

**PRIMER CONGRESO IBEROAMERICANO DE PROTECCIÓN, GESTIÓN,
EFICIENCIA, RECICLADO Y REÚSO DEL AGUA**

**PRIMER SEMINARIO DE UNIVERSALIZACIÓN DEL ACCESO AL AGUA APTA
PARA EL CONSUMO HUMANO**

**REVALORIZACIÓN DEL RÍO SUQUÍA EN EL TRAMO URBANO, CÓRDOBA,
ARGENTINA.**

Gonzalo Plencovich, Luis Toselli, Edgar Castelló

Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación, Ministerio de Agua Ambiente y Energía. Humberto Primero 607. Tel: (0351) 4321200. E-mail: gplencovich@hotmail.com

RESUMEN

Como parte de un programa integral de revalorización del Río Suquia en su tramo urbano, la Secretaría de Recursos Hídricos está realizando una serie de obras tendientes a una jerarquización urbano-paisajística del curso de agua. Entre los proyectos en desarrollo, se plantea una adecuación del cauce entre los puentes sobre la avenida Santa Fé y el nudo vial Mitre, reemplazando el actual canal de estiaje totalmente deteriorado en vastos sectores, restituyendo zonas erosionadas en ambos márgenes de dicho canal y removiendo áreas de acumulación de basura que provocaban un negativo impacto visual y ambiental. En la zona de la desembocadura de La Cañada se realizaron modificaciones en el tramo ubicado entre la Calle Humberto Primero y la Costanera. Para contener el caudal de estiaje de la Cañada se realizó un canal en tolva. Este canal se extendió hasta conectarse al canal de estiaje del Río Suquia. A los efectos de evaluar los cambios hidráulicos de la confluencia del Río Suquia y el arroyo La Cañada debidos a estas obras, se implementó un modelo matemático bidimensional (River2D). Los resultados obtenidos se contrastaron con los del modelo físico ejecutado en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba.

ABSTRACT

As part of a comprehensive revaluation of Suquia River in his urban section, the Secretary of Hydraulics Resources is performing a series of works aimed to improve the urban watercourse landscape . Among the projects in development, we propose an adaptation of the channel between the bridges on Santa Fe Avenue and Mitre Road junction, replacing the current low water channel completely deteriorated in large sections, restoring eroded areas on both banks of the canal and removing areas with trash accumulation that cause a negative visual and environmental impact. In the area of the mouth of La Cañada modifications were made to the section located between Humberto Primo street and Costanera. To contain the low flows of Cañada was built a hopper channel. This canal was extended to connect to the low water channel Suquia River. In order to evaluate hydraulic changes at the confluence of Suquia River and the La Cañada, we implemented a two-dimensional mathematical model (River2D). The results were compared to the physical model implemented in the Hydraulics Laboratory of the National University of Córdoba.

Palabras claves: Río Suquia, revalorización, modelo bidimensional.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se plantean los diferentes problemas que subsistían en la zona canalizada del río Suquía en el tramo urbano y cuales fueron las soluciones hidráulicas para mejorar estas zonas erosionadas y protegerlas ante futuras crecidas.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El río Suquía es uno de los ríos más importantes de la provincia de Córdoba. Nace por la unión de varios ríos y arroyos en la zona de las sierras Pampeanas del Norte cordobés, principalmente en el valle de Punilla, los cuales terminan desembocando en el dique San Roque. En el murallón del dique se da nacimiento al río Suquía.

Tras atravesar y bajar por la quebrada de Bamba con sentido Oeste-Este, el río Suquía sale de las sierras Pampeanas e ingresa en la penillanura cordobesa, donde se encuentra la mayor parte de la ciudad de Córdoba, la cual atraviesa. Casi en el centro de dicha urbe, recibe por su orilla derecha el arroyo La Cañada (Figura 1). A lo largo del ejido urbano de la ciudad el estiaje del río se encuentra canalizado en una tolva abovedada de hormigón y la zona de inundación se encuentra limitada por muros laterales que forman parte de la costanera.



Figura 1: Ubicación de río Suquia y el arroyo La Cañada en la Ciudad de Córdoba.

Su caudal actual, muy mermado por el uso de sus aguas para el riego y el consumo hogareño e industrial, es de aproximadamente $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Durante el estío su caudal se reduce considerablemente, aunque aumenta de modo abrupto cuando se producen lluvias.

La Cañada de Córdoba es el encauzamiento parcial del arroyo homónimo que cruza de suroeste a norte la ciudad de Córdoba. Se origina en el espejo de agua La Lagunilla, al suroeste, cerca del Valle de Paravachasca. Las aguas de La Lagunilla proceden de las lluvias en los faldeos de la Sierra Chica cordobesa. Las aguas de La Cañada desembocan en la margen derecha del Río Suquía.

HISTORIA DE LA CANALIZACIÓN DEL SUQUIA Y LA CAÑADA

La sección transversal de la zona canalizada del río Suquía originariamente consistía en una tolva cóncava de 1,20 m de profundidad, en ambos márgenes se ubicaban losas de 2 m de longitud y hasta llegar a los muros el terreno poseía una pendiente del 1%. Esta canalización atraviesa la ciudad de oeste a este y nace en el puente Santa Fé y se extiende hasta la zona de barrio San Vicente.

La sección actualmente encauzada de La Cañada va desde la calle Tronador hasta la calle Humberto Primo, atravesando de sur a norte a la ciudad de Córdoba. La construcción del calicanto (es decir realizada con cantos rodados y cal) data de 1671 y la construcción actual es mucho más reciente, del año 1944. Sus características más sobresalientes son su diseño en piedra, surcada por numerosos puentes y el muro. El entorno es acompañado por enormes árboles en su mayoría de la especie tupa, que enaltecen y adornan este singular paseo.



Figura 2: Fisonomía del arroyo La Cañada.

PROBLEMÁTICA

A través de más de 4 décadas la tolva, las losas laterales y sus márgenes se han ido deteriorando a causa de erosiones y roturas de la estructura provocadas por las crecidas del río Suquía, viéndose agravada esta situación por la falta de mantenimiento a través de los años.

Un relevamiento realizado por la Provincia de Córdoba en el año 2010 determinó que en la mayoría del recorrido entre el puente Santa Fé (comienzo de la tolva) y el Nudo Vial Mitre existían muchas zonas donde se habían producido erosiones, sedimentaciones y pérdida de las estructuras de hormigón.

Además del problema hidráulico y estructural que se observaba se sumaban otros de carácter urbanístico y ambiental, ya que las zonas deterioradas generaban un aspecto visual negativo, generando una zona longitudinal deprimida, sobretodo pensando que este río está ubicado en el corazón de la ciudad. En el tema ambiental las diferentes erosiones de los márgenes provocaban el estancamiento de las aguas, generando suciedad y proliferación de algas.

Como ejemplo de lo expresado anteriormente en la Figura 3 a) y b) se observa el gran deterioro que existía en ambos márgenes y en la tolva aguas abajo del puente Avellaneda y puente Centenario.



Figura 3: Erosiones en las márgenes y pérdida de la tolva entre: **a)** el puente Avellaneda y puente Antartida. **b)** el puente Centenario y puente Alvear.

En la Figura 4 a) se aprecia los problemas que existían en el tramo comprendido entre el puente Antártida y el puente Centenario. Y en la Figura 4 b) se observa una zona donde la tolva se encuentra totalmente sedimentada a causa de la deposición a través de los años.



Figura 4: **a)** Erosiones en las márgenes y pérdida de la tolva entre el puente Antártida y puente Centenario. **b)** Sedimentación aguas abajo del puente Maipú.

En la confluencia del Arroyo La Cañada con el río Suquía existía un dissipador de aproximadamente 32 m de ancho y de profundidad máximo de 3 m en su comienzo e iba variando hasta unirse con el escalón aguas abajo (Figura 5 a) y b)).

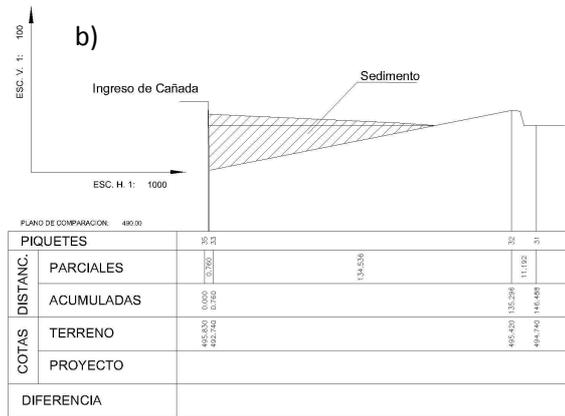


Figura 5: a) Planta del dissipador de la confluencia de la cañada. **b)** Corte longitudinal del dissipador.

Las características de diseño que poseía este dissipador provocaban que se generara la sedimentación de los materiales arrastrados por el arroyo La Cañada provocando muy mal aspecto y mal olor como se observa en la Figura 6 a) y b). Además, en el aspecto hidráulico, no era posible realizar su limpieza periódicamente (ya que el mecanismo de limpieza era caro y dificultoso) el dissipador nunca funcionó correctamente al estar permanentemente el cuenco lleno de materiales sedimentados.



Figura 6: a) Ingreso del arroyo La Cañada al río Suquia. **b)** Ingreso del arroyo La Cañada al cuenco dissipador.

DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

La Provincia de Córdoba a través de la actual Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación comenzó en el año 2010 un programa integral de revalorización del Río Suquia en su tramo urbano, el cual comprendía una serie de proyectos y acciones de obras tendientes a una jerarquización urbano-paisajística del curso de agua en el sector del recorrido central de la ciudad y Centro Cívico.

Entre las obras desarrolladas, se planteó una adecuación del cauce entre los puentes sobre la Avenida Santa Fé y el Nudo Vial Mitre, reemplazando el actual canal de estiaje totalmente deteriorado en vastos sectores, restituyendo zonas erosionadas en ambas márgenes de dicho canal y removiendo áreas de acumulación o depósitos.

Las obras consistieron en la demolición de las losas de las banquetas del canal de estiaje en las zonas deterioradas conservando las secciones centrales del canal que se encontraban en buenas

condiciones. El remplazo se realizó ampliando las dimensiones de las banquetas, ejecutadas en hormigón armado y encachado de piedra bola en como terminación superficial. Además se perfilaron las zonas del cauce entre el canal de estiaje y los muros costaneros de tal forma de generar una sección regularizada que mejorara las condiciones del escurrimiento de los caudales de crecida del río. En la Figura siguiente se indica el diseño de la sección tipo.

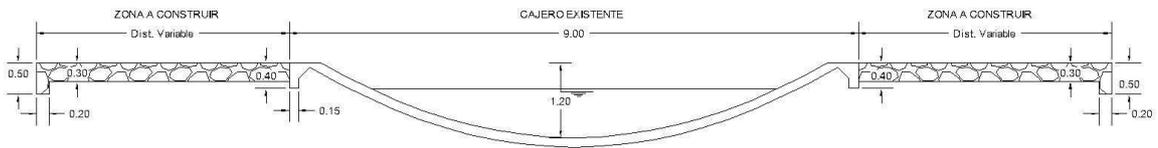


Figura 7: Sección tipo construida.

En la Figura 8 se observa un tramo del río Suquía con las obras finalizadas.



Figura 8: Nueva canalización del río Suquía.

En la zona de la desembocadura de La Cañada se realizó la limpieza del desarenador ubicado entre la Calle Humberto Primero y la Costanera y se rellenó con material compactado hasta el nivel superior del umbral ubicado aguas abajo revistiéndose en su totalidad con una loza de hormigón armado. Para contener el caudal de estiaje de la cañada se realizó, por el eje longitudinal, un canal en tolva de sección y profundidad variable (Figura 9). Este canal se extiende hasta conectarse al canal de estiaje del Río Suquía. Otra de las características fue que la tolva se diseñó de tal forma que en toda la zona de la confluencia se pueda ingresar con equipos para su limpieza.



Figura 9: Nueva obra de la confluencia del arroyo La Cañada con el río Suquía.

Como obras complementarias y a los efectos de una verdadera jerarquización urbano-paisajística del sector, se hizo necesario la provisión e instalación de un nuevo sistema de iluminación pública a los espacios verdes y de uso comunitario, adyacentes a la costanera del Río Suquía y además se remplazaron por barandas los muros costaneros de las veredas laterales y se incorporaron bajadas para el acceso al cauce en los tramos intermedios entre el puente Santa Fé y el puente Centenario (Figura 10 a) y b)).



Figura 10: Nueva obra del río Suquia **a)** de día y **b)** iluminada.

VERIFICACION DE LAS OBRAS CON MODELO MATEMÁTICO Y FÍSICO.

Para conocer el comportamiento hidráulico de la obra nueva en la confluencia del río Suquía y el arroyo La Cañada, la Secretaria de Recursos Hídricos contempló dentro de los pliegos licitatorios la construcción por parte de la empresa adjudicataria de un modelo físico.

La institución encargada de realizar el modelo físico fue el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba. Este modelo físico hidráulico es de tipo tridimensional con semejanza de Froude ejecutado en escala no distorsionada de longitudes $EL=1:40$, permitiendo analizar el tramo del río Suquía, comprendido entre los puentes Centenario y Avellaneda, de aproximadamente 1000 m de desarrollo, con un ancho efectivo variable de 70 a 280 m en prototipo, incluyendo la

desembocadura del Arroyo La Cañada y el parque Las Heras localizado aguas debajo de la confluencia del río con el mencionado arroyo (Laboratorio de Hidráulica, 2011) (Figura 11).



Figura 11: Zona modelada tridimensionalmente por el Laboratorio de Hidráulica. Fuente UNC año 2011.

Para contrastar los resultados del modelo físico, ampliar los conocimientos hidráulicos y poseer una herramienta calibrada para estudiar otros tramos del río Suquia en la Secretaria de Recursos Hídricos se modeló bidimensionalmente el mismo tramo.

El modelo bidimensional utilizado fue River 2D, este es un modelo bidimensional de elementos finitos de profundidad promedio desarrollado por la Universidad de Alberta, Canadá (Steffler y Blackburnorena, 2002). Este software permite gran flexibilidad geométrica, simula condiciones de flujo uniforme y tránsito aplicando conservación de la masa y los dos componentes (horizontales) de la conservación del momento, siendo ideal para simular procesos de desborde e inundación. Como resultado se obtiene la elevación de la superficie de agua y las características del flujo (caudal, profundidad, velocidad y gradiente).

Tanto el modelo físico como el modelo matemático se trabajó con caudales asociados a distintas recurrencias en el Río Suquia y el Arroyo La Cañada, utilizando las combinaciones mas probables y desfavorables. En este trabajo se muestran los resultados correspondientes a la condición de un caudal de $675 \text{ m}^3/\text{s}$ por Suquia y $328 \text{ m}^3/\text{s}$ por Cañada.

La Figura 12 muestra la elevación del pelo de agua en el Río Suquia y el Arroyo La Cañada para esta condición.

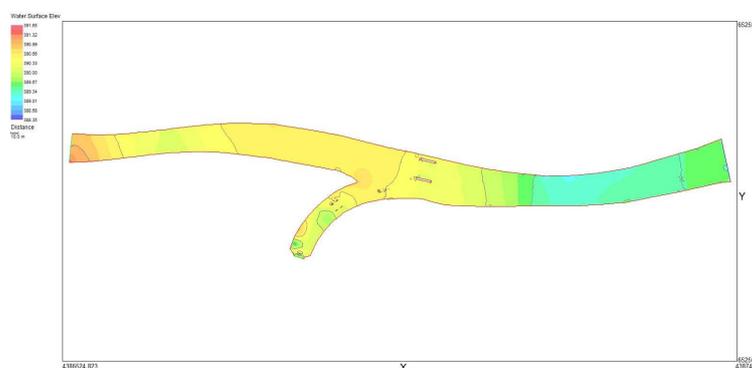


Figura 12: Elevación de la superficie de agua en el tramo modelado con River 2D para un caudal de $675 \text{ m}^3/\text{s}$ por Suquia y $328 \text{ m}^3/\text{s}$ por Cañada.

En la Figura 13 se muestra la comparación entre las elevaciones relevadas en el modelo físico (Gizzi *et al*, 2013) y las calculadas con el modelo numérico indicando que en los dos casos que existe un aumento en el tirante aguas arriba de la confluencia debido al ingreso del arroyo la Cañada en el cauce del Suquia.

Se observa también este efecto en las velocidades resultantes del modelo matemático, disminuyendo la velocidad media de 5 m/s a 2,5 m/s en la zona de la confluencia.

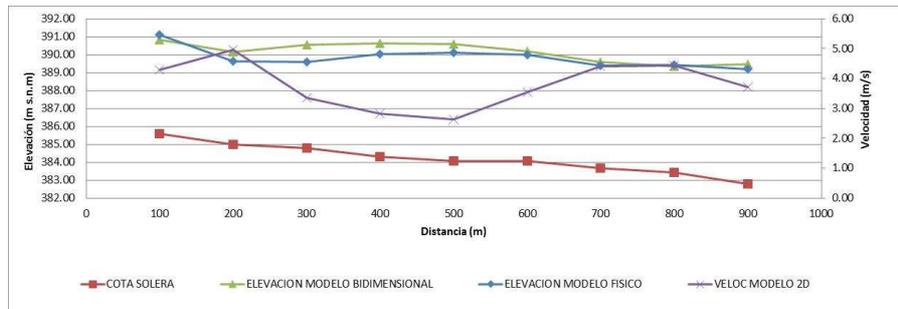


Figura 13: Elevación del pelo de agua en el modelo físico y numérico.

La Figura 14 a) representa con gama de colores las zonas con diferentes velocidades observándose como el flujo que ingresa a la expansión de la cañada se recuesta hacia la margen izquierda por efecto de la curva. En el ingreso de Cañada al Suquia se observa como se direcciona el flujo de cañada en la dirección del río, en este efecto colaboran la ubicación y forma de las pilas del puente Antártida. En la Figura 14 b) se observa en color verde una zona de recirculación por la expansión y la disminución del ancho efectivo a causa de la curvatura.

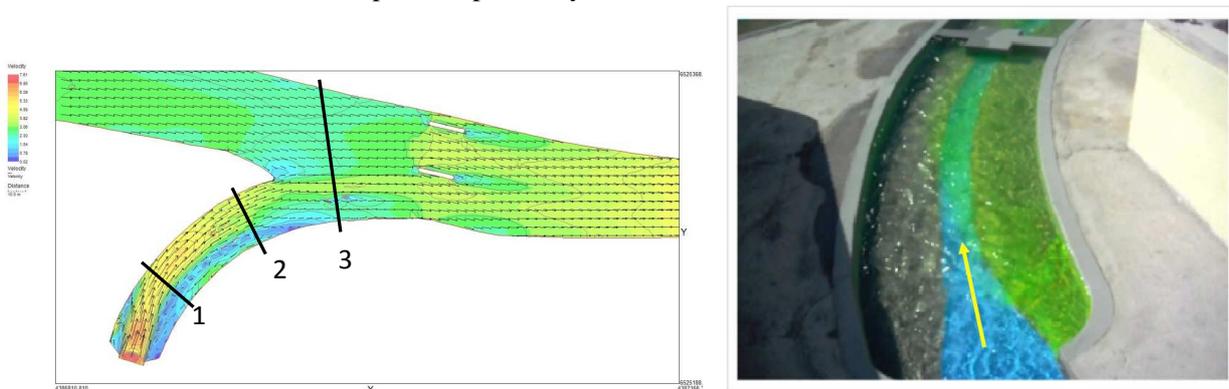


Figura 14: a) gráfico de velocidad en la zona de la confluencia b) imagen del ingreso del Arroyo La Cañada en el cuenco disipador.

En la Figura 15 a) y b) se observa en los perfiles 1, 2 cómo la elevación y la velocidad son mayores en la zona izquierda y en el perfil 3 se aprecia la influencia del río Suquia sobre el Arroyo La Cañada generando una mayor velocidad sobre la margen derecha.

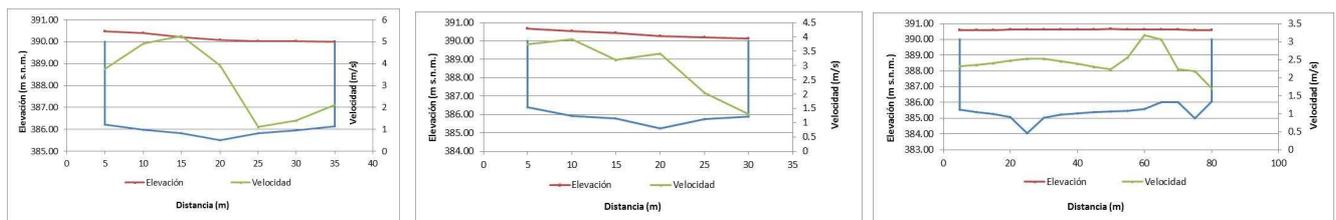


Figura 15: a) perfil en la sección 1 b) perfil en la sección 2 c) perfil en la sección 3.

Es importante destacar que en octubre y noviembre del año 2012 se produjeron grandes precipitaciones en la zona del valle de Punilla que obligaron a realizar la apertura de las válvulas del dique San Roque. Esto generó que por un tiempo prolongado se inundara toda la sección del río Suquía comprendida entre los muros costaneros. Al final de este periodo se pudo constatar que sólo se produjeron erosiones locales puntuales en las márgenes protegidas con pasto y que las estructuras de hormigón armado no habían sufrido ningún deterioro.

CONCLUSIONES

El programa integral de revalorización del Río Suquía en su tramo urbano ha permitido recuperar una zona de la ciudad que se encontraba deprimida y olvidada y sumando un nuevo espacio de recreación y esparcimiento que cada vez mas cordobeses lo usan.

Desde el punto de vista hidráulico la comparación entre el modelo físico y el matemático fue satisfactoria.

En la desembocadura del arroyo La Cañada, que era una de las zonas más preocupantes por el gran cambio que se planteaba, los resultados de los modelos permitieron observar que era posible eliminar el dissipador-sedimentador y remplazarlo por un canal de estiaje.

La ocurrencia de fenómenos naturales puso a prueba al prototipo demostrando solidez.

BIBLIOGRAFIA

Laboratorio de Hidráulica. FCEfyN. UNC. (2012). *Modelación física tridimensional. Río Suquía. Tramo Puentes Avellamede y Centenario. Informe Final.* Córdoba, Argentina.

Gizzi, L.; García C. M.; Tarrab L.; Herrero H.; Hillman G.; (2013). “*Caracterización experimental de las velocidades de flujo en el modelo físico tridimensional del Río Suquia*”. *Proceedings of the IAHR XXIX International Congress, III Simposio sobre métodos experimentales en hidráulica* Santa Fe, Argentina.

Steffler P.; Blackburnorena J. (2002). “*River2D. Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat. Introduction to Depth Averaged Modeling and User's Manual*”. Universidad de Alberta, Canadá.