



CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ESCURRIMIENTO EN LA CUENCA DEL RÍO CARCARAÑÁ

Gustavo Matías Barchiesi¹, José Manuel Díaz Lozada¹, Federico Caminal¹, Horacio Herrero^{1,4}, C. Marcelo García^{1,4}, Ana Cossavella², Edgar Castello², Martín Romagnoli³ y Margarita Portapila³.

¹Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina

²Secretaría de Recursos Hídricos del Gobierno de la Provincia de Córdoba, CP 5000, Córdoba, Argentina

³Centro Internacional Franco Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas, CONICET, 27 de Febrero 210 bis, S2000EYP, Rosario, Argentina.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

RESUMEN

El río Carcarañá nace en la provincia de Córdoba, Argentina por la confluencia de los ríos Tercero o Ctalamochita y Saladillo (nombre del curso inferior del río Cuarto). Luego, este río ingresa en la provincia de Santa Fe, a la cual cruza desembocando en la localidad de Gaboto en el río Coronda, que a su vez lo hace en el río Paraná. Debido a la escasez de información hidrológica disponible de los cursos de agua del sistema fluvial del río Carcarañá es necesario un programa de mediciones in situ para la cuantificación y caracterización del escurrimiento en el sistema, para conocer sus variaciones tanto espaciales como temporales. Por ello se lleva adelante un esfuerzo conjunto entre tres instituciones de las Provincias de Córdoba y Santa Fe (Universidad Nacional de Córdoba, CIFASIS CCT Rosario y la Secretaría de Recursos Hídricos del Gobierno de la Provincia de Córdoba). En este trabajo se reportan los resultados obtenidos durante las campañas de monitoreo desarrolladas en el primer año de trabajo conjunto que incluyen la determinación de caudales escurrimientos superficialmente y parámetros hidráulicos globales característicos del escurrimiento en distintas secciones (caudal, profundidad y velocidades media, pendiente de la superficie libre, etc.). Dadas las características del sistema fluvial estudiado, para la determinación de los parámetros hidráulicos se realizaron mediciones de velocidad del flujo utilizando un Perfilador de Corriente Acústico Doppler para aguas poco profundas (ADCP). Además, para complementar la caracterización del sistema fluvial, en cada sección de aforo se realizaron determinaciones in situ de temperatura y conductividad de la masa de agua con distintas sondas multi-paramétricas.

ABSTRACT

Carcarañá River starts in the province of Córdoba, Argentina formed by the confluence of the Tercero River (also called Ctalamochita) and Saladillo River. Then, the Carcarañá River enters the province of Santa Fe, which crosses discharging in the Coronda River near Gaboto, which in turn discharge in the Paraná River. Because of the hydrological data scarcity in the Carcarañá River system it is necessary to develop a general program for quantification and characterization of flow discharge evaluating its spatial and temporal evolution. A joint effort has been developed involving three institutions of the Córdoba and Santa Fe provinces of (National University of Córdoba, CIFASIS CCT Rosario and Secretary of Water Resources, Government of the Province of Córdoba). This work summarizes results obtained during monitoring field work carried out during the first year of the joint effort determining flow discharge and bulk hydraulics parameters (mean flow depth and velocity, free surface watersurface slopes, etc.). On the basis of the characteristics of the Carcarañá River system, an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) for shallow water has been selected to perform water velocity measurements and to determine the bulk hydraulic parameters. Furthermore, in situ measurements of water temperature and conductivity have been performed using multi-parametric probe complementing the characterization of the Carcarañá River system.

INTRODUCCIÓN

El río Carcarañá nace en la provincia de Córdoba, Argentina por la confluencia de los ríos Tercero o Ctalamochita (del cual es de directa continuación) y Saladillo (nombre del curso inferior del río Cuarto). Luego, este río ingresa en la provincia de Santa Fe, a la que cruza desembocando en la localidad de Gaboto en el río Coronda, que a su vez lo hace en el río Paraná (Figura 1).

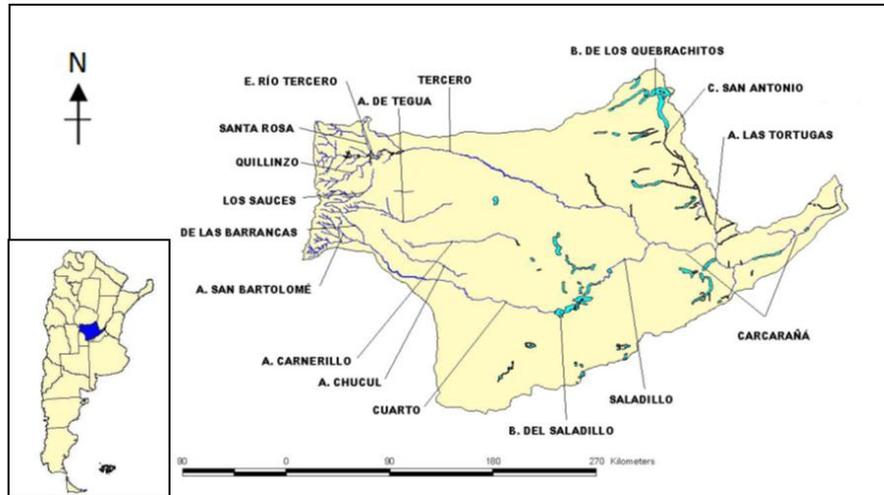


Figura 1.-Cuenca del río Carcarañá

La subcuenca del río Tercero o Ctalamochita(Figura 2) constituye un sistema de alimentación pluvial con régimen permanente. Los principales afluentes que aportan a la subcuenca del río Tercero, enunciados de norte a sur, son el río Santa Rosa, arroyo Amboy, río Grande, río Quillinzo y río de La Cruz o de los Sauces (Figura 1). Los de mayor recorrido son el Grande, el Santa Rosa y el de la Cruz, de los cuáles el primero es el tributario más importante y está conformado por los arroyos Durazno, Manzano y las Letanías.



Figura 2.- Cuenca del Río Tercero.

La cuenca alta del río Tercero es explotada hidroeléctricamente a través de dos sistemas (Figura 3). Por un lado, el complejo Río Grande, conformado por los embalses Cerro Pelado y Arroyo Corto; y por el otro, el sistema llamado Río Tercero, constituido por los embalses: Río Tercero, Ingeniero Cassaffousth, Ingeniero Benjamín Reolín y Piedras Moras. Este último actúa como regulador y condiciona el caudal escurrido en el río Tercero y en el río Carcarañá. A partir de la localidad de Almafuerte (Córdoba), el río toma características de llanura hasta la confluencia con el río Saladillo.



Figura 3.- Sistema Río Tercero (Ctalamochita) ubicado en la Provincia de Córdoba.

El río Tercero, además de ser una importante fuente para el suministro de agua potable en la zona sur y este de la provincia de Córdoba, es utilizado como cuerpo receptor para disposición final de las aguas residuales industriales y de estaciones depuradoras de efluentes cloacales (Cossavella et al., 2003). Es por ello que es importante llevar a cabo un seguimiento integral del recurso en esa subcuenca para garantizar su disponibilidad y calidad.

Moreyra (2008) realizó un estudio sistemático sobre las distintas características hidrogeológicas de la cuenca del Río Tercero para correlacionar la calidad del agua en el río con las características físico-químicas de la cuenca antes mencionada. Además este autor incorporó un relevamiento detallado de la cuenca del Canal Desviador Bell Ville, debido a que es un punto de relativa importancia por los deficientes niveles detectados en la calidad del agua.

Saldaño (2010) presentó una contribución al desarrollo de un modelo de calidad de agua para el río Tercero (Ctalamochita), cuerpo de agua donde se descargan efluentes líquidos provenientes de plantas de tratamiento cloacales, industriales y pluviales. Para ello se requirió el procesamiento de datos de campañas de muestreo de calidad de agua del río y de los efluentes, como así también de los aforos, que datan desde el año 2004 al 2010. Se plantearon escenarios de modelación variando caudales del río y/o concentraciones de efluentes, a fin de determinar el caudal mínimo aceptable, comparando los resultados obtenidos en la simulación con niveles guía de acuerdo al uso del recurso.

Por otra parte, Bedogni (2011) realizó un estudio relacionado a la cuantificación de los caudales ecológicos en el río Tercero (Ctalamochita) a la altura de la ciudad de Villa María (Córdoba). En conceptos generales, su determinación nace de la necesidad de conservar la vida acuática en los sistemas hídricos, asegurando un caudal mínimo de agua que permita la supervivencia de las especies. Ese estudio abarcó desde recopilación y verificación de datos existentes, hasta la generación de nuevos datos mediante aforos de secciones para la simulación del río. El instrumental utilizado para dicho aforo fueron minimolinetes y el perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) para cuantificación de velocidades de flujo y caudales.

Finalmente, Lenarduzzi (2013) realizó la caracterización hidrodinámica experimental en un tramo del río Tercero (Ctalamochita), el cual incluye al Balneario Río Tercero de la ciudad

homónima, con el fin de determinar parámetros hidráulicos que permitan monitorear el seguimiento de la calidad ambiental de ese tramo. Para la determinación de los parámetros hidráulicos se utilizó un Perfilador de Corriente Acústico Doppler específico para aguas someras (RiverSurveyour S5 YSI/Sontek ADCP). A partir del análisis de registros y procesamiento de los datos medidos se determinó la batimetría del tramo y se calcularon para cada sección de medición los parámetros hidráulicos globales (caudal, velocidad media del flujo, profundidad media, etc.) como así también la evolución en la transversal y en la vertical del vector tridimensional de velocidad del flujo. A partir de esta última información se realizaron para el tramo estudiado estimaciones del coeficiente de mezcla vertical y transversal en el tramo estudiado y del coeficiente de dispersión longitudinal. Los resultados obtenidos permiten mejorar la comprensión en los procesos de mezcla del río y mejorar la exactitud en las predicciones de transporte de contaminantes.

La subcuenca del río Saladillo (nombre del curso inferior del río Cuarto) es la segunda más importante dentro de la cuenca del Carcarañá. Los principales afluentes son los ríos de las Barrancas, San Bartolomé, de la Tapa y Piedra Blanca (Figura 1). El río Cuarto, desde su nacimiento se dirige hacia el sudeste pasando por la localidad de Río Cuarto (Córdoba), ubicada sobre su margen derecha. Baldissone (2007) presentó un estudio sobre la influencia de la extracción de áridos en el cauce del Río Cuarto. En ese estudio, además de haberse utilizado técnicas convencionales de aforos con molinetes se emplazaron escalas en el vertedero del azud del puente Carretero en cercanías de la ciudad de Río Cuarto y un limnómetro OTT – Thalimedes permitió calibrar una curva Altura-Caudal.

Hasta la próxima localidad, La Carlota (Córdoba), el río Cuarto sigue en dirección oeste-este. Quince kilómetros aguas abajo de dicha localidad dobla al noreste (Figura 1) donde empieza a formarse la laguna Los Olmos que se transforman en bañados (aproximadamente a 60 Km de La Carlota) tras el ensanchamiento del cauce y por la escasa pendiente. Luego de este recorrido toma el nombre de Saladillo, el cual mantiene hasta la desembocadura en el río Tercero. Los Bañados del Río Saladillo están inmersos en la zona más productiva para la actividad agropecuaria de la provincia de Córdoba. Debido a un aumento de las precipitaciones en el 2001, en los años sucesivos se realizaron en todo el sur provincial canalizaciones para mitigar el efecto de las inundaciones con lo que estos bañados sufrieron el efecto de ser atravesados por dos grandes canales, el canal del río Cuarto y el canal de La Brava. Dichas canalizaciones provocaron una disminución significativa del área original de los bañados, por lo cual el río Saladillo aporta importantes caudales al río Carcarañá (Brandolin et al. 2013).

Algunos arroyos que se encuentran entre los ríos Tercero y Cuarto se pierden en dirección oeste-este y son de carácter arreicos. Entre esta serie de arroyos que se esparcen en cañadas y bañados, hay cuatro que son los más destacados y ellos son: el arroyo de las Peñas que se une al de las Tapias, el arroyo Tegua, el arroyo del Carnerillo y el arroyo Chucul (Figura 1).

A pesar de los esfuerzos de monitoreo mencionados previamente realizados sobre secciones o tramos específicos de los tributarios y en el mismo río Carcarañá, no existen antecedentes de monitoreos integrales del sistema que involucren determinaciones de caudales escurridos superficialmente y parámetros hidráulicos globales en todo el sistema para distintas condiciones de flujo (estiaje o periodos de aguas altas). En la actualidad se cuenta solamente con 2 estaciones activas de la Red Hidrometeorológica Nacional dentro de la superficie de la cuenca del Río Carcarañá. La estación UME PAY (Lat. 32° 13' 00,00"; Long. 64° 43' 60,00"),

sobre el río Grande, aguas arriba de las explotaciones hidroeléctricas del complejo Río Grande y que por la regulación de caudales que se realiza para explotación hidroeléctrica no aporta datos para el conocimiento del comportamiento integrado de la cuenca en su conjunto. Y la estación PUEBLO ANDINO (Lat.32° 40' 24,00"; Long.60° 51' 57,40"), sobre el río Carcarañá, que cuenta con datos de Altura, Caudal Medio Diario, Caudal Medio Diario Máximo, Caudal Medio Diario Mínimo, Caudal Medio Mensual, QMax Instantáneo y QMin Instantáneo para el periodo 1980 – 2013.

OBJETIVOS

En este trabajo se reportan los resultados obtenidos durante las campañas de monitoreo desarrolladas en el sistema fluvial del río Carcarañá durante el primer año de trabajo conjunto entre tres instituciones de las Provincias de Córdoba y Santa Fe (Universidad Nacional de Córdoba, CIFASISCCT Rosario y la Secretaría de Recursos Hídricos del Gobierno de la Provincia de Córdoba). Las campañas de mediciones fueron planificadas en un programa de monitoreo desarrollado para la cuantificación y caracterización del escurrimiento superficial utilizando perfiladores de corriente acústicos Doppler (ADCP), el cual permite lograr mayor resolución espacial y temporal de las velocidades del flujo y morfología del cauce en distintas secciones del río Carcarañá. A partir de las mediciones de velocidad del flujo y de las batimetrías, se determinaron caudales escurridos superficialmente y parámetros hidráulicos globales característicos del escurrimiento en distintas secciones (caudal, profundidad y velocidades media, pendiente de la superficie libre, coeficientes de rugosidad, etc.). El estudio se complementó con determinaciones in situ de temperatura y conductividad de la masa de agua utilizando distintas sondas multi-paramétricas.

METODOLOGÍA

Para cuantificar el escurrimiento a través de mediciones de velocidades, caudales y profundidades de flujo se utilizó un Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP) RiverSurveyor S5 YSI/Sontek para aguas poco profundas (Figura 4), que presenta características óptimas para el sistema fluvial estudiado en este trabajo.

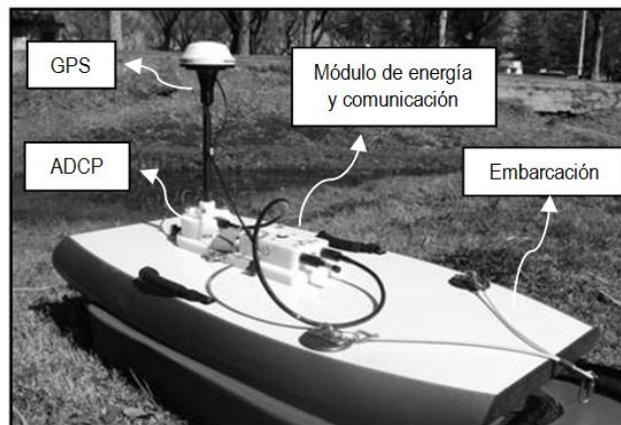


Figura 4.- Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP) RiverSurveyor S5 YSI/Sontek utilizado en este trabajo.

La metodología empleada para el uso de este equipo fue la siguiente:

- Selección de la sección a aforar con buena accesibilidad, ya sea para operar el instrumento desde las márgenes y/o desde los puentes.

- Armado del instrumental: colocación del ADCP junto con el módulo de energía y comunicación y el receptor GPS sobre la embarcación.
- Parametrización del instrumental incorporando los datos requeridos que son específicos de cada localización (declinación magnética, sumergencia del perfilador, etc.)
- Calibración de la brújula del instrumento para que el equipo pueda realizar las correcciones de posición frente a los balanceos y cabeceos de la embarcación.
- Colocación de la embarcación (junto con todo el instrumental) en una margen del río.
- Realización de al menos 4 transectas o cruces (Figura 5) desde las márgenes o desde puentes, manteniendo constantes la velocidad y dirección de la embarcación, obteniendo así las velocidades, y profundidades de flujo que permiten determinar caudales en cada cruce. El valor de caudal adoptado se obtiene promediando los valores de los 4 cruces realizados.



Figura 5.-Realización de una transecta sobre el río Saladillo.

En cada sección de aforo, y para complementar la caracterización del sistema fluvial, se realizaron determinaciones in situ de temperatura y conductividad de la masa de agua utilizando distintas sondas multi- paramétricas.

LOCALIZACIÓN DE LAS SECCIONES DE MEDICIÓN

A fines del año 2012 y a lo largo del presente año se realizaron diferentes campañas de aforo para cuantificar experimentalmente caudales superficiales en diferentes secciones transversales seleccionadas en los principales tributarios (ríos Tercero y Saladillo) y en el río Carcarañá, en su escurrimiento tanto en la Provincia de Córdoba como en la provincia de Santa Fe, hasta su desagüe en el río Coronda en las cercanías de la localidad de Gaboto (Figura 6). Sobre el río Tercero, los caudales erogados en la central hidroeléctrica emplazada en el embalse Piedras Moras proveen la condición de borde superior para el sistema estudiado. La primera sección aforada en el programa de monitoreo se encuentra en la ciudad de Río Tercero precisamente en el Balneario municipal de esa localidad. La siguiente sección aforada se encuentra ubicada en inmediaciones del puente sobre la ruta nacional 158 en proximidades de la ciudad de Villa María. No existen aportes relevantes aguas arriba de esta localización y generalmente los aforos en ese punto y en la sección del balneario Río Tercero sirven para contrastar los caudales aforados con los erogados por la central hidroeléctrica emplazada en el embalse Piedras Moras. En lo que respecta al río Saladillo, la primera sección se encuentra en el cruce con la ruta provincial 6 (Córdoba), 2.17km aguas arriba de la confluencia de este río con el río Tercero (Ctalamochita). Además se realizaron mediciones sobre ambos ríos unos pocos metros aguas arriba de la confluencia. También se cuantificó el caudal en cinco secciones sobre el río Carcarañá, 11.5km aguas abajo de la confluencia en

Inrville (Córdoba), en Cruz Alta sobre el puente de la ruta provincial 15, y en las localidades de Carcarañá, Pueblo Andino y Gaboto en la provincia de Santa Fe (Figura 6). Solo en la última campaña se monitorearon los tributarios (ríos Tercero y Saladillo) y las cinco localizaciones sobre el río Carcarañá.

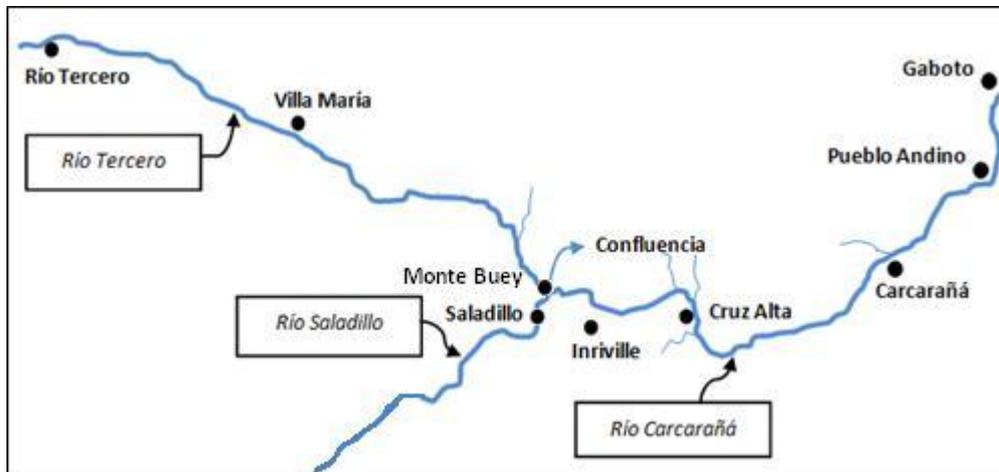


Figura 6-.Secciones aforadas en la cuenca alta del río Carcarañá.

RESULTADOS

Los caudales medidos en las diferentes campañas de monitoreo en las distintas secciones y los distintos parámetros hidráulicos asociados se detallan en la Tabla 1.

Los valores aforados en la campaña de diciembre de 2012 corresponden a un período donde se registraron en la cuenca de aporte lluvias intensas. Debido a que el río Saladillo no está regulado y además está canalizado, tiene una variación estacional importante y los valores de caudal aforados en este río en diciembre fueron mayores a los observados en río Tercero, lo cual no es habitual en el resto del año. En las campañas realizadas en los meses de Mayo, Junio, Agosto y Septiembre, el caudal del río Tercero (el cual se encuentra regulado por el sistema de embalses localizado aguas arriba) superó el correspondiente al río Saladillo. En el tramo del río Tercero comprendido entre el puente de la ruta 158 (Villa María) y la confluencia con el río Saladillo hubo, en la campaña de junio de 2013, un aporte global de $4.16 \text{ m}^3/\text{seg}$. Del contraste del caudal aforado en el río Carcarañá en la confluencia de los ríos Tercero y Saladillo con el valor aforado en Cruz Alta, resulta que en el tramo comprendido entre estas dos secciones tuvo en la misma campaña, un aporte global de cursos intermedios de $10.8 \text{ m}^3/\text{seg}$.

La semana previa a la campaña de medición realizada a fines del mes de septiembre de 2013 se produjeron precipitaciones en la subcuenca del río Saladillo. Debido a esto, en la campaña realizada a fines de dicho mes y principios de Octubre, se aforaron caudales mayores tanto en el río Saladillo como en el Carcarañá comparados con los aforos realizados a principios del mes de septiembre de 2013. Durante estos días también se realizaron mediciones en tres localidades de la provincia de Santa Fe: Carcarañá, Pueblo Andino y Gaboto. Para un nivel de confianza de 95% los caudales aforados en dichos puntos son estadísticamente similares al obtenido en Cruz Alta (Tabla 2). Esto se debe a que en época de estiaje, el río Carcarañá no presenta ningún aporte ni extracción significativa a lo largo de su recorrido hasta su

desembocadura en el río Coronda. Una de las causas de la no utilización de este recurso es la alta concentración de sales y la contaminación que presenta.

Tabla 1.- Caudales y parámetros hidráulicos (ancho, profundidades y velocidades medias) medidos en diferentes secciones de los ríos Tercero, Saladillo y Carcarañá.

Sección Aforo	Fecha	Ancho (m)	Prof. Media (m)	Vel. Media (m/s)	Caudal(m ³ /s)
Río Tercero, Balneario	21/06/2012	32.70	0.62	0.84	17.22
Río Tercero, Balneario	10/09/2012	32.80	0.57	0.80	14.79
Río Tercero, Balneario	13/11/2012	35.05	0.61	0.86	18.51
Río Tercero, Confluencia	17/12/2012	44.16	2.06	0.48	43.65
Río Saladillo, Confluencia	17/12/2012	34.95	2.56	1.01	90.60
Río Tercero, Balneario	03/04/2013	40.43	0.69	0.84	23.38
Río Tercero, Confluencia	14/05/2013	40.48	1.17	0.57	26.94
Río Saladillo, Confluencia	14/05/2013	33.52	1.55	0.34	17.66
Río Tercero, Balneario	28/05/2013	41.97	0.70	0.61	17.87
Río Tercero, Va. María Puente Ruta 158	11/06/2013	23.23	0.94	0.75	20.00
Río Saladillo, Puente Ruta 6	11/06/2013	23.01	0.98	0.66	14.84
Río Carcarañá, Inrville	11/06/2013	57.98	0.86	0.78	38.97
Río Carcarañá, Cruz Alta	11/06/2013	56.42	1.35	0.65	49.77
Río Tercero, Confluencia	13/08/2013	41.29	0.91	0.52	19.85
Río Saladillo, Confluencia	13/08/2013	33.13	1.29	0.25	10.50
Río Carcarañá, Confluencia	13/08/2013	59.11	1.07	0.51	30.66
Río Tercero, Balneario	09/09/2013	36.19	0.67	0.68	16.54
Río Saladillo, Puente	10/09/2013	21.71	0.86	0.49	9.21
Río Carcarañá, Inrville	10/09/2013	57.73	0.78	0.62	27.71
Río Saladillo, Puente	30/09/2013	22.70	0.92	0.65	13.75
Río Carcarañá, Inrville	30/09/2013	60.24	0.82	0.60	29.31
Río Carcarañá, Cruz Alta	30/09/2013	47.28	1.12	0.63	33.53
Río Carcarañá, P. Sarmiento	30/09/2013	42.75	1.50	0.50	32.32
Río Carcarañá, P. Andino	01/10/2013	45.65	1.63	0.43	31.84
Río Carcarañá, Gaboto	01/10/2013	56.37	1.98	0.31	34.48

Tabla 2.- Caudales medidos en diferentes secciones del río Carcarañá y límites superior (Q superior) e inferior (Q inferior) de los intervalos de confianza en sus determinaciones experimentales para una significancia del 95%.

Sección de aforo	Q [m ³ /s]	Q superior [m ³ /s]	Q inferior [m ³ /s]
Cruz Alta (Puente Ruta 15)	33.53	34.92	32.13
Carcarañá (Parque Sarmiento)	32.32	34.17	30.47
Pueblo Andino	31.84	33.93	29.76
Gaboto	34.48	36.28	32.68

El valor ancho/profundidad media mínimo observado fue de 14 en la sección del río Saladillo relevada aguas arriba de la confluencia el día 17/12/2012 (durante un periodo de aguas altas) mientras que el valor máximo de 74 para la sección del río Carcarañá fue observado los días 9 y 30 de setiembre de 2013.

La Tabla 3 presenta los valores de caudales erogados por la central hidroeléctrica Piedras Moras (comunicación personal, Empresa Provincial de Energía de Córdoba – EPEC) los días en los cuales se desarrollaron los monitoreos reportados en Tabla 2. Además, la Figura 7 contrasta los caudales reportados en la Tabla 3 (erogados en la central hidroeléctrica) y los caudales medidos en la sección emplazada en el Balneario de la ciudad de Río Tercero. Se observa en esta figura un buen acuerdo entre ambos caudales lo que implica que, en casos donde no se disponga de aforos en la sección en el Balneario de la ciudad de Río Tercero y que no esté en funcionamiento el vertedero del embalse Piedras Moras, los valores reportados por la central son buenos estimadores del caudal escurrido en esa sección.

Tabla 3.- Caudales erogados por la central hidroeléctrica Piedras Moras (comunicación personal, Empresa Provincial de Energía de Córdoba – EPEC) los días en los cuales se desarrollaron los monitoreos reportados en Tabla 2

Fecha	Caudal (m ³ /s)
21/06/2012	16.97
10/09/2012	15.72
13/11/2012	18.26
17/12/2012	24.93
03/04/2013	22.43
14/05/2013	22.56
28/05/2013	17.87
11/06/2013	17.89
13/08/2013	18.87
09/09/2013	15.77
10/09/2013	14.90
30/09/2013	13.37
01/10/2013	13.37

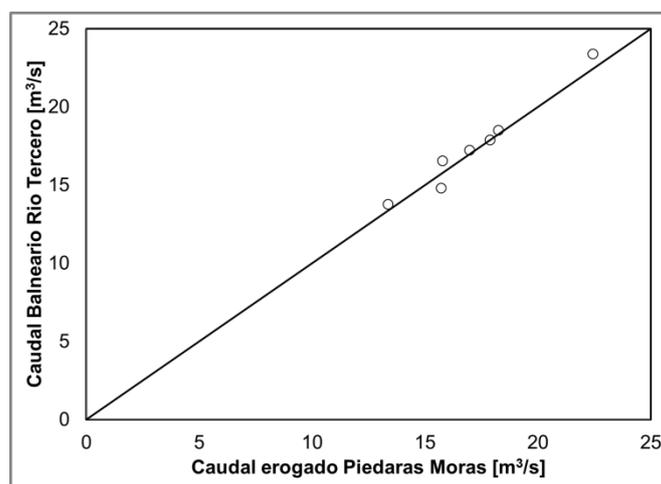


Figura 7.-Contraste entre los caudales reportados en la Tabla 3 (erogados en la central hidroeléctrica) y los caudales medidos en la sección emplazada en el Balneario de la ciudad de Río Tercero.

A través del programa Velocity Mapping Toolbox (VMT) desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) se determinaron los campos medios de flujo al promediar las diferentes transectas o cruces realizados en cada sección de aforo. En la Figura 8 se muestra como ejemplo el campo de velocidades longitudinales para el río Saladillo en

inmediaciones del puente sobre ruta provincial 6 el día 10/09/2013. Se puede observar que las velocidades máximas son de 0.85 m/s para un caudal de $9.21\text{m}^3/\text{s}$.

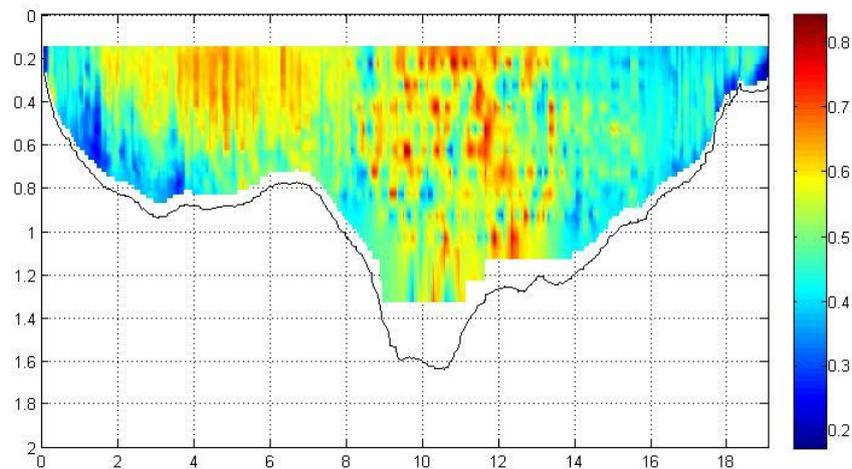


Figura 8.-Campo medio de velocidades longitudinales [m/s] en el río Saladillo en inmediaciones del puente sobre ruta provincial 6 el día 10/09/13. Las profundidades y las progresivas transversales se indican en [m].

En forma complementaria, durante la mayoría de los monitoreos se relevaron la temperatura y conductividad de las masas de agua (corregida por temperatura) en las secciones donde se realizaron los aforos, para caracterizar físicamente las masas de agua en el sistema (Tabla 4). Se destaca que los datos reportados en la mencionada tabla fueron registrados en periodos de aguas bajas (mayo a octubre de 2013). La conductividad es un parámetro que se encuentra relacionado con la presencia de sales en solución dentro de los fluidos. En base a los resultados observados se puede afirmar que el río Saladillo es el tributario que presenta mayor concentración de sales debido a los suelos por donde escurre. En la campaña realizada en junio de 2013 se puede determinar que el río Tercero experimenta un aumento de salinidad desde Villa María (conductividad de $0.23\text{mS}/\text{cm}$) hasta la confluencia (conductividad de $1.95\text{mS}/\text{cm}$). Las dos masas de agua (Tercero y Saladillo) están bien mezcladas 11.5km aguas abajo de la confluencia, ya que el valor observado de conductividad en este punto coincide con un promedio ponderado de ambas masas de agua. Además la conductividad en el río Carcarañá crece en dirección aguas abajo, desde 4.24 a $6.79\text{ mS}/\text{cm}$, debido a los aportes recibidos.

En agosto de 2013 (Herrero et al 2013) se pudo determinar que a sólo 500m de la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo, la mezcla entre ambos se había realizado en forma completa tanto en la dirección transversal como en la dirección vertical.

En la campaña de septiembre de 2013 se sigue observando un aumento de conductividad en el río Tercero desde la ciudad de Villa María ($0.23\text{mS}/\text{cm}$) hasta la confluencia ($2.20\text{mS}/\text{cm}$) debido a las descargas existentes. Además, al igual que lo sucedido en la campaña de junio, los dos cursos (Tercero y Saladillo) se encontraban completamente mezclados 11.5km aguas abajo de la confluencia.

A fines de septiembre, debido a las lluvias producidas en la subcuenca del río Saladillo, la conductividad de dicho curso disminuyó debido a la disolución de las sales con el agua pluvial. Además a través del valor de conductividad del río Carcarañá en la sección ubicada en Inrville, sigue verificándose la mezcla completa de sus dos afluentes en dicho punto.

También puede observarse que la conductividad a lo largo de dicho río no varía significativamente a lo largo de su recorrido.

Tabla 4.- Temperatura y conductividad de las masas de agua durante los monitoreos en distintas secciones.

Sección Aforo	Fecha	Conductividad [mS/cm]	Temperatura [°C]
Río Tercero, Confluencia	14/05/2013	1.61	17.6
Río Saladillo, Confluencia	14/05/2013	6.31	17.2
Río Tercero, Va. María Puente Ruta 158	11/06/2013	0.23	15.0
Río Tercero, Confluencia	11/06/2013	1.95	15.6
Río Saladillo, Puente Ruta 6	11/06/2013	6.90	15.1
Río Saladillo, Confluencia	11/06/2013	6.98	15.3
Río Carcarañá, Inrville	11/06/2013	4.24	16.0
Río Carcarañá, Cruz Alta	11/06/2013	6.79	16.2
Río Tercero, Confluencia	13/08/2013	1.82	11.2
Río Saladillo, Confluencia	13/08/2013	7.45	10.2
Río Carcarañá, Confluencia	13/08/2013	3.65	10.7
Río Tercero, Va. María Puente Ruta 158	09/09/2013	0.23	19.0
Río Tercero, Confluencia	10/09/2013	2.20	22.0
Río Saladillo, Puente Ruta 6	10/09/2013	7.90	21.0
Río Saladillo, Confluencia	10/09/2013	7.80	21.0
Río Carcarañá, Inrville	10/09/2013	4.60	22.0
Río Tercero, Confluencia	30/09/2013	2.46	14.9
Río Saladillo, Confluencia	30/09/2013	5.99	13.0
Río Saladillo, Puente	30/09/2013	5.90	13.1
Río Carcarañá, Inrville	30/09/2013	4.67	14.0
Río Carcarañá, Cruz Alta	30/09/2013	7.11	15.8
Río Carcarañá, Carcarañá (P.Sarmiento)	30/09/2013	6.95	16.1
Río Carcarañá, P. Andino	01/10/2013	6.71	15.5
Río Carcarañá, Gaboto	01/10/2013	6.47	16.3

En la Figura 9 se realizó una correlación entre los valores de conductividad de las masas de agua (corregidas por temperatura) y caudales para los ríos Tercero y Saladillo pocos metros aguas arriba de la confluencia de ambos ríos.

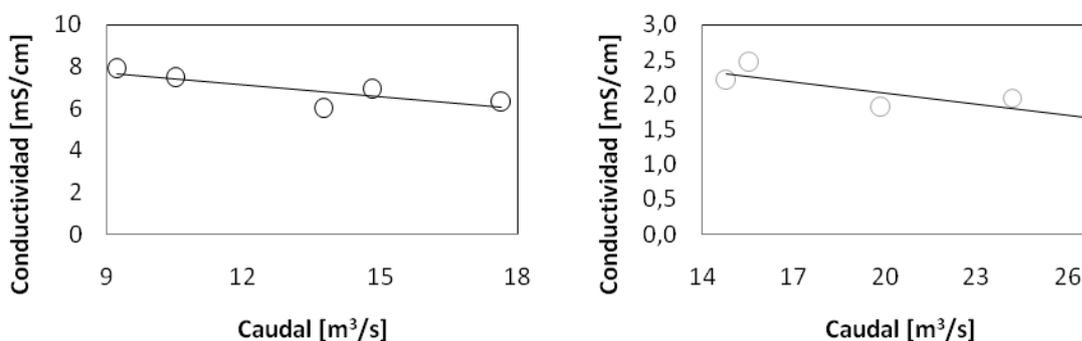


Figura 9.- Correlación entre los valores de conductividad de las masas de agua (corregidas por temperatura) y caudales para los ríos Saladillo (izquierda) y Tercero (derecha) pocos metros aguas arriba de la confluencia de ambos ríos.

Los valores experimentales relevados en el río Saladillo durante la campaña realizada el 30 de septiembre de 2013 (caudal = 13.75m³/s y conductividad de 5.99 mS/cm) disminuye la correlación entre el caudal y la conductividad del río Saladillo. Esta situación particular se

debe a la disolución que presentó el curso con las lluvias producidas los días previos en su cuenca baja de aporte. Al eliminar este par coordinado el coeficiente de determinación en el río Saladillo aumenta significativamente ($R^2= 0.98$), lo cual permitiría estimar los caudales aportados por el río Saladillo al río Carcarañá (Q en m^3/s) en épocas de aguas bajas, a través de la característica física del río Saladillo (C = conductividad del agua corregida por la temperatura en mS/cm) utilizando la relación lineal ($Q = -5.60 C + 53.1$) proveniente de este ajuste.

CONCLUSIONES

En este trabajo se reportan los resultados obtenidos durante las campañas de monitoreo del río Carcarañá (hasta su desembocadura en el río Coronda) y sus principales tributarios (ríos Tercero y Saladillo) desarrolladas en el primer año de trabajo conjunto entre tres instituciones de las Provincias de Córdoba y Santa Fe (Universidad Nacional de Córdoba, CIFASISCT Rosario y la Secretaría de Recursos Hídricos del Gobierno de la Provincia de Córdoba) que incluyen la determinación de caudales escurridos superficialmente y parámetros hidráulicos globales característicos del escurrimiento en distintas secciones (caudal, profundidad y velocidades media, pendiente de la superficie libre, etc.). Dadas las características del sistema fluvial estudiado, para la determinación de los parámetros hidráulicos se realizaron mediciones de velocidad del flujo utilizando un Perfilador de Corriente Acústico Doppler para aguas poco profundas (ADCP). Además, para complementar la caracterización del sistema fluvial, en cada sección de aforo se realizaron determinaciones in situ de temperatura y conductividad de la masa de agua con distintas sondas multi-paramétricas.

Del análisis de los caudales medidos se pudieron conocer las variaciones que presenta el sistema fluvial analizado, tanto espacialmente (debido al aporte en su recorrido y a descargas industriales y de líquidos cloacales tratados) como así también temporalmente (relacionadas con sus evoluciones hidrológicas y sus características de regulación). Los ríos que conforman la cuenca del río Carcarañá presentan generalmente características de ríos de baja profundidad (la profundidad media rara vez supera los 3 metros) con un ancho significativamente mayor que su profundidad media. Las velocidad media máxima observada en el sistema fue de aproximadamente $1m/s$.

En forma complementaria, durante la mayoría de los monitoreos se relevaron la temperatura y conductividad de las masas de agua (corregida por temperatura) en las secciones donde se realizaron los aforos, para caracterizar físicamente las masas de agua en el sistema. La conductividad es un parámetro que se encuentra relacionado con la presencia de sales en solución dentro de los fluidos. En base a los resultados observados se puede afirmar que el río Saladillo es el tributario que presenta mayor concentración de sales debido a los suelos por donde escurre. En una campaña específica realizada en agosto de 2013 se pudo determinar que a sólo 500m de la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo, la mezcla entre ambos se había realizado en forma completa tanto en la dirección transversal como en la dirección vertical. A partir de la correlación realizada entre los valores de conductividad de las masas de agua (corregidas por temperatura) y caudales escurridos por el Saladillo pocos metros aguas arriba de la confluencia con el río Tercero permitiría estimar los caudales aportados por el río Saladillo al río Carcarañá en épocas de aguas bajas, a través de la característica física del río Saladillo utilizando la relación lineal.

Agradecimientos: los autores de este trabajo agradecen a *Coperaña*, Cooperativa de obras, servicios públicos asistenciales y vivienda de Carcarañá, a los bomberos voluntarios de la ciudad de Carcarañá y Monte Buey, a la Comuna de Pueblo Andino y a la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba por la colaboración prestada durante las campañas de medición realizadas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baldissone, M. (2007). “Estudio sobre la influencia de la extracción de áridos en el cauce del río Chocancharava”. *Trabajo final de la carrera Ingeniería Civil de la FCEFyN, UNC.* Córdoba, Argentina.

Bedogni, M.D. (2011). “Determinación del Caudal Ecológico para el Río Tercero (Ctalamochita)”. *Trabajo final de la carrera Ingeniería Civil de la FCEFyN, UNC.* Córdoba, Argentina.

Brandolin, P.G., Ávalos, M.A. De Angelo, C.(2013). “*The impact of flood control on the loss of wet lands in Argentina*” *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 23: 291– 300.

Cossavella, A.M.; Carranza, P.; Monarde, F.; Larrosa, N.; Roqué, M; Nuño, C.; Hunziker, M.L; Ferreyra, M. y Melián J et al.(2013). “Gestión de efluentes líquidos en la cuenca del río Tercero (Ctalamochita)”. *XXIVº Congreso Nacional del Agua 2013*, San Juan, Argentina.

Herrero, H.; Szupiany, R.; García, C.M.; Blettler, M.; Espinola, L.; y Amsler M. (2013). “Evaluación Experimental de la Hidrodinámica y Procesos de Mezcla en la Confluencia de los Ríos Tercero y Saladillo”. VI Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Santa Fe, Argentina.

Lenarduzzi, M.G. (2013). “Caracterización hidrodinámica experimental de un tramo del río Tercero (Ctalamochita) con fines hidroambientales”. *Práctica Supervisada de la carrera Ingeniería Civil de la FCEFyN UNC.* Córdoba, Argentina.

Moreyra, F. (2008). "Aspectos medioambientales de la cuenca del río Tercero y su relación con la calidad del agua". *Trabajo final de la carrera Ingeniería Civil de la FCEFyN UNC.* Córdoba, Argentina.

Saldaño, V.(2010). "Modelación Hidrológica y de Calidad de Agua del Río Tercero (Ctalamochita)". *Trabajo final de la carrera Ingeniería Civil de la FCEFyN UNC.* Córdoba, Argentina.