias.

Otro artificio hidráulico notable es el cuenco amortiguador de velocidad que generalmente se observa asociado a canales de primer y segundo orden, variando las dimensiones en función del caudal transportado. De estos cuencos amortiguadores parten canales de segundo y tercer orden.

Conceptos hidráulicos básicos de funcionamiento de canales

Determinada la tipología de los canales, es necesario conocer los conceptos mínimos de hidráulica de conductos y fluidos utilizados para el análisis del funcionamiento de los canales y de los caudales que transportaban. De esta forma, y con elementos arqueológicos referidos a instrumentos de labranza y localización de los antiguos campos de cultivo, es posible intentar reconstruir en forma más aproximada el uso y ocupación de las tierras del bajo valle del río Blanco.

El agua en movimiento presenta condiciones muy complejas, dando por consecuencia, la aplicación de fórmulas empíricas afectadas por coeficientes obtenidos a base de la ingeniería experimental. En figura 6 se visualiza y sintetiza la nomenclatura general de los parámetros a medir,

que se utilizan para satisfacer los términos de la ecuación matemática para calcular el caudal de agua circulante por los canales.

Se define como caudal o gasto Q , al volumen de agua que atraviesa una sección geométrica en un cierto tiempo, donde el área de la sección esta expresada en m^2 y la velocidad en metros por segundo (m/s), así la expresión general de la ecuación de continuidad es: $Q = A \cdot V$, de la que resulta el gasto expresado en m^3/s . Los parámetros mensurables para satisfacer la ecuación son solamente los referidos a la forma física del canal: área de la sección y la altura supuesta o calculada del pelo de agua (Fig. 6). La imposibilidad de medir la velocidad del agua (ya que no circula por estas obras hace cientos de años) imposibilita la aplicabilidad de la fórmula general de caudal y tiene que adoptarse otro medio de cálculo mediante fórmulas experimentales cuya se-

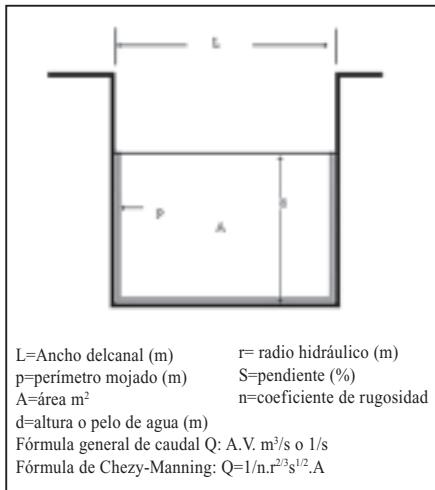


Figura 6. Parámetros hidráulicos para medir caudales según Chezy-Manning

Figure 6. Hydraulic parameters for measuring water flows according to Chezy-Manning

lección es, en la mayoría de los casos, subjetiva porque depende de la experiencia del calculista (Trueba, 1974).

Se han adoptado las fórmulas de Chezy-Manning, (figura 6) en donde participan el coeficiente C (que depende del radio hidráulico y fundamentalmente de la rugosidad del talud del canal - n -). El valor de rugosidad (n) y la pendiente del lecho del canal (s) son las herramientas fundamentales de las que se valieron las culturas indígenas (en especial la de Angualasto) para el diseño y construcción de los sistemas de canales, ya que las variaban según las necesidades constructivas adaptándolas al tipo de terreno y función hidráulica del canal (transporte o riego). Como ejemplo de cálculo se toma el caso de un canal matriz de sección rectangular, un canal de segundo orden de sección en tolva y el de un canal de tercer orden con sección oval. Los tres casos representan la mayoría de los conductos existentes por lo que constituyen ejemplos representativos de toda la zona. Con este método de cálculo se operó para la totalidad de los canales relevados.

Canal Matriz:

$L = 1$ m $r = 0,291$ m
 $d = 0,70$ m $s = 0,003$ y $0,02$
 $A = 0,70$ m^2

$P = 2,40$ m n = coeficiente de rugosidad = $43,5$
 Para una velocidad $V = 1,0537$ m/s calculada según Chezy $Q = 0,737$ m^3/s
 Para una velocidad $V = 2,719$ m/s calculada según Chezy $Q = 1,903$ m^3/s

Canal de Segundo orden:

$L = 1,06$ m
 $d = 0,25$ m Según Chezy $V = 1,749$ m/s
 $A = 0,132$ m^2
 $p = 1,09$ m $Q = 0,223$ m^3/s
 $r = 0,121$
 $s = 0,02$ n = coef. de rugosidad = 50

Canal de Tercer orden:

$L = 0,65 \text{ m}$

$d = 0,10 \text{ m}$ Según Chezy $V = 0,923 \text{ m/s}$

$A = 0,032 \text{ m}^2$

$p = 0,70 \text{ m}$ $Q = 0,029 \text{ m}^3/\text{s}$

$r = 0,046$ $n = 50$

$s = 0,02$

Cabe aclarar que se utilizaron los valores medios ponderados para un régimen de máximo caudal y uno de caudal más probable (valor de mínima) para el cálculo general de los caudales

RESULTADOS

Los Sistemas de Canales Prehispánicos del noroeste de San Juan

En zonas áridas la agricultura es posible si se cuenta con sistemas de distribución de agua que aseguren una producción agrícola sostenida y segura. Esta norma fue aplicada por los grupos indígenas que poblaron el actual territorio de la provincia de San Juan, desde los primeros experimentos agrícolas (Cultura de Ansita 1.800 ¹⁴C a.C (Gambier, 1977)). En principio las actividades agrícolas eran del tipo complementario en la economía, hasta ocupar tiempo completo en la cultura Angualasto (1.200 – 1.490 d.C) y muy posiblemente con excedente para comerciar (Gambier, 2000).

Los sistemas de canales prehispánicos se desarrollaban en ambas márgenes del valle inferior del río Blanco, hasta el origen del río Jáchal (confluencia del río Blanco con el arroyo Iglesia-Colola) y permitían irrigar tierras que actualmente están sin uso. Ésta disposición permite definir dos sistemas de canales indepen-

dientes entre sí, que presentan similitudes y diferencias de soluciones técnicas constructivas; ello se debe a la variabilidad litológica y morfogénica de los ambientes que se desarrollan en el valle del río Blanco.

Denominamos al sistema de la margen derecha del río Blanco **Sistema Angualasto** y al de la margen izquierda **Sistema Buena Esperanza-La Otra Banda**.

SISTEMA ANGUALASTO

Descripción

Toma esta denominación del sitio geográfico y arqueológico localizado en las cercanías del pueblo de Angualasto (Fig.7). Este sistema se ubica en la margen derecha del río Blanco, y estaba destinado a captar agua superficial del río homónimo. El lugar de origen no se pudo determinar con exactitud por no existir testimonios arqueológicos seguros, pero posiblemente se localizaría entre las localidades de Chigua de Abajo y Malimán de Arriba, a una cota topográfica del orden de los 1.800 a 1.830 m s.m., finalizando en la zona del C° Negro de Colola a una cota aproximada de 1.560 m s.m. Es decir que presenta un desarrollo longitudinal en el rumbo norte-sur de 22 km considerado en línea recta y como si fuera un solo canal, con un desnivel promedio del orden de los 270 metros. En su desarrollo éste sistema matriz corta un variado paisaje de terrazas fluviales, lomadas, llanura pedemontana y barreales asociados. Esta variación paisajista implica que no hay una pendiente (S) uniforme en todo su trayecto, sino que por el contrario

existen pendientes longitudinales y transversales de carácter local superiores al 6% en el primer caso y del 15% en el segundo, razón por la cual el diseño presenta múltiples formas y soluciones hidráulicas y no está referido a un canal matriz único sino a una serie de ellos. Esta multiplicidad de canales hace que su mapeo sea en extremo dificultoso, por los problemas erosivos naturales y antrópicos que afectaron y afectan a estas obras de notable antigüedad. Esto implica también incertidumbre en lo referente a la extensión del sistema primario y secundario, un cálculo aproximado lo acotaría en el orden de los 60 km. No es posible integrarlo con los canales de riego (tercer orden) pero una apreciación de mínima indica un valor total superior a los 120 km. En la figura 7 y 10 se visualiza la traza del sistema, considerando únicamente los canales de primer orden por razones de escala.

Los registros arqueológicos de este sistema se localizan a partir de Maliman de Arriba hasta Maliman de Abajo. Son tramos discontinuos y mal conservados de un canal de sección transversal trapezoidal a ovoidal en terraplén mixto mediano. A partir de Maliman de Abajo hasta la de Punta del Barro, se presenta un único canal matriz excavado con variaciones en cuanto a las dimensiones de su sección transversal rectangular, tanto en la profundidad como en el ancho.

Desde Maliman de Abajo hacia el sur, hasta Punta del Barro, este único canal matriz, excavado sobre terraplén mixto o sobre terreno natural, sigue la topografía a fin de salvar el contacto lomadas-terrazza fluvial. Este canal matriz corta las regueras arqueológicas asignadas a la fase

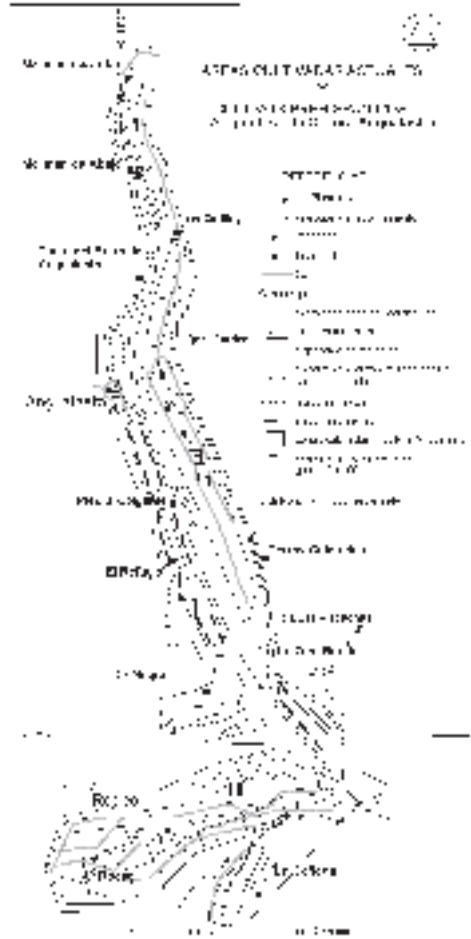


Figura 7. Canal de 2º orden a 1.530 m s.m.
 Figure 7. 2nd order channel at 1,530 m asl

cultural Punta del Barro (50 a 550 d.C.) por Gambier (1988). Por problemas erosivos intensos y de destrucción de las obras por parte de inescrupulosos o de arqueólogos aficionados el sistema pierde identidad hacia el sur y sureste de Punta del Barro por unos 500 metros (Foto 1). A partir de este punto se observa una serie de canales que se disponen en

figura similar a una “cola de caballo” si se los observara en planta. Estos, identificados en un número de seis, muestran grandes terraplenes mixtos, es decir, terreno natural con retoques a los fines de corrección de pendientes. Por el grado de erosión que presentan los terrenos, y al no existir un relevamiento topográfico detallado, no se puede determinar con exactitud si es un terrazamiento natural (acción de encajamiento del río Blanco) o es producto de la acción del hombre o combinación de ambos, aspecto que requiere de trabajos específicos de detalle.

Estos seis canales ocupan la “cresta” (terracea o terraplén) del terreno, separados entre sí por distancias superiores a los 90 metros y con desniveles del orden de los 3 m. Los canales se escalonaban en sentido topográfico decreciente desde el oeste (lomadas) hacia el valle del río Blanco (Fig. 8); y conformaban una red muy compleja de 1°, 2° y 3° orden en la cual se mantenía constante la geometría, indistintamente de su orden. Todos cons-



Figura 8. Ubicación esquemática del área de Angualasto

Figure 8. Schematic location of the Angualasto area

tituyen canales impermeabilizados tipo tolva, con régimen hidráulico subcrítico. Esto permitía estructurar un sistema de riego en terrazas con canteros situados entre los canales, similares a los denominados por Raffino (1975) “canchón o bancales de cultivo”. Los bancales se disponían en forma rectangular conformando una matriz en la que cada núcleo medía 3m x 1,70 m con un bordo



Foto 1. Sistema Angualasto
1. Punta del Barro, vista norte; 2. Detalle de canal matriz (prof. 3m, ancho 1,2m)

Photo 1. Angualasto system
1. North view, Punta del Barro locality; 2. Detail of matrix channel (3 m deep, 1.2 m wide)



perimetral de 0,10 m de altura. Se disponen seriados en un número no definido, y ocupan una superficie apreciable, superior a las 4 ha; estaban tapizados por rocas oscuras que podrían pertenecer al pavimento del desierto que cubría originalmente al barreal actualmente diseado.

Las dimensiones promedio de estos canales de primer orden resultaron: ancho (L) 2,40 m, sección en tolva (taludes tendidos) con altura del pelo de agua entre 0,40 a 0,60m (D) y pendientes (s) del orden del 2 a 2,5 %. Los de segunda magnitud: L= 0.8 0m, D= 0.25- 0.30 m con igual pendiente. En todos los casos estaban impermeabilizados hasta el borde del talud con arcillas plásticas, mediante la técnica de enlucido de capas sucesivas dispuestas en el sentido de la corriente (“canales engobados”).

Esta forma de operar produjo una base del canal de 0,10 a 0,15 cm de espesor, lo cual si bien en el transcurso del tiempo podía producir una merma en el área de la sección (tendencia a disminuir el caudal) permitía por otro lado disminuir drásticamente las pérdidas por infiltración y tener una mayor velocidad del fluido, lo cual compensaba el valor del gasto. Estos canales se visualizan hasta el cauce aluvional del arroyo Colanguil, que a través de los tiempos erosionó gran parte del área de cultivo y obras hidráulicas arqueológicas hasta hacerlos desaparecer. Con relación a esto, los canales presentaban un enrocado de protección en los terraplenes y gaviones prehispánicos para la protección y corrección de la escorrentía natural.

Quedan escasos indicios de los antiguos canales y sus obras de arte, desde el

cauce del arroyo Colanguil hasta la denominada aldea Angualasto. A partir de este punto y hacia el sur no existen testimonios de esta red debido a la localización actual del pueblo de Angualasto y por los cultivos que realizan los mismos pobladores, que borraron todo testimonio arqueológico. Unos dos kilómetros hacia el sur del pueblo y en las terrazas asociadas al río Blanco—Jáchal aparecen nuevamente restos arqueológicos de estos canales; son de segundo y tercer orden disponiéndose en forma a veces tan intrincada que no permiten un seguimiento seguro de un único ramal. La existencia de esta forma de disposición presupone que este amplio sector estaba destinado al cultivo intensivo por los antiguos habitantes.

De modo similar a lo descrito, los testimonios arqueológicos continúan hasta unos 100 metros al norte del sitio de Piedra Colgante, en donde solamente se visualizan dos canales de segundo orden. El menos notable se dispone hacia el oeste del actual camino que une las localidades de Rodeo con Angualasto. Este ramal está muy destruido, no pudiéndose ejecutar mediciones válidas para cálculo del gasto. El otro ramal presenta solamente sectores en donde el estado de conservación permite realizar tareas de medición. Está situado en el borde de la terraza, observándose una sección en tolva sobre terraplén mediano. Conserva en buena forma el trabajo de impermeabilización y sus dimensiones. Por las mismas se lo clasifica como de segundo orden, de velocidades medias y caudales a transportar en el orden de 0,200 m³/s, con un pelo de agua cercano a los 0,30 m (Foto 2).

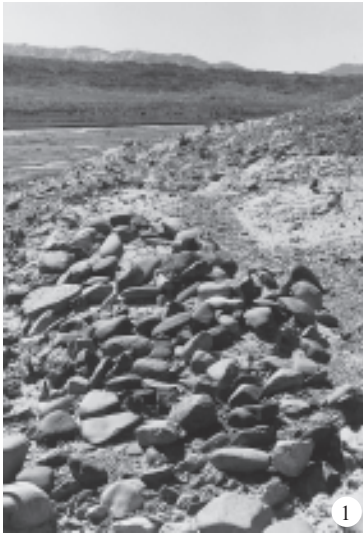


Foto 2. Sistema Angualasto, cercanías de Piedra Colgante
1. Canal matriz de 2° orden; 2. Cimientos de construcciones con cerámicas Aguada

Photo 2. Angualasto system, near Piedra Colgante
1. 2nd order matrix channel; 2. Building basements associated with Aguada ceramics

En el extremo este del sitio Piedra Colgante el canal matriz más oriental se divide nuevamente en tres tramos como mínimo, dos de ellos continuaban en dirección sur y el otro finalizaba a 500 m, en dirección oeste. Los ramales que continuaban hacia el sur no se pueden identificar plenamente en el área comprendida entre Piedra Colgante y el Refugio, por estar la zona muy erosionada y solamente se evidencia una multitud de hijuelas de riego dispuestas en una intrincada red (Foto 3). En este sitio se plantea otro problema debido a que en el sector norte del Refugio se observa un solo canal matriz de sección trapezoide excavado en rocas. Éste es de grandes dimensiones y el caudal probable calculado es de $0,400 \text{ m}^3/\text{s}$; este valor supera al medido para el sector de Piedra Colgante por lo que se supone que existían uno o más canales de alto rendimiento (matrices), que en la actualidad no se visualizan por destrucción de los mismos. Indicios indirectos hacen presumir que estos canales se

situaban en la orilla de la terraza, estando, desde antiguo, afectada por la erosión hídrica del río Blanco producida por la divagación lateral del cauce en épocas de las crecidas estivales (Foto 3).

A partir del Refugio, el canal matriz superviviente acompaña la topografía de las lomadas localizadas al oeste del sitio citado anteriormente, con rumbo suroeste al principio y luego con orientación sur para culminar en la localidad Pampa del Barro. Este canal matriz alimentaba su red subsidiaria de riego entre las localidades de pampa del Barro y Cerro Negro de Colola.

Ingeniería y Funcionamiento del Sistema Angualasto

Con los testimonios arqueológicos, el reconocimiento de campo, el mapeo de las obras y los cálculos de los caudales probables que circularon, puede realizarse una reconstrucción del sistema e intentar conocer su modo de funcionamiento (Fig.9).



Foto 3. Sistema Angualasto, al sur de Piedra Colgante
 1. Canal matriz de 2° orden; 2. Canal de 3° orden
 Photo 3. Angualasto system, to the south of Piedra Colgante
 1. Matrix channel; 3rd order channel south of Piedra Colgante

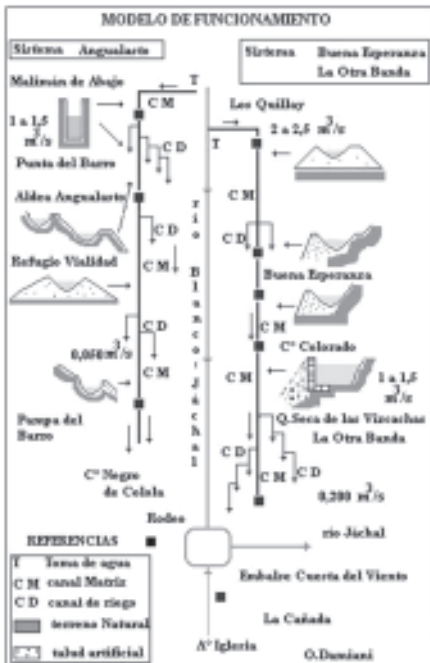


Figura 9. Modelo de ocupación del valle inferior del río Blanco en el periodo de la cultura Angualasto
 Figure 9. Model of occupation of the Blanco river lower valley in the period of the Angualasto culture

TRAMO MALIMÁN DE ARRIBA HASTA PUNTA DEL BARRO

En su inicio este sistema debe haber contado con una toma del tipo libre sobre lecho natural, sin tratamiento, similar a la de uso actual. Esta toma captaría mayor caudal que el necesario para alimentar el sistema, debido a las pérdidas por infiltración y forma constructiva. Los restos de este primer tramo, en mal estado de conservación, se ubican en la terraza fluvial y lomadas presente en la llanura aluvial pedemontana occidental, y la sección transversal observable es similar al trapecioide variando a ovoidal sobre terraplén mixto. No se efectuaron mediciones para determinar el gasto debido al grado de destrucción que presentaban. A la altura de la quebrada de Los Puentes (entre Malimán de Arriba y de Abajo) cambia la sección transversal y el método constructivo. La sección que presenta es rectangular y está directamente excavado

sobre el terreno natural constituido por conglomerados. Las dimensiones de este canal, medidas en tres lugares diferentes con secciones homogéneas y promediadas, resultaron: ancho del canal 1,20 m, profundidad 1,40 m, y un pelo de agua mínimo calculado de 1 m, con pendiente (S) del 3%.

Aplicando las ecuaciones de cálculo con los datos mencionados y teniendo en cuenta a la erosión de la base del canal, resulta un rango de caudal de 1,5 a 1 m³/s, que es considerado como aceptable.

Este canal posiblemente captaba también unos antiguos manantiales, hoy secos, que se localizaban en el subálveo del A° Los Puentes, utilizándose en forma conjunta el agua subterránea y superficial. También puede interpretarse que estos manantiales actuaron como fuente de alimentación alternativa mínima en caso de ruptura de la toma de agua por efecto de las crecidas o de mantenimiento de obras en el área de captación. A partir de la margen derecha de esta quebrada el canal no sigue las curvas de nivel y cambia su sección transversal a rectangular, excavado directamente sobre terreno natural. Este cambio de sección transversal y el aprovechamiento de las pendientes naturales, que son importantes, permitieron que el fluido tenga una velocidad elevada. Este hecho de aumentar la velocidad por cambio de diseño se interpreta como posible dada la necesidad de impedir la pérdida de agua por infiltración. Esto se basa en que un aumento de velocidad de un caudal importante de agua contrarresta la acción de la infiltración por descenso de la altura del pelo de agua (denominado método de “embolada”, que consiste en hacer pasar un gran caudal en

el menor tiempo posible), por lo cual solamente era necesario un tratamiento impermeabilizante en el lecho del canal, mediante arcilla compactada. La infiltración ocurriría entonces sobre los taludes (con menor infiltración), aminorada por la velocidad del fluido. En la figura 8 se indican los cambios de sección y de litología que presenta el canal excavado.

La solución adoptada de no seguir las curvas de nivel obligó a los ejecutores de esta obra a continuar con un esfuerzo constructivo notable, al estar obligados a mantener características similares por una longitud apreciable, por lo que necesariamente debían profundizar el canal matriz para salvar un alto morfológico en el trayecto elegido para la traza. Todo esto ocurre desde la mencionada quebrada Los Puentes hasta el sitio de Punta del Barro. De no haber realizado la profundización se habría producido un aumento peligroso de la altura del pelo de agua, que sumado a una velocidad elevada del fluido, podrían haber erosionado y destruido la obra. Adoptaron como solución la ejecución de un canal de sección rectangular, de profundidad superior a los tres metros en promedio y con un ancho comprendido entre 1 y 0,80 m. Con estas características se desarrolla por más de 250 m de largo y corta directamente en línea recta este alto topográfico.

La selección de esta solución por los antiguos ingenieros es brillante, porque en este trayecto no se dispone de tierras cultivables en forma extensiva y no les interesó usar las escasas disponibles. De esta manera solucionaban el problema de textura y topografía, pero quedaba latente el de alimentar las redes de riego.

Utilizando el concepto de variar la sección transversal en forma abrupta y especialmente la profundidad de los taludes, los constructores pudieron utilizar velocidades menores en terrenos integrados por arcillas compactas, en donde la infiltración es despreciable frente a los volúmenes transportados. La alternancia de pasar de canal de elevada velocidad a canales de velocidades medias permitió, por una parte, manejar volúmenes apreciables de agua y, por otra, salvar un terreno marcadamente difícil para la ejecución de obras. Este cambio de régimen exige necesariamente la existencia de un artificio hidráulico (cuenco amortiguador). Éste se localizaría en el sitio Punta del Barro, porque a partir de este punto cambia la arquitectura de los canales.

TRAMO PUNTA DEL BARRO A PIEDRA COLGANTE

No se pudo identificar fehacientemente la obra hidráulica citada, cuya existencia en el pasado se basa fundamentalmente en evidencias indirectas como ser el cambio radical del único canal matriz de elevada velocidad a un complejo de canales matrices de velocidades medias a baja que se disponen al sur de la localidad de Punta del Barro. El posible cuenco amortiguador sería similar a una cisterna, que cumpliría también la función de desarenador (decantador de las partículas en suspensión transportada por el agua). En el sitio nombrado existe el lugar físico para esta obra, y se visualiza un sector de forma elíptica muy erosionado que podría corresponder a esa construcción, aunque no puede aseverarse por falta de evidencias arqueológicas.

Hacia el sur de la localidad de Punta del Barro la presencia de seis canales de segundo y tercer orden se justifica en la obligatoriedad de distribuir el gran caudal transportado por el canal matriz único y a la necesidad de regar los terrenos seleccionados. En términos hidráulicos significa que el régimen de velocidad elevada de caudal unitario (régimen crítico) en un canal matriz único no es conveniente para ejecutar derivaciones (tomas de agua) para regar los terrenos por el problema de erosión de los canales y del suelo. A partir de esta perturbación hidráulica supuesta, en donde se disminuía la velocidad pero no el volumen de agua, y ante la necesidad de regar, hicieron hacer circular el fluido a escasa velocidad y con caudales medios (Fig. 8). Esto lo consiguieron con el tipo y número de canales construidos que permitían manejar un volumen grande de agua ($1 \text{ m}^3/\text{s}$ o más) a régimen subcrítico (baja velocidad), permitiendo construir tomas o derivaciones para riego de cualquier tipo sin peligro de erosión. Con esta multiplicidad de canales ocuparon el área comprendida entre Punta del Barro hasta las cercanías de Piedra Colgante.

TRAMO PIEDRA COLGANTE HASTA CERRO NEGRO DE COLOLA

En este lugar existe un punto crítico, debido a la topografía de las lomadas y a lo estrecho de la terraza fluvial, por lo cual tuvieron que implementar sistemas dobles y posiblemente triples de canales menores para transportar el caudal citado. A estos canales se los debe clasificar como mixtos por los múltiples cambios de estilo constructivos (varían de

excavados en sección oval a tolva en terraplén pequeño). Llama la atención los relictos de una serie de canales menores que enlazan los diferentes niveles de conductos y que en un principio no se explicaba cuáles eran sus funciones, en especial en un terreno tan quebrado, estrecho y propenso a la erosión hídrica. La explicación se encontró luego de analizar las condiciones hidráulicas al término del área de lomadas. En este punto este ramal de canales múltiples converge a un solo canal de sector oval hasta trapezoidal, excavado en las rocas arcillosas, en donde un talud estaba excavado en las rocas y el otro era artificial, cubierto por un riprap de rodados.

El enrocado que tapiza el terraplén artificial es una protección a los fines de prevenir la erosión hídrica, producto del rebalsamiento del canal por problemas propios de topografía y de cambio de sección hidráulica. En caso de que el caudal fuera mayor al que el ramal pudiera transportar en el sector conflictivo, tiene respuesta la existencia de los canales de enlace, ya que los mismos actuarían como fusible por rebalse drenando el agua en exceso hacia el otro ramal o directamente hacia el río Blanco. Esta suposición también se encuentra avalada por la localización, en todos los sectores críticos de las obras hidráulicas prehispánicas, de sitios con cimientos de estructuras habitacionales asociados a cerámica de la cultura Angualasto, cuyos habitantes se interpreta ocuparían el rol de cuidadores de los canales (Foto 2).

Superado el sector de Piedra colgante, con un único canal matriz con caudales calculados en el orden de 200 l/s que bordea las lomadas. el sistema se disgre-

ga en numerosos canales o regueras que ocupan el espacio entre esta localidad y el Refugio.

En las vertientes occidental, sur y norte de las lomadas Piedra Colgante, aparte de los sitios Angualasto, existen también testimonios de cerámica Aguada y restos de cimientos de una construcción no identificada, asociados a canales menores. Esto permite suponer que parte del sistema se habría originado a partir de la cultura Aguada con características similares.

Desde el Refugio hasta la zona de Pampa del Barro, sitio localizado al oeste del cerro Negro de Colola, la sección transversal del canal evoluciona entre trapezoide en terraplén mixto grande y oval en terraplén artificial mediano a grande. El canal matriz se dispone prácticamente entre las lomadas y el contacto entre estas y la planicie aluvial. El caudal calculado en su tramo final es de 0,050 m³/s que se distribuía en hijuelas de riego que se originaban en tomas múltiples de estructura en “Y” o en punta de diamante. Al final de este canal se localiza un sitio arqueológico compuesto por cimientos de construcciones atribuibles a la cultura de Angualasto asociados a campos de cultivo (Foto 2,3 y 9).

SISTEMA BUENA ESPERANZA – LA OTRA BANDA

DESCRIPCIÓN

Este sistema irrigaba la margen izquierda del río Blanco-Jáchal y su cota de inicio se sitúa a los 1.750 m s.m. No se pudo identificar con precisión su lugar de origen pudiendo localizarse al norte de la

localidad de Los Quillay, a la cota mencionada. El sistema acompaña el contacto entre las estribaciones precordilleranas y sus bajadas pedemontanas con la planicie fluvial del río en su terraza más elevada y finaliza en el actual emplazamiento de la presa de embalse Cuesta del Viento. El último canal de segundo orden que se toma como fin de la obra prehispánica lo hace a una cota de 1.530 m s.m. lo que determina un desnivel de 220 m (Fig. 7). La longitud total de este sistema, considerando que el mismo fuera unitario, es de 20 km en línea recta pero como existen canales de segundo orden, aparte del principal, la longitud total se aproximaría a los 50 km sin considerar las regueras. La investigación de este sistema hidráulico presenta serias dificultades debido a que la traza del sistema de riego actual es prácticamente la misma que la arqueológica en varios sectores, principalmente los iniciales y en el área de la estancia de Buena Esperanza. Los escasos tramos conservados están afectados por obras del hombre y por intenso procesos erosivos que modificaron un factor esencial en el cálculo del caudal como es la pendiente del fondo del canal. Este problema se solucionó en parte al localizarse sectores de canales (tanto al inicio como al final del sistema) que conservaban los sedimentos transportados por el agua. La aseveración de que tales sedimentos son transportados por el agua canalizada y no por otro origen, se basa en el análisis de las estructuras de flujo que presentan, las cuales se forman en un rango estricto de velocidad lineal Zdenek (1971). Identificadas éstas en forma directa se conoce el rango de la velocidad del flujo, y el valor resultante se sustituye en la ecuación para

el cálculo del gasto mediante la fórmula de Chezy-Manning.

Estos testimonios presentan una sección transversal trapezoidal a rectangular construido sobre terraplén natural o artificial en circunstancias en las que se debía salvar depresiones naturales del terreno. No puede establecerse un ancho promedio del mismo adoptándose un rango de un mínimo de 1,50 m a un máximo de 2,50 m. Este rango seleccionado no es arbitrario sino que el mismo proviene del promedio de medidas obtenidas en el mapeo de campo en diferentes sitios donde existen relictos de esta obra. En cuanto a la altura del pelo de agua los valores se sitúan también en un rango de confianza entre 0,80 m a 1,50 m.

Desde la quebrada del Carrizalito (extremo norte de la Ea. Buena Esperanza) solamente se conserva la rama este (o del alto) del canal matriz con sección en tolva sobre terraplén natural o artificial, el mismo acompaña la forma de las lomadas cortándolas cuando era necesario. La sección transversal volvía a ser trapezoide y está construido en un terraplén mixto. De esta forma la margen izquierda del canal estaba elaborada en los terrenos naturales y su talud era recto, en cambio la margen derecha se construía en un terraplén artificial y su talud estaba inclinado 45° respecto a la vertical. Con las características constructivas descritas, el ramal del este continúa hasta el paraje denominado Cerros Colorados. En este sector se visualizan cimientos de una estructura arqueológica que se localiza en la vertiente occidental de las lomadas vecinas al canal, la misma está sepultada por sedimentos gruesos no consolidados. En el sitio Cerros Colorados

dos, y bordeando toda la cerrillada, se conserva el canal matriz (rama este) en su máxima expresión técnica. Los constructores optaron por ejecutar un canal donde uno de los taludes era la roca paleozoica en partes retocada y al otro lo resolvieron en un talud vertical en rocas canteadas en paralelepípedos (Foto 4).

Es posible que este talud, en los tiempos de uso permanente del acueducto, se reforzara con un terraplén que a su vez actuaba de recubrimiento impermeable a la infiltración lateral. Este terraplén no se conserva en la actualidad. Este sector de canal matriz se encuentra entarquinado y en parte sepultado parcialmente, razón por la cual se excavó un sector restringido a los fines de valorar la pendiente del fondo del conducto y sus condiciones de impermeabilidad, para los cálculos de caudal.

Desde Cerros Colorados hasta la quebrada Seca de las Vizcachas el canal matriz continúa con sección trapezoidal con un talud en roca firme y otro construido en terraplén artificial y en parte excavado en areniscas y arcilla de edad terciaria.

Las dimensiones comprenden un ancho variable entre 1,50 m a 2,50 m y profundidad operativa de 1 m. En esta situación se llega a un punto crítico de obra (localizada en las cercanías de la margen derecha de la quebrada citada), en donde los constructores tuvieron que minar la roca sólida para poder continuar con el canal. Este punto se encuentra a la cota de 1.590 m s.m., en un sector en que no existe la terraza superior del río Blanco.

El canal matriz supera la quebrada seca de Las Vizcachas y a unos 300 metros al sur de ésta se observa en el terreno una notable depresión que, a causa de la erosión por un lado y a la presencia de médanos invasores por el otro, no tiene bordes muy definidos. Esta depresión representa un cuenco amortiguador de energía. Aguas abajo de este cuenco se visualizan una serie de canales de todo orden que se disponen a diferentes cotas y se mantienen en forma casi continua hasta el C° Cuesta el Viento, por una longitud en el sentido norte sur superior a los 5 kilómetros. Esta área representa una zona ocupacional en donde se relacionan



Foto 4. Sistema Buena Esperanza-La Otra Banda 1. Canal matriz de alta velocidad; 2. Detalle de talud
Photo 4. Buena Esperanza-La Otra Banda system 1. High velocity matrix channel; 2. Detail of talus

campos de cultivos y sus redes de riego, localización de viviendas y corrales en un todo comparable al sector del sitio arqueológico de la aldea Angualasto. Este lugar es el que se denomina La Otra Banda, y donde la variedad constructiva de los canales (el 90% de los tipos de canal) permitió confeccionar la clasificación de los mismos y sus soluciones hidráulicas. Por desgracia, actualmente subsiste un 30% o menos de todo el sitio ya que la mayor parte del mismo se encuentra bajo el agua del embalse Cuesta del Viento. Antes de la operación del mencionado embalse se logró realizar un relevamiento detallado de campo con abundante documentación fotográfica que permite una escasa aproximación de lo que arqueológicamente fue esta zona (Foto 5). No se pudo establecer en la actualidad la cantidad de canales de segundo orden y sus regueras asociadas que existieron en esta extensa zona hasta tanto no se complete el análisis de los datos de campo. Se identifica en esta área un canal matriz de segundo orden, ejecutado en terraplén

mixto de rumbo noroeste-sureste al borde de las lomadas, que cumple la función de llevar el agua hasta el punto más lejano. En su trayecto cambia su sección transversal de trapecoide a tolva sobre terraplén mixto grande y artificial grande excavado rectangular, variando luego de atravesar el área de torrenteras a sección de tolva sobre terraplén artificial grande, en el extremo oeste de las lomadas. En este sector se destaca la presencia de una perturbación hidráulica (obra ejecutada para cumplir una función hidráulica específica) referida a una cámara desarenadora (Foto 6). Las dimensiones de esta obra son notables: longitud total conservada 12 m, ancho 2,50 m, profundidad 0,70 m, resalto de escalón 0,50 m. Acompaña por su lateral oeste un canal auxiliar de sección rectangular de dimensiones menores. También se visualizan, a partir del cuenco amortiguador de la quebrada de Las Vizcachas, tres ramos de segundo orden en forma aterrazada que alimentaba cada uno a su red subsidiaria de riego. Entre estos canales se disponían cante-



Foto 5. Sistema Buena Esperanza-La Otra Banda

1. Traza de canal matriz al norte de Quebrada de Las Vizcachas; 2. punto crítico de obra

Photo 5. Buena Esperanza-La Otra Banda system

1. Talus of the matrix channel north of Las Vizcachas gorge; 2. Critical point in the hydraulic structure

ros de cultivos en sitios localizados similares a los descritos para el sistema Angualasto, repitiéndose el modelo de uso de la tierra.

Según su forma, estos canales son definidos como especiales y están elaborados sobre grandes terraplenes artificiales. Su forma de construcción tendía a solucionar el problema del transporte de agua en áreas de médanos. Así es como se presentan casos de canales triples o dobles (Foto 7), que denotan un período prolongado de uso (en parte se «estratifican» dos o más niveles de canales sobre los cuales se producen recrecimiento de los terraplenes para construir el nuevo canal). Se observan soluciones mas sofisticadas para salvar el inconveniente de los médanos. Una de ellas era un excepcional canal de sección circular, ejecutado sobre un terraplén artificial con pié, estando tanto el canal como su pié cocinados para darles rigidez estructural (Foto 7). La función de este

canal (con un caudal transportado calculado en 0,300 m³/s) era de salvar lo mas rápidamente posible el área de médanos. Cabe acotar que la sección circular es la ideal para construir canales de alto rendimiento, pero también de muy difícil ejecución. Haciendo excepción del canal descrito, para los canales dispuestos en terrazas el método de impermeabilización utilizado era el de «empastado» con vegetales. Se estima esto por las características del fondo y laterales que presentan una notable paleobioturbación. Cabe aclarar que este método se usa todavía en forma mayoritaria en países con clima subtropical. Esta impermeabilización no es total, lo cual provoca infiltración por el fondo del canal, pudiendo producir migración de elementos finos o tubificación. Por este motivo construyeron un denominado ante fondo de materiales finos permeables, con estructura enmaderada, que actuaba como filtro estabilizador de la obra. El sistema finalizaba en cercanías de la vertiente occidental del Cerro Cuesta del Viento.



Foto 6. Sistema Buena Esperanza-La Otra Banda
1. Desarenador; 2. relictos de canales dobles
Photo 6. Buena Esperanza-La Otra Banda system
1. Sand remover; 2. Relicts of double channels



Foto 7. Sistema Buena Esperanza-La Otra Banda
 1. Canal matriz impermeabilizado; 2. canal matriz de 1° orden con terraplén
 Photo 7. Buena Esperanza-La Otra Banda system
 1. Impermeabilized matrix channel; 2. 1st order matrix channel with embankment

INGENIERÍA Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA BUENA ESPERANZA – LA OTRA BANDA

En lo que concierne a la reconstrucción de este sistema y a su modo de funcionamiento, a diferencia del sistema Angualasto, presenta una constancia en su traza en lo relativo a que es más rectilíneo, es decir, que se independiza de los accidentes naturales mediante soluciones hidráulicas. El mantener esta constancia facilita el diseño general de la obra y el manejo del fluido, preocupándose solamente del problema de la altura del pelo de agua, que está directamente relacionado a la diferencia de energía potencial entre el inicio y fin del sistema. El modo

de funcionamiento tiene características sobresalientes que definen al sistema de Buena Esperanza-La Otra Banda como un sistema integrado de riego de alto rendimiento (figura 9).

TRAMO LOS QUILLAY NORTE – ESTANCIA BUENA ESPERANZA

En el sector inicial el sistema es un canal matriz con escasas derivaciones de riego, ya que la presencia de tierras cultivables está restringida a pequeños potreros que se localizan frente a las localidades de Maliman de Arriba y de Abajo, caso de la zona de los Quillay. Prácticamente el canal actual (construido en la década de

1950) coincide su traza con la del canal arqueológico hasta la localidad de Buena Esperanza.

TRAMO BUENA ESPERANZA – CERROS COLORADOS

En este punto el canal matriz arqueológico se divide en al menos dos ramas principales. Un ramal, canal del bajo o del oeste, abastecía la mayor cantidad de tierra cultivables existente, mientras que el ramal superior (canal del alto) se comporta como canal matriz para trasladar agua a la Otra Banda.

La rama oeste no se conserva, pero su existencia se interpreta en forma indirecta mediante la presencia de innumerables trozos de cerámica Angualasto y herramientas agrícolas indígenas dispersos entre los campos de cultivos actuales, que surgen cuando se realizan tareas culturales de siembra. Se estima que este ramal, con sus canales menores y regueras asociadas, finalizaba en el extremo sur de Buena Esperanza.

El canal matriz, rama este, es el mejor conservado de toda el área considerada y también el que presenta las soluciones técnicas sobresalientes para poder transportar agua hasta la zona de la Otra Banda.

Desde la margen sur de la quebrada del Carrizal, y bordeando el contacto de las lomadas con la planicie, el canal matriz presenta una construcción muy regular elaborado en terraplén mixto con un talud (borde oeste del canal) constante a 45°. Que el talud del canal tenga 45° indica que les era posible construir un camino paralelo (existen testimonios) de servicio acompañando al canal. Esto es

coincidente con la técnica actual de construcciones que aconseja no usar taludes mayores de 45°, cuando éstos se ejecuten en terraplén artificial. La razón se debe a que si el talud del canal supera los 45° las dimensiones del terraplén serían notablemente mayores, ocupando mas superficie de tierras aptas, requiere mover mayor volumen de material y por consecuencia mayores inversiones de tiempo y costo. Con estas características se conserva hasta el sitio de Cerros Colorados.

TRAMO CERROS COLORADOS – QUEBRADA DE LAS VIZCACHAS

El paraje C° Colorados es una cerrillada abrupta compuesta por areniscas gruesas compactas y tenaces de color rojo del paleozoico superior. Por su ubicación tiende a estrechar la planicie fluvial del río Blanco.

Como el interés de los antiguos pobladores era trasladar el agua hacia la Otra Banda se les presentaba el problema de superar la mayor altura de l margen norte. Si elaboraban el canal matriz con cota inferior a 1.540 m s.m. (cota de la superficie de la terraza superior del río Blanco) les hubiera resultado imposible superar el escollo de la cota de 1.600 m de la margen norte de la quebrada de Las Vizcachas, que presenta, para agravar la situación, un denominado *punto crítico de obra*. Con cota superior a 1.600 m la topografía impide la construcción de un canal. Para solucionar el problema los constructores siguieron con la mayor aproximación (pero sin superar) la cota de 1.600 metros, que está representada físicamente por el contacto de rocas consolidadas de edad paleozoica y los terrenos aluviales del

cuaternario. Este sector es muy estrecho y de elevada pendiente por lo cual optaron por construir un canal donde uno de los taludes era la roca, en parte retocada, y al otro lo resolvieron en un talud vertical en rocas canteadas en paralelepípedos.

Es posible que este talud en los tiempos de uso permanente del acueducto se reforzara con un terraplén que cumplía con lo especificado anteriormente. El canal matriz se encuentra atarquinado y en parte sepultado parcialmente, razón por la cual se excavó un sector restringido a los fines de valorar la pendiente del fondo del conducto y sus condiciones de impermeabilidad, para los cálculos de caudal. En esta excavación se rescató cerámica Angualasto que fue depositada en el Museo Arqueológico. Con las características descritas el canal bordea toda esta cerrillada hasta llegar a una quebrada en donde se transforma posiblemente en un canal excavado de sección regular. En las cercanías del borde norte de la quebrada de las Vizcachas el canal matriz nuevamente bordea las lomadas, resolviéndose en un canal de sección compuesta en terraplén mixto, similar a lo descrito para el tramo inicial de este sistema.

TRAMO QUEBRADA DE LAS VIZCACHAS – CERRO CUESTA DEL VIENTO

Prácticamente la margen norte de la quebrada de Las Vizcachas se encuentra a la cota de 1.590 m s.m., en un sector en que no existe la terraza superior del río Blanco. Nuevamente, si utilizaban una cota menor no podían solucionar el paso de la quebrada de las Vizcachas (no existe lugar físico), y a una cota superior, es imposible su construcción hasta con métodos

modernos normales. El cortar la roca sólida de areniscas y lutitas verdes del paleozoico inferior les permitió seguir con la traza del canal por la margen norte de la quebrada, y continuar ésta en el sentido de «aguas arriba» de la quebrada hasta la cota aproximada de 1.580 m en donde cruzaban hacia la margen sur. Este punto y la traza del canal sobre la margen sur no existen en la actualidad, debido al carácter activo de esta quebrada (erosión hídrica múltiple) y que desde el punto de vista geomorfológico se encuentra en la etapa juvenil (no alcanzó su perfil de equilibrio) presentando saltos en su curso. El problema de solucionar estos inconvenientes implica conocer con exactitud (o con un mínimo de error) la denominada pendiente de proyecto (s) a fin de determinar las velocidades críticas del fluido, para que la misma no sea excesivamente alta (provoca erosión y desestabiliza el canal) o excesivamente lenta formando embanques que impidan la circulación del agua.

La pregunta obvia es cómo se pudo mensurar y ejecutar una traza técnicamente avanzada hace casi ochocientos años atrás? La repuesta abre una expectativa apasionante: Desde el punto de vista de la ingeniería, los constructores prehispánicos *necesariamente debieron medir*, ya que no es posible estimar groseramente las pendientes (y por lo tanto diferencias de alturas) para superar estos puntos críticos. Esto presupone que poseían alguna forma simple de instrumento para tal fin. Lo citado parece, en principio, una afirmación aventurada, pero ¿cómo se explica que los canales presenten una constancia en las pendientes (s) en un rango mayoritario de 0,01 al 0,03 %,

cuando las pendientes naturales en el sentido de la traza de los canales son del 6 al 10 %?. Este interrogante plantea una línea de investigación interesante desde el punto de vista de tratar de reconocer artefactos arqueológicos, que se podrían asociar a instrumentos de medidas, ya que el marco teórico de la geometría de los pequeños ángulos permite explicar una forma de medición sin tener conocimientos acabados de las ciencias matemáticas Ortlof (1981).

Superada la quebrada, este ramal desemboca en un cuenco amortiguador desde donde partían distintos ramales de primer a segundo orden a los fines de conformar el sistema para irrigar la Otra Banda. Uno de los canales principales ocupaba el extremo este de la zona y llegaba hasta las cercanías del C° Cuesta del Viento, en donde terminaba este sistema y presentaba la cámara aquietadora descripta.

Esta cámara desarenadora tenía la función de reducir la velocidad del agua para que sedimentaran los sólidos en suspensión. La presencia de esta obra especial se debe a que aguas abajo de la misma, a unos 100 m aproximadamente, se localiza una derivación o toma de agua en «punta de diamante» y la situación topográfica no era la más propicia. Si el agua llegaba con sedimentos a la toma, y la misma se encontraba en una posición tal que provocaba naturalmente una reducción de velocidades, producía el embanque haciendo peligrar la estabilidad. Realizando la decantación en la cámara, el fluido sin sedimentos también reducía su velocidad pero no depositaba, manteniendo limpio el canal. En la zona

de la toma se separaban dos ramales que convierten su sección transversal en tolva a oval, excavados en sedimentitas arcillosas compactas. El tramo inferior se desplazaba hacia el suroeste, irrigando las tierras de las terrazas media e inferior del río, y el ramal superior se adaptaba a la figura de la lomada superando otro punto crítico de obra. El canal lateral de la cámara aquietadora alimentaba a una red de canales con caudales suficientes para regar unas 250 ha. transportando el agua con sedimentos. No se pudo detectar si existía otra cámara de similares características asociada a este ramal. Por lo explicitado en los párrafos anteriores, en la actualidad se están analizando los datos del relevamiento detallado de campo, y los mismos permitirán ampliar el conocimiento sobre el modo de funcionamiento de este sistema en el paraje de La Otra Banda, además de conocer la forma de ocupación del espacio por parte de la cultura Angualasto para este sitio.

Edad de los Sistemas de Riego

En la etapa del relevamiento detallado de campo se realizó la recolección sistemática de cerámica asociada en forma inmediata a los canales. Los ejemplares coleccionados (por lo general fragmentos) se depositaron en el archivo del Museo de Cs. Naturales para su posterior estudio. A medida que se realizaba el trabajo de medición de los canales se mapeaba también la frecuencia y el sitio de colección de los restos cerámicos en una grilla geométrica poligonal no regular, exigiendo que el centro o al menos tres puntos de la figura geométrica pudiera ser perfectamente identificado en un fotograma aéreo o en el plano base utilizado

como guía del mapeo. La labor anterior se volcó en un plano de síntesis que muestra la distribución de los sitios con los tipos de cerámica mayoritarios (Fig. 11).

En términos generales el 90% de la cerámica recolectada es asignable a la cultura Angualasto (1.200 a 1.490 d.C), siguiéndoles las asignadas a la cultura Aguada (730 a 1.050 d.C., según Gambier, 2000) y muy sectorizada y escasa la perteneciente a la fase cultural Punta del Barro (Gambier, 1977). También se mapearon los sitios en donde existían estructuras arqueológicas (casas habitaciones y/o posibles corrales) pertenecientes a la Cultura Angualasto (Gambier, 2000). El resultado del mapeo permite plantear como hipótesis que el denominado sistema Angualasto pudo haber sido iniciado por grupos correspondiente a la cultura Aguada, por lo menos desde su origen hasta cercanías de Piedra Colgante (con dudas), siendo posteriormente aprovechados, perfeccionados y extendidos por los grupos conocidos como Angualasto. La base de esta hipótesis la constituye la interceptación de canales de riego que asignamos a la cultura Angualasto que cortan y sepultan a canales de menor capacidad y primitivos, excavados en terreno natural.

Para el caso del sistema Buena Esperanza-La Otra Banda ocurre una situación similar. Por un lado es mayoritaria la presencia de sitios Angualasto, pero los canales presentan un aspecto más perfeccionado con ciertas modificaciones técnicas constructivas que hacen sospechar la presencia de tecnologías aportadas por el Imperio Incaico.

Superficie Cultivada

En este apartado se realiza una comparación de la superficie cultivada en tiempos prehispánicos versus la superficie actual. Como punto de comparación se establece para la superficie actual la fecha de 1981 por la información disponible y considerando además que en los últimos veinte años la superficie total cultivada para el valle de Iglesia se mantiene constante y por debajo de las 4.000 ha. Como punto de partida de los cultivos prehispánicos se considera la época de la cultura Angualasto (1.200 a 1.490 d.C) ya que representa la máxima extensión de los sistemas de canales prehispánicos (Fig. 16). Como la investigación se centró en el valle inferior del río Blanco-Jáchal, desde el norte de la localidad de Malimán de Arriba hasta Rodeo, los balances a realizar a los fines de comparación recaerán en este sector principalmente. Para el manejo del recurso hídrico del valle de Iglesia, el Dpto. de Hidráulica de la Provincia de San Juan lo divide en distritos de riego, siendo las hectáreas empadronadas las siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Superficie empadronada por Distrito para el valle de Iglesia

Table 1. Area registered by District in the Iglesia valley

Distrito	Hectáreas Empadronadas
Iglesia	2010,13
Las Flores	758,63
Rodeo	2042,82
Tudcum	598,00
Angualasto	1426,4
Total	6836,01

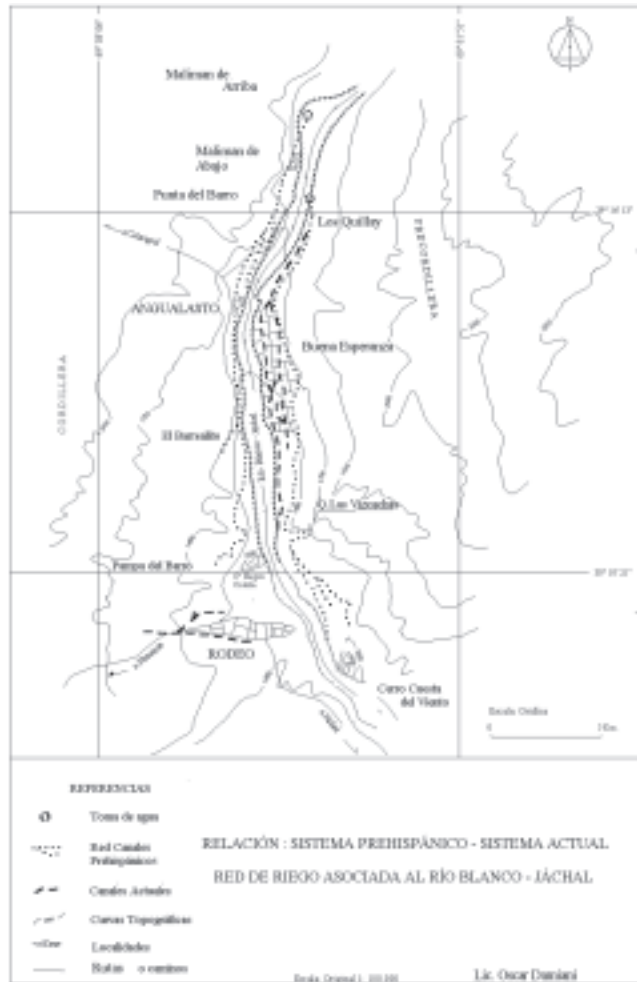


Figura 10. Relación sistema prehispánico-sistema actual y red de riego asociada al río Blanco-Jáchal
 Figure 10. Relation between prehispanic-modern systems and the irrigation net associated with the Blanco-Jáchal river

Se destaca que no coinciden los valores de empadronamiento con derecho a riego con las hectáreas realmente cultivadas. De acuerdo con las figuras 7, 10 y 11, el modelo actual de riego es el siguiente: Con agua del río Blanco-Jáchal se riega Malimán (de Arriba y de Abajo) por la margen derecha y Buena Esperanza y los

Quilley por la margen izquierda. El caudal a repartir a los usuarios depende del caudal aforado en Pachimoco (Jáchal) y de la aplicación del coeficiente de riego por hectárea empadronada, fijado para el valle de Iglesia. La localidad de Angualasto se riega exclusivamente con agua del manantial del Alto, y Rodeo lo

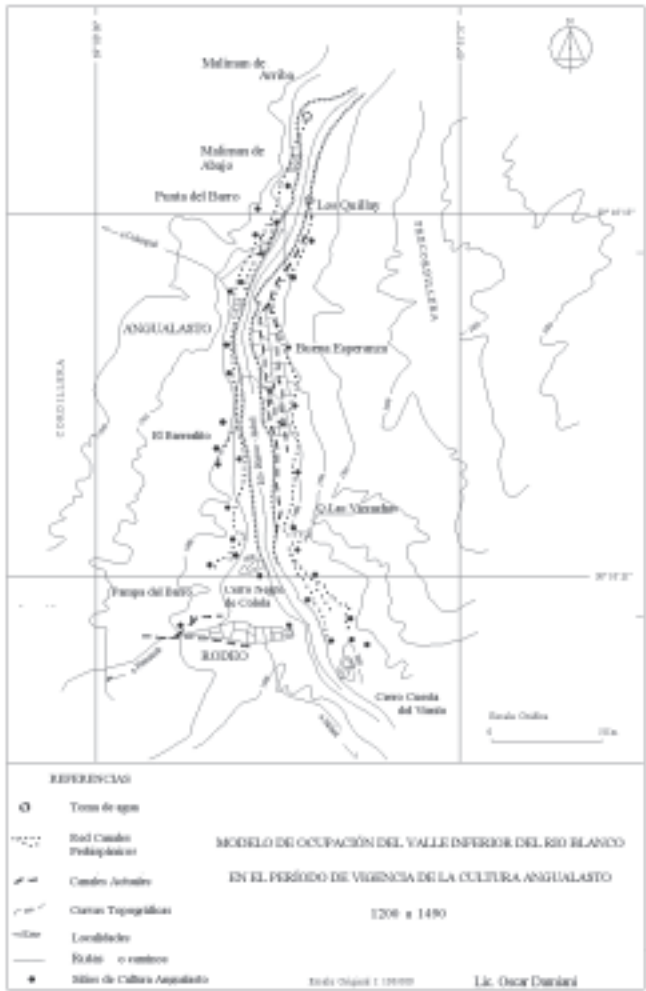


Figura 11. Modelos de funcionamiento
Figure 11. Hydraulic operational models

hace con el manantial de Rodeo y de los sistemas de canales que capta y distribuyen los arroyos de Agua Negra y Agua Blanca. El turno de riego se distribuye por turno horario, dependiendo en cada tramo de las hectáreas empadronadas y la fuente de origen.

Los agricultores de los grupos de la Cultura Angualasto regaban la margen derecha con el sistema denominado Sistema Angualasto y el mismo se extendía desde Malimán de Arriba e irrigaba esta localidad, Malimán de Abajo, Punta del Barro de Angualasto y Angualasto, haciendo uso también de los manantiales

del Alto y otros cercanos. Continuaba hacia el sur sirviendo las tierras comprendidas entre Angualasto y el cerro Negro de Colola, donde culminaba. En este punto utilizaban además la descarga de agua subterránea de Pampa del Barro, existente en la actualidad aunque menguadas. Por la margen izquierda se disponía el Sistema Buena Esperanza -La Otra Banda que tenía dominio de riego sobre las tierras del norte de Los Quillay, Buena Esperanza, Cerros Colorados y La Otra Banda, culminando al pie del cerro Cuesta del Viento.

A los efectos de acotar mas esta comparación o intento de balance, se sumaron las superficies cultivadas abastecidas por otras fuentes distintas al río Blanco-Jáchal (Rodeo; Angualasto, Los Chinguillos). Esto no es arbitrario sino que se debe a que en los sitios nombrados los testimonios

arqueológicos indican que las mismas tierras hoy cultivadas lo fueron también en la antigüedad. Estos testimonios están dados por los relictos de canales prehispánicos, que captaban aguas distintas a las del río

Tabla 2. Superficie regada por el río Blanco-Jachal en el año 1981

Table 2. Area irrigated by the Blanco-Jachal river, in 1981

Localidad	Hectáreas
Malimán de Arriba y Abajo	67
Buena Esperanza (incluye Los Quillay)	354
TOTAL	421
Regadas por manantiales y arroyos, año 1981	
Localidad	Hectareas
Rodeo	1010
Angualasto	63

Tabla 3. Superficie cultivada por la cultura Angualasto

Table 3. Area cultivated by the Angualasto culture

(Valle Inferior río Blanco-Jachal)

Localidad	Ha	Localidad	Ha
Maliman de Arriba	60	Latitud de Malimán de Arriba-Los Quillay	94
M. de Arriba-Angualasto	116	Los Quillay-Latitud de Angualasto	60
Angualasto	46	Buena Esperanza	258
Angualasto-El Refugio El Refugio-C° Negro	117	La Otra Banda	250
de Colola	58		
Rodeo	40		
Totales	659 Ha		662 Ha

total cultivado con registro arqueológico 659 + 662 = **1.321 hectáreas**

Tabla 4. Superficie Total cultivada asociada a manantiales y arroyos Cultura Angualasto
Table 4. Total cultivated area associated with streamflows and water courses, Angualasto culture

Localidad	Hectáreas
Rodeo (500)	500
Angualasto	63
Totales	563

Valor total arqueológico de tierras cultivadas $1321 + 563 = \mathbf{1.884 \text{ ha}}$

Jáchal, que se conservan a pesar del alto grado de antropización presente en los sitios con especial referencia a la localidad de Rodeo. La superficie cultivada para el área considerada, se discrimina de la siguiente manera (Tabla 2):

De esto que resulta una superficie total cultivada de 1.494 hectáreas.

Para la misma zona solamente se consideran los terrenos que se cultivaban en tiempos de la cultura Angualasto (no incluye las tierras cultivadas actuales, valor a sumarse para obtener el total) y que poseen testimonios arqueológicos (Tabla 3 y 4).

El valor de Rodeo (500) se obtiene sobre la base de testimonios arqueológicos indirectos (restos cerámicos en potreros actualmente cultivados, restos de conanas, herramientas agrícolas indígenas, interpretación de fotogramas aéreos e imágenes satelitales.) servidos por el arroyo de Rodeo. En este valor se incluyen 40 ha regadas por una fuente no identificada proveniente del oeste. No se considera lo abastecido en la actualidad por la canalización de arroyos cordilleranos.

Total General de tierras cultivadas por grupos de la cultura Angualasto en el valle inferior del río Blanco-Jáchal

ST(Sumatoria Total) = Suma de los cultivos actuales + Suma cultivos Arqueológicos

$$ST = 1494 + 1884 = 3.378 \text{ hectáreas}$$

El valor obtenido de por sí es notable ya que las tierras cultivadas por la cultura Angualasto (1.884 ha) en la actualidad no se utilizan por estar afectadas en su mayor extensión por una intensa erosión hídrica. Este valor de 3.378 ha representa casi el 50% del empadronado total actual del valle de Iglesia y se trata de un solo sector, lo que hace lícito suponer que a los fines de la Cultura Angualasto la cifra a obtener superaría ampliamente este valor, considerando sitios cultivados por esta cultura y con registro arqueológico en el valle de Iglesia, La Cañada, Las Flores, Bella Vista, Campanario, Zonda, etc. Si se extrapolan los valores a las localidades de Pachimoco, Jáchal, valle del Bermejo norte, Niquivil y Tucunuco por ejemplo, en donde existen pruebas arqueológicas relacionadas a la cultura Angualasto, el total para la provincia superaría las 15.000 hectáreas.

Determinada la superficie cultivada y calculados los caudales de los sistemas de canales prehispánicos, falta determinar la disponibilidad de agua en la actualidad para contrastar si los cálculos de caudal de los sistemas prehispánicos fueron correctos al tratar de establecer un modelo tentativo del manejo sistema suelo-riego por esta antigua cultura. El uso del recurso hídrico disponible referido a la actualidad abarca el mismo período que el

utilizado para el cálculo de la superficie cultivada moderna (año 1981), con las consideraciones descriptas en el inicio de este tema.

Caudales Promedios y Derrames Anuales

En la Tabla 5 se indican los caudales medio y los derrames anuales para el río Blanco-Jachal, para diciembre de 1981 y los calculados para los canales prehispánicos en la Tabla 6.

Si comparamos los valores de estas tablas, en especial la de los valores de mínima para los canales prehispánicos resulta que los caudales transportados por el sistema más antiguo son superiores al moderno, que además incluye otras fuentes. Como primera lectura se desprende que el sistema antiguo utilizaba mejor el recurso (concentraba el trabajo de mantenimiento y manejo del agua en una sola

zona) y abarcaba una mayor superficie cultivada.

Si se compara la totalidad de los derrames la situación es la siguiente:

Derrame actual (DA) (1981) = Sumatoria Río Blanco + Sumatoria de Arroyos y manantiales

$$DA = 23,13 + 50,39 = 73,49 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Derrame Antiguo (DAN) (cult. Angualasto) = Sumatoria Sistema Angualasto + Sumatoria B. Esperanza

$$DAN = 31,53 + 47,30 = 78,83 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Cabe acotar que no se utilizan para la última expresión los derrames del manantial de Rodeo y de Angualasto, con lo cual superaría estos valores. Podemos sintetizar que, a igualdad de fuentes y disponibilidades hídricas, los antiguos habitantes del valle tenían un mejor manejo del sistema suelo-riego con concentración de esfuerzos para mejor mantenimiento y manejo de los recursos hídricos

Tabla 5. Caudales promedio y derrames anuales para el río Blanco-Jachal

Table 5. Mean annual flow and overflow for the Blanco-Jachal river

Localidad	caudal promedio (m.3/s)	derrame (Hm.3/año)
Buena Esperanza	0,75	23,13
Para Manantiales y Arroyos		
Canal Agua Negra		
Rodeo	0,659	21,9
Canal Agua Blanca		
Rodeo	0,268	8,5
Canal Colola Centro y norte	0,243	7,66
Manantial Rodeo	0,368	11,63
Angualasto canal del Alto y Bajo (represa)	0,022	0,7
Total	2,363	50,39

Tabla 6. Caudales promedios y derrame de los canales Prehispánicos (calculados en base fórmula de Chezy-Manning)

Table 6. Mean flow and overflow for prehispanic channels (calculated according to the Chezy-Manning formula)

Nombre	Caudales (m.3/s)	derrame (Hm.3/año)
Sistema Angualsto		
caudal máximo probable	1,5	47,3
caudal mas probable	1	31,53
La Otra Banda		
caudal máximo probable	2	63,07
caudal mas probable	1,5	47,3
Total Máx. Prob. 3,5		Máx. Prob. 110,37
Mas Prob. 2,5		Mas Prob. 78,83

Tabla 7. Caudales y derrames calculados a una eficiencia del 60%
 Table 7. Flow and overflows calculated according to a water use efficiency of 60%

Sistema Angualasto	caudal (m ³ /s)	eficiencia 60%	Vol MaxProb (Hm. 3/año)	Eficiencia 60%
Max.Prob	1,5	0,9	47,3	28,38
Mas Prob	1	0,6	31,53	18,92
Sistema Buena Esperanza La Otra Banda				
Max. Prob.	2	1,2	47,3	28,3
Mas Prob.	1,5	0,9	47,3	20,3

Derrame total (60%) = Sistema Angualasto + Sistema B. Esperanza-La otra Banda

$DT_{(60\%)} = 18,92 + 28,38 = 47,30 \text{ Hm}^3/\text{año}$ (para probable) (1)

$DT_{(60\%)} = 28,38 + 37,84 = 66,22 \text{ Hm}^3/\text{año}$ (máximo probable) (2)

con el consecuente aumento de la superficie cultivada. Ahora bien, los valores consignados corresponden a los valores de base disponibles en cuanto a caudales y derrames existentes, pero a la hora de plantear los valores reales de consumo de agua deben considerarse factores que tienden a disminuir los valores calculados. Estos factores se pueden sintetizar en el concepto de la «eficiencia de riego», el cual implica conocer las pérdidas de canal por infiltración, evaporación, uso consuntivo de las plantas, pendientes del terreno de cultivo, variabilidad de las precipitaciones y otras variables menores. Un valor global para el valle de Iglesia estimado por la agencia INTA de Jáchal, indica que la eficiencia de riego es del 60 % por pérdidas en canales de riego (Tabla 7). En base de estos parámetros se puede calcular el volumen que se necesita para satisfacer el riego de las 3.370 hectáreas cultivadas por la cultura Angualasto y de manera directa comprobar si los cálculos realizados de los caudales de agua que transportaban los sistemas prehispánicos se ajustaban a la realidad. Como base de comparaciones

relacionables se toman los volúmenes necesarios que deben utilizarse en el oasis del valle de Tulum (haciendo la salvedad que la eficiencia de riego en esta región es del orden del 70 %), en donde la relación es que para cultivar 80.000 ha. es necesario disponer de un derrame de 1.400 hm³/año lo que representa un caudal equivalente de 45 m³/s.

Considerando estos valores y refiriéndolos en comparación a los del Valle de Tulum, el recurso de posibles hectáreas cultivadas resultaría:

Para (1), el valor obtenido es de **2702,8** hectáreas, valor menor en un 20% al obtenido por censo arqueológico (3378 ha.)

Para (2), el valor obtenido es de **3784** hectáreas, valor superior en un 12% al obtenido en censo arqueológico. También se puede calcular si son correctas las cifras obtenidas suponiendo que la totalidad de las hectáreas corresponden al cultivo de maíz, una planta de elevado uso consuntivo de agua. El ciclo agrícola del valle de Iglesia, por sus características climáticas, se restringe a 212 días que es el período libre de heladas, información

suministrada por la Agencia INTA de Jáchal, con un máximo de necesidad de agua entre fines de noviembre a marzo. Si tomamos el valor máximo total de requerimiento anual que para el valle es de $15790\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$, el valor resultante requerido para satisfacer el balance es de $53,33\text{ Hm}^3/\text{año}$ para las 3378 hectáreas. Como se observa el valor se sitúa muy cerca del promedio de la tendencia de máxima y de mínima.

CONCLUSIONES

En el Valle de Iglesia se determinó la existencia de dos sistemas de riego prehispánicos asociados a las márgenes izquierda y derecha del río Blanco–Jáchal. Al de la margen Izquierda se lo denominó Sistema Buena Esperanza-La Otra Banda y al de la derecha Sistema Angualasto. Ambos sistemas se alimentaban de los caudales del río Blanco y se relacionaban con un manejo del suelo y de los recursos hídricos diferente al uso en la actualidad, que esta asociado al de la utilización de manantiales y arroyos cordilleranos provenientes del oeste a excepción de la Estancia Buena Esperanza

A pesar de las perturbaciones que presentan los canales prehispánicos realizados en materiales deleznable (sometidos a constante procesos erosivos naturales y por parte de depredadores humanos -huaqueros), aún conservan sus pendientes originales, resultando por consecuencia que estas obras presentan una extraordinaria estabilidad.

Según los testimonios observables en la zona cercana a Piedra Colgante el sis-

tema Angualasto se habría iniciado en tiempos de la Cultura Aguada y habría sido continuado y perfeccionado en la época de desarrollo de la cultura Angualasto.

El Sistema Buena Esperanza–La Otra Banda, se considera una obra mas técnica por las soluciones hidráulicas que presenta respecto al Sistema Angualasto

Se demuestra que el manejo del agua y forma de cultivo en el pasado tuvo características extraordinarias en cuanto a los aspectos ingenieriles relativos a la construcción de canales que, haciendo abstracción de tiempo y disponibilidad del recurso hídrico, superan a sistemas de riego modernos existentes en las zonas áridas del noroeste argentino .A igualdad de fuentes y disponibilidades hídricas, los antiguos habitantes del valle tenían un mejor manejo del sistema suelo-riego con concentración de esfuerzos para mejor mantenimiento y manejo de los recursos hídricos con el consecuente aumento de la superficie cultivada

Según Gambier (2000) la cultura Angualasto era una sociedad dedicada a la agricultura y ganadería intensivas con fines comerciales, sin estratificación social ni control estatal; sin embargo, si tomamos como base este concepto, los trabajos de ejecución de los canales tendría que explicarse en la dirección de trabajos cooperativos. El problema mayor se presenta en cómo explicar el manejo de estos volúmenes de agua, que no puede ser cooperativo, sino que debe existir una dirección mas o menos centralizada para poder efectuar los repartos de agua en tiempo y forma precisa a los fines

de evitar colapso en el sistema hídrico, tanto en tiempo de abundancia hídrica como en tiempos de sequía. Basta solamente observar el plano de la figura 7, en donde se compara en forma parcial la superficie actual (1981) con la antigua para plantearse estas inquietudes.

Finalmente, estos estudios permiten realizar apreciaciones alternativas sobre el sistema social de los grupos "Angualastos"

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Mariano Gambier por sus consejos y lectura del primer manuscrito. A los Lic. Víctor H. Sánchez e Ing. G. Salvioli, por sus comentarios y apoyo en las tareas de campo. A mi esposa, hijas y alumnas, por la ayuda en las tareas de campaña. A la Lic. C. Fiorenza, por los dibujos de las figuras. A los Drs. Eduardo Martínez Carretero y Alejandro García por la lectura crítica del trabajo y sus consejos

BIBLIOGRAFÍA

DEBENEDETTI, S., 1917. Investigaciones Arqueológicas de los Valles preandinos de la provincia de San Juan. Facultad de Filosofía y Letras. Publicaciones de la Sección Antopología N° 15 . Buenos Aires. 184pp.

GAMBIER, M., 1998. La Fase Cultural Punta del Barro Instituto de Investigaciones Arqueológicas y Museo. UNSJ. 197 pp.

GAMBIER, M., 2000. Prehistoria de San Juan. 2ª edición. Ansilta (Ed.), 83 pp.

ORTLOF, C.R., 1981. Ingeniería Hidráulica Chimú. La tecnología en el Mundo Andino. Instituto de Investigaciones Antropológicas-Universidad Nacional Autónoma de México. 1: 114-115.

RAFFINO, R.A., 1975. Potencial Ecológico y Modelos Económicos en el Noroeste Argentino. Relaciones (Nueva Serie). Sociedad Argentina de Antropología. 9: 25-26 Buenos Aires.

SALVIOLI, G., 1997. Caracterización climática para las áreas Pasma de San Juan, San Luis, Mendoza, La Rioja, Catamarca y Salta. Cóndor Consultores. San Juan. Informe inédito.

TRUEBA, S.C., 1974. Hidráulica. (Ed) C.E.C.S.A. México, 451 pp.

ZAMBRANO, J. y O. DAMIANI, 1992. Investigación Hidrogeológica en el Área Cuesta del Viento, departamento Iglesia. Acuerdo Operativo CRAS-SER, San Juan. Documento Interno 179, CRAS.

ZDENÉK, K., 1971. Geology of Recent Sediments. Central Geological Survey. Praga. 547 pp

Recibido: 8/2002

Aceptado: 11/2002