

## LOS PRIMEROS DIQUES DE CÓRDOBA, ARGENTINA: LOS TAJAMARES JESUITAS

### THE OLDEST DAMS OF CORDOBA, ARGENTINA: THE JESUITS' "TAJAMARES"

Santiago Reyna\*, Teresa Reyna\* y María Lábaque\*

#### Resumen:

La Compañía de Jesús es una orden religiosa que se implantó en la Ciudad de Córdoba, Argentina, cerca a su fundación en 1573, estableciendo un sistema cultural-social único que marcó el desarrollo de la provincia. Los jesuitas produjeron importantes aportes a las ciencias, la tecnología y las artes, construyendo sistemas hidráulicos para el riego de las tierras de cultivo y el aprovechamiento de la potencia hidráulica. En las Estancias Jesuíticas de Córdoba: Caroya (1616), Alta Gracia (1622), Santa Catalina (1643) y La Candelaria (1683) se construyeron diques artificiales denominados "Tajamares", constituyendo los embalses artificiales más antiguos de la Provincia de Córdoba. Los Tajamares fueron diseñados para optimizar el aprovechamiento de los recursos hídricos locales. Todos se conservan; algunos de ellos continúan hoy en funcionamiento conservando las funciones para las que fueron creados; otros cambiaron sus fines o se encuentran actualmente fuera de uso, pero todos los diques se mantienen en pie. El cuidado de estas estructuras hidráulicas requiere de estudios para establecer el estado actual y asegurar el funcionamiento correcto de los embalses. Las obras hidráulicas que realizaron los jesuitas se integran aún hoy al ambiente natural generando mínimos impactos. Es probable que esto haya sido consecuencia de la conjunción de dos factores: la visión utópica de los emprendimientos de las Estancias (pertenecientes al proyecto jesuítico encarnado en las misiones) que llevaba a tener como principio la armonía en todo aspecto, y razones más prácticas emanadas de las experiencias previas en la construcción de obras hidráulicas, que llevaban a no actuar sobre el ambiente más de lo estrictamente necesario si se pretendía que la obra se mantuviera en el tiempo y fuera lo más económica posible. Lo descrito es el punto de partida para planificar medidas que aseguren su preservación, recuperación y conservación. Por otro lado, la declaración de la UNESCO recomienda "realizar esfuerzos adicionales para la identificación y la conservación de los sistemas hidráulicos dentro de las áreas nominadas como patrimonio". Con este objetivo se realizaron estudios para la conservación y recuperación de los sistemas hidráulicos de cuatro estancias: Caroya, La Candelaria, Santa Catalina y Alta Gracia. Se determinaron las características hidrológicas e hidráulicas y se realizaron los estudios batimétricos y topográficos. Los cálculos de estabilidad de los cierres. Se compararon estos Tajamares con antecedentes en Asia y Europa. En este artículo se presentan los estudios y relevamientos realizados para comprender su funcionamiento y las recomendaciones surgidas de los estudios realizados tendientes a su resguardo, protección y conservación, tanto desde el punto de vista hidráulico y estructural, como patrimonial.

**Palabras claves:** diseños, hidráulicos, sistemas, patrimonio, presas, antiguas, estructuras, ambiente

#### Abstract:

The Society of Jesus is a religious order that set in the city of Córdoba, Argentina, close to its founding in 1573, establishing a unique social-cultural system that marked the development of the province. The Jesuits were major contributors to science, technology and the arts, building water systems for the irrigation of agricultural land and the use of hydraulic power. In Córdoba's Jesuit "Estancias": Caroya (1616), Alta Gracia (1622), Santa Catalina (1643) and La Candelaria (1683), artificial dams were built called "Tajamares", constituting the oldest artificial reservoirs in the province of Córdoba. The reservoirs were designed to optimize the use of local water resources. All are preserved, some of them still operate today keeping the functions for which they were created, others changed their purpose or are currently out of use, but all the dams are still standing. The care of these hydraulic structures requires studies to establish the current status and ensure proper operation of the reservoirs. These hydraulic works made by the Jesuits are integrated into the natural environment generating minimal impacts. It is likely that this was due to the combination of two factors: the utopian vision of the enterprises of the "Estancias" (belonging to the project embodied in the Jesuit missions) that had to have the principle of harmony in every aspect, and more practical reasons arising from previous experiences in the construction of water works, leading to never acting on the environment more than was necessary, to maintain the infrastructure over time and to be as economical as possible. What has been described is the starting point for planning measures to ensure their preservation, restoration and conservation. Furthermore, the UNESCO Declaration recommends "additional efforts to identify and conserve water systems within the areas nominated as heritage." With this objective, studies were conducted for the conservation and recovery of the hydraulic systems of four "Estancias": Caroya, La Candelaria, Santa Catalina and Alta Gracia. Hydrological and hydraulic characteristics were determined and bathymetric and topographic studies were conducted. Structural analysis of the dams were performed. We compared these "Tajamares" with similar ones in Asia and Europe. This paper presents the studies and surveys conducted to understand how they work, and the recommendations arising from the analysis aimed at their care, protection and conservation, from the hydraulic and structural, as well as heritage point of views.

**Keywords:** hydraulic, design, heritage, water system, dams, ancient, structures, environment

\* Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. santiagoreyna@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

La Compañía de Jesús fue fundada por San Ignacio de Loyola en 1540, sus miembros son conocidos como jesuitas. Esta orden ocupó un lugar de importancia en la colonia española que hoy es Argentina. Se implantó en la Ciudad de Córdoba poco después de su fundación en 1573. En 1773 fueron expulsados de los territorios españoles en América por un Decreto del Rey de España, Carlos III. En este lapso, la Compañía de Jesús estableció un sistema cultural-social único en la América Hispana que marcó el desarrollo de la actual provincia de Córdoba. El sistema se organizó alrededor de las empresas educativas y espirituales de la Compañía, dando origen al Colegio Máximo en 1610, a la Universidad (hoy, Universidad Nacional de Córdoba) en 1613, al Colegio Convictorio de Nuestra Señora de Monserrat en 1687 y al Noviciado, que se conocen hoy como “Manzana Jesuítica”, declarada por la UNESCO, Patrimonio de la Humanidad en 2000.

Para que esto fuera posible, necesitaban un sustento económico propio. Con ese fin formaron Estancias entre el siglo XVII y principios del XVIII. En 1616 y 1618 surgieron las dos primeras: Caroya y Jesús María. Luego se incorporaron Alta Gracia (1622) y Santa Catalina (1643). Más tarde, La Candelaria (1683). Las estancias jesuíticas eran grandes establecimientos agro-ganaderos destinados a sostener económicamente la tarea que se desarrollaba en la Manzana Jesuítica. También contaban con obrajes para trabajos de carpintería, herrería, curtiembre y tejidos, jabonerías y panaderías, hornos de cal y ladrillos.

Los jesuitas produjeron importantes aportes a las ciencias, la tecnología y las artes. Además, construyeron novedosos sistemas hidráulicos para el riego de las tierras de cultivo y el aprovechamiento de la potencia hidráulica, así como también iniciaron el uso de la cal nativa en la construcción. Los sistemas hidráulicos estaban compuestos por diversas estructuras entre las que se destacaba el Tajamar o presa de embalse.

Los Tajamares jesuíticos forman parte de los diques más antiguos de Latinoamérica y son los más antiguos de la Provincia de Córdoba. Todos se conservan; algunos de ellos continúan hoy en funcionamiento manteniendo las funciones para los que fueron creados, otros cambiaron sus fines o se encuentran actualmente fuera de uso, pero todos se mantienen en pie y en condiciones de ser puestos nuevamente en funcionamiento con un mínimo de reparaciones.

Su empresa estuvo fundada en conocimientos y tecnologías que hicieron que estas obras, durante siglos abandonadas a su suerte, perduraran hasta nuestros días. Obras que se proyectaron sin cálculos, sin conocimientos formales de geotecnia, estructuras o hidrología se mantienen erguidas frente a otras, más modernas, que aun con la aplicación de nuevas tecnologías sólo dejaron algunos vestigios que terminarán por desaparecer en el tiempo. En este sentido

constituyen “Bienes Culturales”, los cuales son objetos de conocimiento y válidos de ser conservados ya que son representativos en la historia y en la evolución social, cultural, tecnológica, urbana y arquitectónica de un grupo humano, por otra parte integran las manifestaciones y testimonios significativos de la actividad humana. (García Montaña, 2004).

El cuidado de las estructuras hidráulicas requiere de estudios para establecer el estado actual y asegurar el funcionamiento de estos embalses. Este es el punto de partida para planificar medidas que aseguren su preservación, recuperación y conservación. Por otro lado, la declaración de la UNESCO recomienda “realizar esfuerzos adicionales para la identificación y la conservación de los sistemas hidráulicos dentro de las áreas nominadas como patrimonio”.

Con este objetivo se realizaron estudios para la conservación y recuperación de los sistemas hidráulicos de cuatro estancias: Caroya, La Candelaria, Santa Catalina y Alta Gracia.

Se determinaron las características hidrológicas e hidráulicas, se realizaron los estudios batimétricos y topográficos. Se caracterizaron los sistemas hidráulicos y se realizaron los cálculos de estabilidad de los cierres. Se compararon estos Tajamares con antecedentes en Asia y Europa.

### Caracterización del Ambiente

La zona geográfica donde se asentaron las estancias jesuíticas corresponde a las Sierras Pampeanas. Son antiguas y de poca altura. La zona serrana está caracterizada por una gran abundancia de ríos, arroyos y vertientes. Estos cauces presentan en su mayoría recorridos en dirección oeste-este presentando máximos caudales durante el verano, con crecidas violentas e inesperadas tras las lluvias.

Con respecto a las características climáticas en la zona, las lluvias son abundantes desde mediada la primavera hasta mediado el otoño; el semestre frío, en cambio, acusa escasas precipitaciones. Las precipitaciones medias anuales van desde los 600 a 900 milímetros.

La evapotranspiración potencial en la región de la Provincia de Córdoba fluctúa entre los 880 y los 1080 milímetros anuales.

### Los Sistemas Hidráulicos de las Estancias

Debido al déficit hídrico de la zona, las primeras obras de los jesuitas dentro de las estancias fueron de ingeniería hidráulica. Sus sistemas hidráulicos tenían por finalidad el suministro de agua para riego de sus campos y huertas y suministro de energía para el movimiento de sus molinos y batanes. Dentro de la estancia, el agua era utilizada para uso doméstico y cumplía además la función de recolección de aguas servidas.

La propuesta de establecer embalses, no sobre los cauces, sino en derivación, lejos de los ríos y reali-

zar la alimentación de estos espejos de agua sólo a través de obras de toma y canales de conducción, resolvía el problema de las crecidas violentas e inesperadas que caracterizan a los cauces de la zona. Esta elección les permitió a estas obras no sólo sub-

sistir en sus días de producción sino perdurar hasta nuestros días.

Un resumen de los tajamares estudiados se presenta en la Tabla 1.

**Tabla1. Resumen de las principales características de los embalses**

	<b>Año de construcción</b>	<b>Altura del cierre (m)</b>	<b>Volumen del embalse (m³)</b>	<b>Superficie del espejo (Ha)</b>
<b>Santa Catalina</b>	1622	8,40	57000	6,71
<b>Alta Gracia</b>	1643	5,00	29500	2,53
<b>Colonia Caroya</b>	1616	2,20	4500	0,50
<b>La Candelaria</b>	1683	2,20	5500	0,50

En general se pueden dividir en dos grupos de acuerdo a la magnitud de las obras de cierre y el tamaño de sus embalses. Los Tajamares de Santa Catalina y Alta Gracia tienen magnitudes de los embalses y dimensiones de los cierres similares entre sí; lo mismo ocurre entre los Tajamares de Caroya y La Candelaria. Otra similitud se presenta en que las dos primeras se encuentran actualmente con sus espejos de agua y los últimos dos (quizás debido a sus escasas dimensiones) se encuentran vacíos. Además todos los cierres fueron construidos con mortero de cal y cantos y materiales sueltos para relleno.

A continuación se describe el estado actual de las Estancias y sus sistemas hidráulicos.

**Estancia Santa Catalina (1622)**

La Estancia y su Tajamar siguen rodeados de un paraje de tipo rural, con zonas de campos y casas de veraneo, pero su imagen se mantiene intacta. El sistema de toma, alimentación por canales y descarga sigue funcionando aunque ha experimentado algunos problemas de derrumbes al igual que el muro que en a principios del año 2003 presentó problemas, encontrándose puntos con hundimientos. Se le realizaron tareas para su recuperación. Un esquema de distribución de la Estancia se observa en la figura 1. En la figura 2 se observa una vista del Tajamar de Santa Catalina.

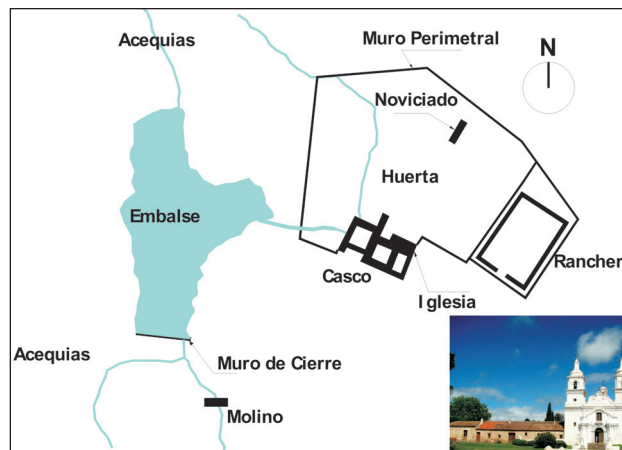


Figura 1. Esquema de distribución de la Estancia Santa Catalina



Figura 2: Vista del Tajamar Santa Catalina

### Estancia Alta Gracia (1643)

La estancia y su Tajamar dieron origen a la actual Ciudad de Alta Gracia. El sistema hidráulico de alimentación y el de descarga han desaparecido bajo la trama urbana, pero el Tajamar sigue con su espejo y le confiere a la Ciudad una imagen única con la que es reconocida en todo el país. El suministro de agua al embalse se realiza actualmente por un conducto de PVC de 110 mm de diámetro que toma agua del acueducto que alimenta la planta de potabilización de la Ciudad de Alta Gracia. Este embalse sufrió una serie de transformaciones en la primera mitad del siglo XX: se disminuyó su cota original y su perilago se parquizó con fines de recreación que aún hoy se mantiene. Además, en el año 1938, en el extremo sudeste del embalse se demolió una parte del muro de cierre original para construir una explanada y sobre este un "Reloj Público" como monumento a los 350 años de la ciudad. En la figura 3 se observa la disposición de las estructuras y la ubicación del reloj.

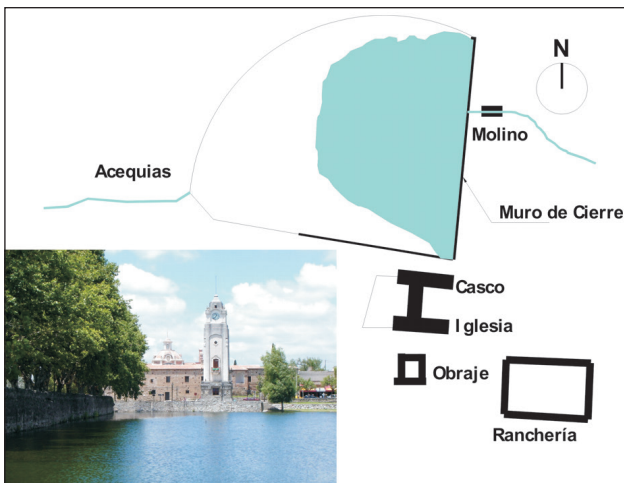


Figura 3: Ubicación de las estructuras principales de la Estancia de Alta Gracia.

Sobre el coronamiento del cierre se encuentra construida una calle asfaltada con tránsito vehicular importante; y su espaldón es un relleno de material suelto en terraplén. La calle se encuentra sostenida por una viga que corre paralela al muro de cierre en toda su extensión y puntales cada seis metros. En el terraplén se encuentra: una zona de gradas de hormigón, un edificio, tolvas de hormigón, los restos del Molino del Tajamar y viviendas privadas. La disposición en planta de estos elementos se observa en esquema de la figura 4.

La cara de aguas arriba del cierre original respondería a las siguientes características: muro de lajones planos bien acomodados unidos con mortero de cal de pequeñas juntas; es de un ancho de sección de aproximadamente 1 m; sobre el mismo se observa un recrecimiento del muro con características muy diferentes a las anteriores: piedras de gran tamaño y juntas de mayores dimensiones que las anteriores y de un ancho de sección menor (0,80 m). En la zona del muro, aproximadamente entre el molino y la tolva de hormigón, este recrecimiento se encuentra destruido (Figura N° 5).



Figura 5: Zona del muro principal con el recrecimiento destruido.

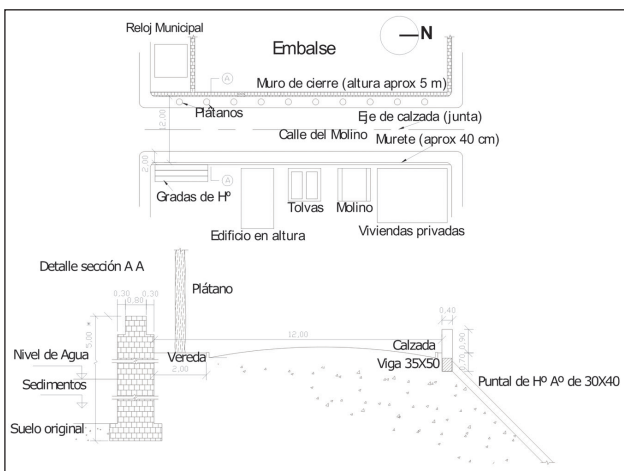


Figura 4. Ubicación de las estructuras en la zona del muro



Figura 6: Encuentro entre el muro nuevo y el original en la zona aledaña al reloj.

Según los registros de la Municipalidad de Alta Gracia, el muro original fue destruido en la zona próxima a la estancia (una parte del cierre perpendicular y un cierre lateral) y se construyó uno nuevo con el objeto de disminuir el área ocupada por el embalse (ver figura N° 6)

El muro de cierre ha presentado problemas de filtraciones y desmoronamiento y es aún motivo de monitoreo y reparaciones menores. También se presentaron grietas sobre el pavimento de la calle. La dirección de las mismas son en sentido longitudinal y en la dirección de la calzada. Se realizaron estudios para determinar el grado de estabilidad a la que se encuentra actualmente.

### Estancia de Caroya (1616)

En sus cercanías se asienta actualmente la Ciudad de Colonia Caroya. La Estancia con el paso de los tiempos fue utilizada para diversos fines como el de fábrica de armas blancas (tiempo durante el cual se utilizaba el agua del Tajamar para la fragua) y hospedaje de inmigrantes. En la actualidad su tajamar se encuentra en buenas condiciones, pero vacío. Sus canales de ingreso y evacuación han desaparecido y no se conoce con exactitud cuál era el sitio de la obra de toma original. Algunos historiadores definieron sitios que, luego de los estudios topográficos y análisis hidrológicos se debieron descartar.

Un esquema de distribución de la Estancia se observa en la figura 7.

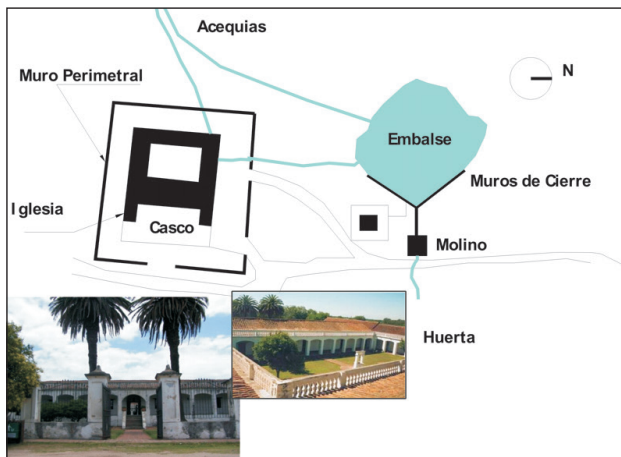


Figura 7. Esquema de distribución de la Estancia Caroya

### Estancia de La Candelaria (1683)

Esta estancia está asentada en un paraje inhóspito de las sierras de Córdoba. Aún hoy el acceso a la misma es dificultoso. Su sistema hidráulico está desaparecido o destruido (exceptuando la presa). No se conoce con exactitud el sitio de la obra de toma, pero aún se conserva una parte importante de los muros del tajamar.

Un esquema de distribución de la Estancia se observa en la figura 8.

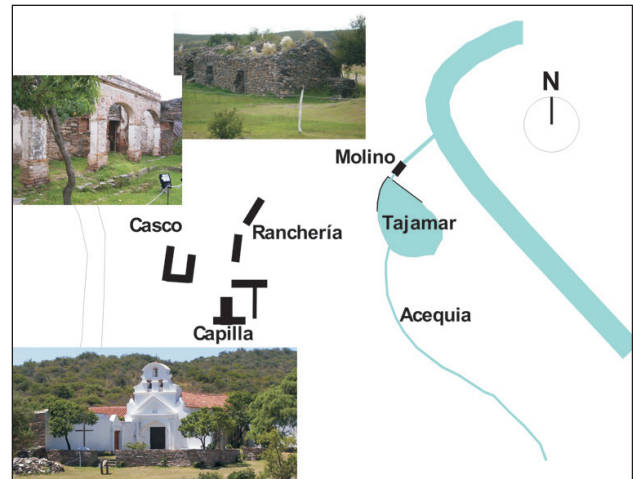


Figura 8. Esquema de distribución de la Estancia de La Candelaria

La figura 9 muestra la zona de implantación de la Estancia La Candelaria



Figura 9. Zona de implantación de la Estancia La Candelaria

Se describen, analizan y comparan en los puntos siguientes los distintos elementos que conformaban los sistemas hidráulicos para cada una de las estancias.

### Obras de captación

Para la optimización y el aprovechamiento del recurso hídrico, los jesuitas construyeron muros para derivación sobre los cauces. Las ubicaciones elegidas eran secciones de control naturales en zonas de cotas dominantes, con lechos rocosos aflorantes (que le daban estabilidad e impermeabilidad al cierre) sobre los que se asentaban los muros.

Estos diques se levantaban con piedras asentadas con mortero de cal y daban origen a un sistema de represas que finalmente descargaban en un canal o acequia que llevaba agua hasta los tajamares. Estas obras constituían auténticas presas de derivación.

Para el caso de la obra de Santa Catalina, el sistema nace en una toma ubicada hacia el oeste de la Estancia a unos 5 km sobre el Río Simpjis (o Santa Catalina). Allí se construyó un azud nivelador con dos cierres que aún hoy se conservan (figura 10). La obra de toma se encontraba regulada por una compuerta rectangular.



Figura 10. Vista del azud y sus dos cierres. La obra de toma se encuentra en el extremo derecho del muro de cierre construido sobre margen derecha

En la Estancia Alta Gracia, el sistema nacía en una toma ubicada sobre el río Los Paredones. Allí se construyó un dique de contención conocido como 1° Paredón que se conserva en buenas condiciones. Aguas arriba de éste se ubica otro muro de proporciones importantes, con un ancho y doble muro de piedra; se cree que esta obra está inconclusa y se la conoce como 2° Paredón. Actualmente no quedan vestigios del canal derivador. Tampoco quedaron vestigios de las obras de captación de los Tajamares de las Estancias La Candelaria y de Caroya.

### Sistemas de acequias

En lo referente a los canales y obras de conducción en general, con muy buen criterio los cambios de régimen hidráulico se realizaban en estructuras revestidas, se conducía el agua fundamentalmente en régimen subcrítico, y los tramos supercríticos, o rápidas, eran cortos y también revestidos. Los canales principales se llevaban con la mínima pendiente necesaria para garantizar dominancia para riego sobre la mayor superficie posible.

El sistema más importante estudiado correspondía al de la Estancia Santa Catalina; desde el azud, el agua es conducida por medio de una acequia de media ladera que luego se divide en dos. Sortean en su recorrido de 7 km accidentes de relieve por medio de

conductos subterráneos de dimensiones importantes (verdaderas obras de arte) y alternan en todo su trayecto tramos a cielo abierto con otros subterráneos, con soleras revestidas con mampuestos de roca del lugar o ladrillos de fábrica, laterales y cierre superior de mampostería o mediante túneles excavados en roca (figura 11). Están deteriorados sólo en algunos tramos, pero en gran medida funcionando (Reyna et al., 2005).



Figura 11. Vista de un tramo de acequia abovedada y revestida.

En la Estancia de Alta Gracia, desde la obra de toma ubicada en Los Paredones, el agua era conducida por medio de una acequia no revestida, desde la cual se regaba también la huerta. En la actualidad esta acequia casi ha desaparecido debido al crecimiento de la ciudad, quedando sólo algunos vestigios de su paso. Quedan también restos aislados de las obras de toma y conducción para los Tajamares de las Estancias La Candelaria y de Caroya.

### Los Embalses

El principal aspecto que se destaca en estos Tajamares es que todas las obras son "laterales", es decir no embalsan sobre el cauce del río sino que lo hacen en vasos alejados, alimentados a través de una derivación. Esta manera de embalsar les permitía resolver el problema de seguridad de la presa (garantizando la permanencia de la obra) que se presentaba con la ocurrencia de grandes avenidas, por lo que no necesitaban estructuras de descarga de importancia para dar seguridad a la obra contra el rebasamiento. La elección de embalses laterales tenía también la ventaja de no actuar como barrera sobre el cauce, evitando generar deposición de sedimentos en el embalse con su consecuente disminución del volumen útil.

Respecto a la seguridad, las obras de almacenamiento de envergadura no están aguas arriba de las construcciones de valor y poblaciones, sino que están aguas abajo, lo que limitaría los daños en caso de falla.

## Los Muros de Cierre

Al igual que las presas derivadoras, los muros de los cierres se realizaron todos sobre la roca aflorante, solucionando el problema de filtraciones y subpresiones. Los conductos de descarga profunda de las presas (descargadores de fondo) estaban apoyados directamente sobre la roca de fundación, esto evitaba posibles roturas con daños a la presa.

De un estudio preliminar, fue posible distinguir en los muros de cierres de las estancias dos tipos de diseño:

- Un muro de piedra con mortero de cal con terraplén de sostenimiento aguas abajo: este cierre se observaba en los Tajamares de Caroya, La Candelaria (y se pensaba originariamente que era también el caso de Alta Gracia). Las dos primeras son presas de pequeñas dimensiones.
- Dos muros de piedra paralelos con mortero de cal, y suelo compactado entre ellos que se observaba en el cierre de Santa Catalina. Ésta demostró también ser la tipología seguida para la presa de Alta Gracia (descubierto luego de excavaciones realizadas al efecto).

Teniendo en cuenta las fechas de la construcción de los tajamares, se buscaron antecedentes a fin de poder plantear análisis estructurales de los muros de cierre de las Estancias. De los antecedentes estudiados, se encuentra que las más representativas que pueden haber influido en el diseño encontrado en los muros de las mencionadas estancias, son algunas presas de origen árabe y otras de origen español post medievales.

En lo constructivo, se destaca el cuidado seguido de las reglas del buen arte del oficio. Esto garantizaba que los diseños sobre base empírica tuvieran respuesta similar a los ejemplos sobre los cuales se basaban.

### Primer Grupo

El primer grupo formado por los cierres de las Estancias de Caroya y La Candelaria (cierres más chicos).

Los antecedentes más representativos son las del origen romano que consistían en un muro de retención con un espaldón de tierras aguas abajo. En algunos casos, a fin de evitar la rotura del muro, se le daba gran dimensión y era escalonado hacia aguas abajo, o en el caso de ser de escasa dimensión, se agregaban contrafuertes del lado de aguas arriba, para evitar la rotura bajo el empuje del terraplén cuando se encontraba con la condición de embalse vacío (Schnitter, 2000). Ejemplos de cierres con características similares son los cierre de presa de Ternavaso (año 1600) y Granjilla 2 (año 1560).

También se llevó a cabo el análisis de estabilidad de los muros de cierre de ambas Estancias considerando la geometría que presentan. Se determinaron

posibles mecanismos de falla y establecieron características de los materiales. Para ello se determinaron los límites de plasticidad, granulometrías, consistencia, impermeabilidad, estabilidad en el tiempo (Reyna et al., 2005). Los resultados mostraron que las estructuras verifican a la estabilidad, con y sin embalse.

El cierre del Tajamar de Alta Gracia no verificó estabilidad bajo estas condiciones, lo que implicaba que existían elementos estructurales no considerados (lo que llevó a considerar la posible existencia del muro paralelo de aguas abajo).

### Segundo Grupo

En el segundo grupo se encuentran los cierres de las Estancias de Santa Catalina y Alta Gracia (según luego se demostró), el primero de dimensiones más importantes, cuyos diseños de cierre responden al tipo de la presa de Thalba (Siglo VII), Arquis (1704) y Carom (1766) (Smith, 1992). Son presas del tipo de gravedad, con dos muros exteriores de mampostería en seco y un núcleo de tierra entre ellas (figura 12). En estos cierres la impermeabilidad estaba dado por el muro aguas arriba. La capacidad de oponerse al empuje hidrostático la realizaban en conjunto los dos muros y el material del relleno.

Este grupo sigue el diseño empleado por las de origen árabe. De las mencionadas, la que más responde es la presa de Thalba construida cerca de La Meca en Arabia Saudí en el siglo VII.

El desconocimiento de la interacción de materiales con características estructurales y reológicas muy diferentes (como los suelos de relleno, enrocados y muros de cal y canto) llevó a problemas en el tiempo, con deformaciones distintas para los distintos materiales, lo que implicó sobrecargas sobre los más rígidos y hoquedades sobre los materiales sueltos. Los problemas asociados al uso de materiales muy diferentes en la construcción interactuando inadecuadamente fueron en el pasado, como en el presente, de difícil predicción y prevención.

En los puntos siguientes se presenta un análisis de las características de los cierre de las Estancias Santa Catalina y Alta Gracia.

### Santa Catalina

El cierre es un dique de gravedad compuesto de dos paramentos verticales de mampostería de piedra de 8,40 m de altura máxima en la cara seca; de aproximadamente 60 cm de espesor cada uno y separados unos 5,4 m., con contrafuertes sobre la cara seca. Entre ellos tiene un relleno de suelo del lugar compactado. La longitud del coronamiento es de 86,5 m. La superficie es de 6,7 Ha y su volumen es de 57000 m<sup>3</sup>.

A principios del año 2003 se presentaron problemas con el material suelto de relleno que existe entre los paramentos de aguas arriba y abajo. En particular,

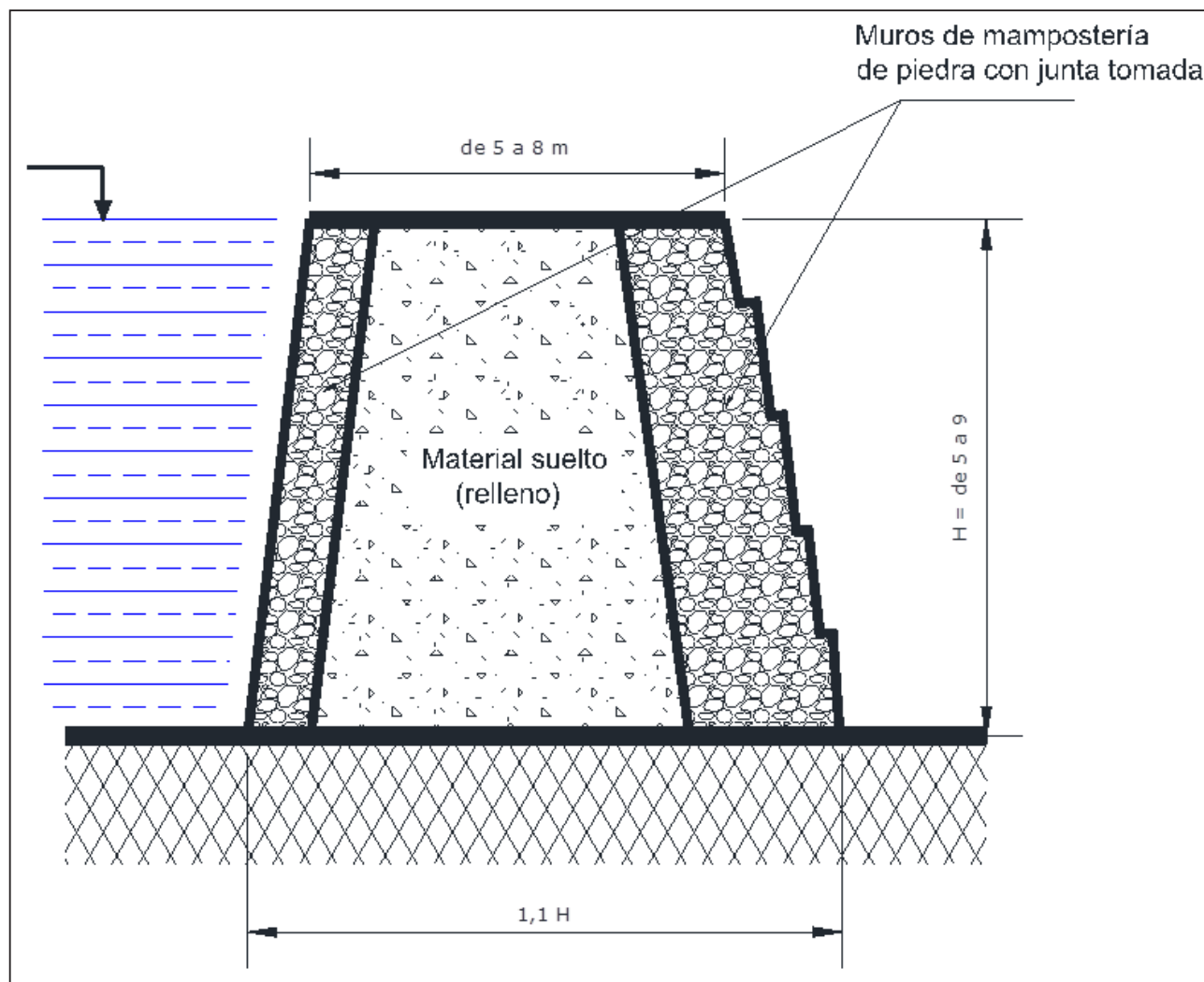


Figura 12. Esquema de muros de mampostería

se encontraron dos puntos con hundimientos, uno ubicado en coincidencia con la obra de descarga, con material faltante que pudo ser debido a pérdidas de agua con su correspondiente lavado de material.

Se debió vaciar el Tajamar y excavar en forma manual, sin el empleo de maquinarias pesadas. Completada la reparación de la descarga, se relleno la excavación en capas, utilizando una mezcla de suelo cemento de consistencia de barro blando para evitar los esfuerzos de tracción a que se hubieran visto sometidos los muros durante la compactación que hubiera sido necesaria en caso de utilizar otro material.

### Alta Gracia

El muro de cierre es de 176 m de largo por 5 m de altura desde el fondo del embalse hasta el coronamiento. Su volumen actual es de 29500 m<sup>3</sup> (muy disminuido con respecto a su volumen original). Presentaba a la vista, como sección actual, un muro de cierre aguas arriba y un terraplén de apoyo. (Como se mencionó anteriormente, la investigación del sitio llevó a encontrar otro muro paralelo al de aguas arriba, entre los que se encontró suelo de relleno; sobre

este muro de aguas abajo apoya el terraplén). En la actualidad, por encima de este relleno, entre los dos paramentos de mampostería de piedra, circula una calle pavimentada con tránsito vehicular (Reyna et al., 2006).

El Terraplén ha presentado desmoronamientos y es aún motivo de monitoreo y reparaciones menores por parte de las autoridades municipales. También se presentaron grietas sobre el pavimento de la calle que circunscribe al Tajamar. La dirección de las mismas son en sentido longitudinal y en la dirección de la calzada.

Se realizaron análisis de estabilidad al cierre con estas características, encontrándose que no era estable en las condiciones relevadas, lo que llevó a plantear la posibilidad de que la sección original no fuera la que se observaba en la actualidad y que debía existir algún tipo de elemento no considerado que le confiriera estabilidad.

Del estudio de las referencias bibliográficas de presas de la época y análisis de estabilidad, se encontraron algunos antecedentes importantes que plantearon las hipótesis a considerar respecto de la forma de trabajar del tajamar estudiado. Las características



del cierre respondían bastante bien al diseño adoptado en Santa Catalina. Si éste era el caso, debía existir un segundo muro bajo la actual calzada a una distancia aproximada de 6 metros del muro visible.

Esta suposición permitía explicar las distintas fisuras desarrolladas sobre la calzada y el desmoronamiento del terraplén. Se podría explicar que la primera parte de la calzada no se deforma ni está fisurada porque se encuentra asentando sobre dos muros, en tanto que la segunda parte está colgada sobre el muro enterrado y el terraplén, el cual al estar inestable ocasiona el asentamiento y las fisuras longitudi-

nales sobre la calzada, pero no implican inestabilidad en el muro visible del tajamar.

Frente a tantos elementos que convalidaban la posible existencia de un segundo muro, se realizó una excavación exploratoria en la zona (figura 13).

La distancia a la que se comenzó la excavación se fijó en 6 metros desde el muro de aguas arriba, que se corresponde con la distancia entre los muros del Tajamar de Santa Catalina y es coincidente con la deformación del pavimento. La excavación convalidó la hipótesis, encontrándose el muro que los análisis de estabilidad y bibliográficos predecían.

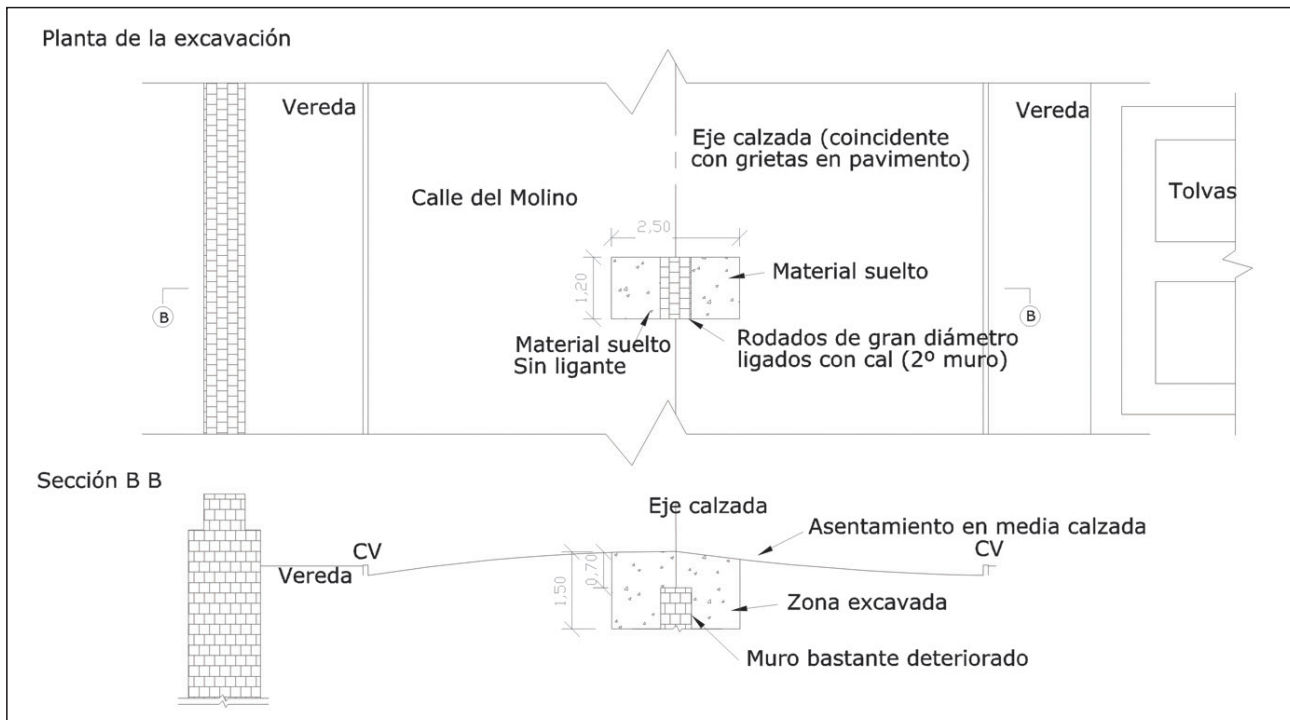


Figura 13. Esquema de ubicación en planta y corte de la zona de excavación

### Las Obras de Descarga

Las salidas del agua del embalse estaban reguladas por una compuerta ubicada sobre el paramento mojado. La descarga en todos los Tajamares se producía a través de un conducto abovedado de ladrillo que contenía una rápida con el fin de acelerar los caudales para ingresarlos al molino o al batán que se encontraban a la salida de la misma. Luego de pasar por estos aprovechamientos eran conducidos por canales abiertos sin revestimientos para el riego de campos y huertas.

En Santa Catalina, la salida está regulada por una compuerta ubicada sobre el paramento mojado. La descarga se produce a través de un conducto abovedado de ladrillo de 0,60 m de altura. La misma comienza en una rápida, luego continua con un salto para luego terminar en un tramo horizontal. Se encuentra en buenas condiciones y funcionando.

La obra de descarga en Alta Gracia es de características similares a Santa Catalina; se encuentra en malas condiciones y actualmente sin funcionar.

En el Tajamar de Caroya la estructura se encuentra en buenas condiciones pero sin funcionar.

En La Candelaria, debido a la ubicación en el predio de la descarga, el Tajamar sólo suministraba agua para el molino y el batán, no encontrándose espacio para huertos aguas abajo. El riego se debía realizar por derivaciones antes del ingreso al embalse.

### CONCLUSIONES

Es importante destacar el diseño amigable con el ambiente de las obras realizadas en las Estancias Jesuíticas en estas zonas de Córdoba. Las mismas se integran al ambiente natural generando los mínimos impactos posibles. Es probable que esto haya sido consecuencia de la conjunción de dos factores: la visión utópica de los emprendimientos de las Estancias (pertenecientes al proyecto jesuítico encarnado en las misiones) que llevaba a tener como principio la armonía en todo aspecto, y razones más prácticas emanadas de las experiencias previas en

la construcción de obras hidráulicas, que llevaban a no actuar sobre el ambiente más de lo estrictamente necesario si se pretendía que la obra se mantuviera en el tiempo y fuera lo más económica posible.

En lo hidráulico, se destacan varios aspectos. En el diseño, todas las obras son "laterales", es decir no embalsan el río en su propio cauce sino que lo hacen en vasos auxiliares a través de una derivación. Esta manera de embalsar tiene las ventajas de no retener sedimentos (los vasos están poco embancados aún considerando el tiempo transcurrido) y de no tener que resolver el problema de las grandes avenidas, lo que llevaría a la necesidad de obras de evacuación de importancia y de conocimientos hidrológicos no disponibles en la época. En lo referente a los canales y obras de conducción en general, con muy buen criterio los cambios de régimen hidráulico se realizaban en estructuras revestidas, se conducía el agua fundamentalmente en régimen subcrítico, y los tramos supercríticos o rápidas eran cortos y también revestidos. Las obras de toma o azudes se hacían en secciones de control naturales, lo que daba la ventaja de la cota y la estabilidad del lecho. Los canales principales se llevaban con la mínima pendiente necesaria para garantizar dominancia para riego sobre la mayor superficie posible. En lo atinente a la seguridad, es interesante ver que las obras de almacenamiento de envergadura no están aguas arriba de las construcciones de valor y poblaciones, sino que están aguas abajo, lo que limitaría los daños en caso de falla.

En lo geotécnico, el aspecto más importante a resaltar es que las obras de magnitud se realizaron todas sobre la roca aflorante. Los conductos de descarga profunda de las presas (descargadores de fondo) estaban apoyados directamente sobre la roca de fundación, esto evitaba posibles roturas con daños a la presa. Por otro lado, el desconocimiento de la interacción de materiales con características estructurales y reológicas muy diferentes (como los suelos, enrocados y muros de cal y canto) llevó a problemas en el tiempo, con deformaciones distintas para los distintos materiales, lo que implicó sobrecargas sobre los más rígidos y hoquedades en los más débiles (suelos). Los problemas asociados al uso de materiales muy diferentes en la construcción, interactuando inadecuadamente, fueron en el pasado, como en el presente, de difícil predicción y prevención.

En lo constructivo, se destaca el seguir con cuidado las reglas del buen arte del oficio. Esto garantizaba que los diseños sobre base empírica tuvieran respuesta similar a los ejemplos sobre los cuales se basaban. La calidad de la construcción era excelente en las obras que sobrevivieron.

En resumen, diseños amigables con el ambiente, basados en el conocimiento empírico, que evitaran los imponderables más influyentes sobre la seguridad de las presas, crecidas (hidrología) y características de las fundaciones (geotecnia), y el seguimiento de diseños probados por la experiencia con muy buena calidad constructiva.

Finalmente, es necesario mencionar que las autoridades que administran en la actualidad los Tajamares Jesuíticos deben realizar la tutela hidráulica y ambiental, con la aplicación correcta de la normativa vigente. De la mejor manera posible y de forma continua deben planificar, coordinar y controlar las variables hidráulico - ambientales, permitiendo para ello las múltiples interacciones necesarias. Poner en funcionamiento y revalorizar los tajamares dará la posibilidad de valorizar estos bienes en su más amplia concepción lo cual traerá consigo beneficios adicionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

García Montaña, Clara. 2004. "Fundamentos de la Interpretación integral y crítica del patrimonio cultural". Congreso Internacional Patrimonio Cultural. 2004. Universidad Nacional de Córdoba y Centro Cultural Canadá Córdoba.

Oñate, J.J., Pereira, D., Suárez, F., Rodríguez, J.J. y Cachón, J. 2002. Evaluación Ambiental Estratégica: La evaluación ambiental de Políticas, Planes y Programas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 382 pp. ISBN: 84-8476-013-8.

Reyna, S.; Reyna, T.; Reyna, E.; Labaque, M.; Santucho, P.; Murialdo, R.; Pesci H. 2005. "Determinación de las Características Hidrológicas, Hidráulicas, Morfométricas y Ambientales de los Tajamares de las Estancias Jesuíticas de Alta Gracia y Santa Catalina - Patrimonio de la Humanidad", Informe de Proyecto SECyT, Córdoba.

Reyna, S.; Reyna, T.; Reyna, E.; Labaque, M.; Santucho, P.; Murialdo, R.; Pesci H. 2006. "Caracterización del Muro de Cierre del Tajamar de Alta Gracia, Patrimonio Mundial de la Humanidad". VIII Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. Buenos Aires.

Schnitter, N. 2000. "Historia de las Presas". Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería N° 60. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid

Smith, N. A. 1992. "The Heritage of Spanish Dams". Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería N° 45. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.